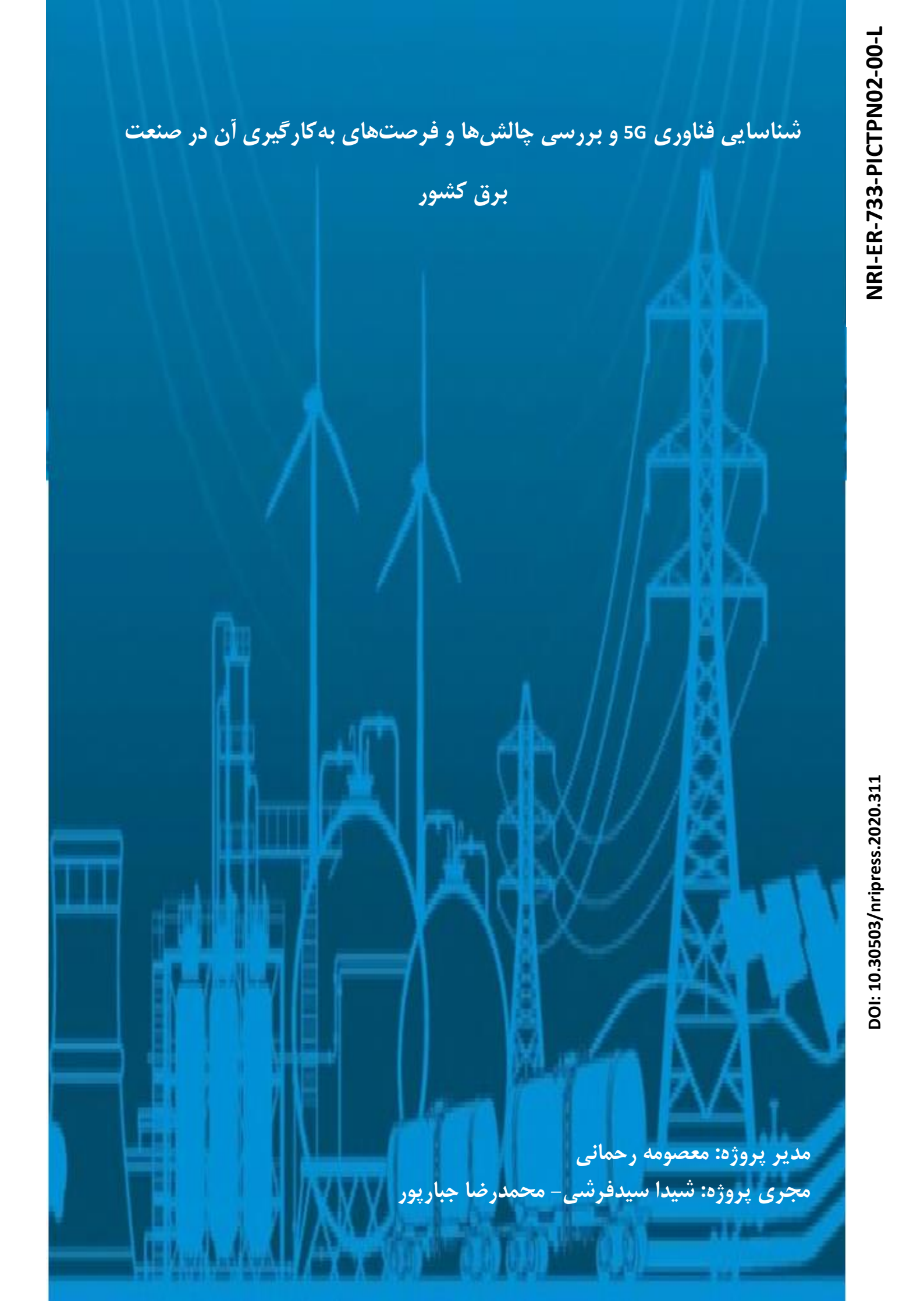




شناسایی فناوری 5G و بررسی چالش‌ها و فرصت‌های به‌کارگیری آن در صنعت برق کشور

مدیر پروژه: معصومه رحمانی
مجری پروژه: شیدا سیدفرشی – محمدرضا جبارپور

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

: شناسایی فناوری 5G و بررسی چالش‌ها و فرصت‌های به‌کارگیری آن در صنعت برق کشور

مدیر پروژه: معصومه رحمانی

همکار/همکاران پروژه:

صبریه چوبکار، محمدرضا طریحی، مهرانوش عابدی، علیرضا محمدحسینی، کیانا پدramنیا

مجری:

شیدا سیدفرشی/محمدرضا جبارپور

انتشارات پژوهشگاه نیرو

۱۴۰۰

کد گزارش: NRI-ER-733-PICTPN02-00-L

DOI: 10.30503/nripress.2020.311

ایران. وزارت نیرو. پژوهشگاه نیرو. گروه/مرکز پژوهشی فناوری اطلاعات و ارتباطات
شناسایی فناوری 5G و بررسی چالش‌ها و فرصت‌های به‌کارگیری آن در صنعت برق کشور/ معصومه
رحمانی. معصومه رحمانی. تهران: پژوهشگاه نیرو، ۱۴۰۰.

۵۸۹ ص: مصور، نمودار، جدول

۱. رحمانی، معصومه. چوبکار، صبریه. طریحی، محمدرضا. عابدی، مهنوش. محمدحسینی، علیرضا. پدramنیا،
کیانا، همکاران پروژه. ۲. سیدفرشی، شیدا. جبارپور، محمدرضا. مجری ۳. محور تجهیزات و ارتباطات رادیویی
۴. محور زیرساخت شبکه هوشمند محور ۵. رحمانی، معصومه



انتشارات پژوهشگاه نیرو

گروه پژوهشی فناوری اطلاعات و ارتباطات

کلیه حقوق قانونی این اثر متعلق به پژوهشگاه نیرو است.

نشانی: تهران، شهرک غرب، انتهای بلوار شهید دادمان، پژوهشگاه نیرو، کدپستی: ۱۴۶۸۶۱۳۱۱۳

تلفن: ۸۸۰۷۹۴۰۱-۹

نمابر: ۸۸۰۷۸۲۹۶

وبگاه: www.nri.ac.ir

پست الکترونیک انتشارات: publications@nri.ac.ir



فرم تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب معصومه رحمانی متهد می‌شوم که مطالب مندرج در این گزارش حاصل کار پژوهشی اینجانب و همکاران به شرح زیر است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این پژوهش از آن استفاده شده است، مطابق مقررات ارجاع و در فهرست منابع و مآخذ ذکر گردیده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به پژوهشگاه نیرو است.

همکاران :

۱. صبریه چوبکار
۲. محمدرضا طریحی
۳. مهرانوش عابدی
۴. علیرضا محمدحسینی
۵. کیانا پدramنیا

پیشگفتار

شبکه‌های مخابرات سلولی در حال حاضر به یکی از متداول‌ترین ابزارهای مخابراتی جهت ارتباطات صوت و داده بدل شده‌اند. آمارهای گوناگون متعلق به کشورهای مختلف جهان نشان می‌دهد که ضریب نفوذ این شبکه‌ها از شبکه‌های تلفن ثابت بسیار فراتر رفته است. همچنین مشخصه‌هایی چون سطح پوشش گسترده و پشتیبانی کامل از تحرک‌پذیری، این شبکه‌ها را به عنوان رقیب جدی برای شبکه‌هایی که به‌طور اختصاصی برای داده‌ی بی‌سیم طراحی شده‌اند، قرار داده است. سیر تکاملی مخابرات سلولی از طرفی و از طرف دیگر سرویس‌های متنوع با کیفیت متفاوت ارائه شده توسط اپراتورهای مختلف، شرکت‌های برق را نیز به جایگزینی شبکه‌های اختصاصی خود با شبکه‌های سلولی و یا حداقل استفاده محتاطانه از این شبکه‌ها در کنار شبکه‌های خود تشویق کرده است.

در زمینه تاریخچه بررسی "مخابرات سلولی در صنعت برق" در پژوهشگاه نیرو، پروژه پژوهشی با عنوان "آینده‌پژوهی بکارگیری شبکه موبایل نسل سوم و چهارم در صنعت برق" در گروه پژوهشی فناوری اطلاعات و ارتباطات در سال گذشته انجام شده است که در آن شناسایی شبکه موبایل نسل سوم و چهارم، استخراج نیازمندی‌های مختلف مخابراتی زیرسیستم‌های کاربردی در صنعت برق و مسائل دیگری از قبیل مطالعات تطبیقی، بررسی فنی، اقتصادی و امنیتی کاربرد موبایل در شبکه هوشمند، اولویت‌بندی استفاده از فناوری‌های موبایل در موارد کاربردی مختلف شبکه هوشمند و استخراج نکات کلیدی انعقاد قرارداد سطح سرویس در سطح شرکت‌های تابعه در صنعت برق هدف‌گذاری شده است. در ادامه بررسی‌های مرتبط با موضوع "مخابرات سلولی در صنعت برق"، پروژه پیش‌رو با عنوان "شناسایی فناوری 5G و بررسی چالش‌ها و فرصت‌های به‌کارگیری آن در صنعت برق کشور"، در قالب پروژه‌های آینده‌پژوهی تعریف شده است. پروژه‌های آینده‌پژوهی با هدف شناسایی لبه تکنولوژی و در راستای تحقق مسئولیت مدیریت تحقیقات صنعت برق توسط پژوهشگاه نیرو تعریف می‌شوند که متفاوت با هدف برطرف نمودن نیازهای فعلی و عاجل صنعت برق است. هدف از این پروژه، شناسایی شبکه‌های موبایل نسل پنجم و سرویس‌های آن است؛ بررسی خصوصیات این شبکه‌ها از جنبه‌های مختلف جهت استفاده در صنعت برق، مطالعات تطبیقی کاربرد موبایل نسل پنجم در شبکه هوشمند، نگاهی بر وضعیت هوشمندی شبکه هوشمند در کشور، بررسی چالش‌های فنی و غیرفنی بکارگیری شبکه 5G در صنعت برق و همچنین بررسی مدل‌های جدید کسب و کار که این فناوری نوین برای صنعت برق به همراه خواهد داشت از اهداف دیگر این پروژه می‌باشند.

گزارش حاضر، گزارش نهایی پروژه می‌باشد که در پنج فاز به انجام رسیده است که به ترتیب، گزارش فازهای آن در این مستند ارائه شده است.

در گزارش فاز اول، به "شناسایی فناوری‌ها و سرویس‌های نوین 5G مناسب برای کاربردهای شبکه هوشمند برق و انرژی" در قالب یازده فصل پرداخته شده است. در این فاز، خانم‌ها دکتر صبریه چوبکار و مهندسین معصومه رحمانی، مهرانوش عابدی و آقایان دکتر محمدرضا طریحی و مهندس علیرضا محمدحسینی همکاری نموده‌اند. همچنین خانم مهندس سیدفرشی مدیر محترم گروه و آقای دکتر رضوی زاده ناظر محترم پروژه بوده‌اند.

در فاز دوم پروژه به "بررسی نقشه راه شبکه هوشمند با رویکرد بکارگیری 5G در شبکه هوشمند" پرداخته شده است. در این فاز از پروژه، خانم‌ها دکتر صبریه چوبکار و مهندس معصومه رحمانی و آقایان دکتر محمدرضا طریحی و مهندس علیرضا محمدحسینی همکاری نموده‌اند. همچنین خانم مهندس سیدفرشی مدیر محترم گروه، آقای دکتر جبارپور داور محترم داخلی و آقای دکتر رضوی زاده ناظر محترم پروژه بوده‌اند.

در گزارش فاز سوم به "بررسی مستندات برای شناسایی وضعیت هوشمندسازی شبکه برق کشور در بخش‌های اتوماسیون توزیع، بازار برق، قرائت کنتورهای فهام، مدیریت تقاضا، منابع تولید پراکنده و ایستگاه‌های شارژ و خودرو برقی و برنامه توسعه هوشمندی صنعت برق" پرداخته شده است. در این فاز، خانم مهندس معصومه رحمانی همکاری نموده است. همچنین خانم مهندس سیدفرشی مدیر محترم گروه و آقای دکتر جبارپور داور محترم داخلی و آقای دکتر رضوی‌زاده ناظر محترم پروژه بوده‌اند.

در گزارش فاز چهارم پروژه به "استخراج چالش‌های به‌کارگیری 5G در صنعت برق کشور" پرداخته شده است. در این فاز، خانم‌ها مهندسین معصومه رحمانی، کیانا پدram نیا و دکتر صبریه چوبکار و آقایان مهندس علیرضا محمدحسینی و دکتر محمدرضا طریحی همکاری نموده‌اند. همچنین خانم مهندس سیدفرشی مجری محترم پروژه، آقای دکتر جبارپور داور محترم داخلی و آقای دکتر رضوی‌زاده ناظر محترم پروژه بوده‌اند.

در خاتمه، در فاز آخر پروژه نیز به "بررسی فرصت‌ها و مدل‌های کسب‌وکار موجود در بخش استفاده از 5G در شبکه هوشمند" پرداخته شده است. در این فاز از پروژه، خانم‌ها مهندس معصومه رحمانی و دکتر صبریه چوبکار و آقای دکتر محمدرضا طریحی همکاری نموده‌اند. همچنین آقای دکتر جبارپور مجری محترم همراه تیم پروژه در تحقق صحیح اهداف مدنظر بوده‌اند و آقای دکتر احسانیان معاونت محترم پژوهشی، زحمت نظارت این مرحله از پروژه را متقبل شدند؛ بدین وسیله از زحمات تمامی همکاران و دست‌اندرکاران پروژه قدردانی می‌شود.

فهرست مطالب فاز اول با عنوان:

شناسایی فناوری‌ها و سرویس‌های نوین 5G مناسب برای کاربردهای شبکه هوشمند
برق و انرژی

عنوان صفحه

مقدمه	۱
فصل ۱- معرفی کلی شبکه نسل پنجم	۳
۱-۱- مقدمه	۳
۱-۲- استانداردسازی شبکه نسل پنجم	۷
۱-۲-۱- اتحادیه جهانی مخابرات (ITU) و فعالیت‌های مرتبط آن در حوزه 5G	۷
۱-۲-۲- موسسه IEEE و فعالیت‌های مرتبط آن در حوزه 5G	۹
۱-۲-۳- نهاد 3GPP و فعالیت‌های مرتبط آن در حوزه 5G	۹
۱-۳- دسته‌بندی کلی سرویس‌های شبکه نسل پنجم	۱۴
۱-۳-۱- سرویس جامع موبایل پهن باند توسعه‌یافته در شبکه نسل پنجم	۱۴
۲-۳-۱- سرویس جامع ارتباطات از نوع ماشین در شبکه نسل پنجم	۱۴
۳-۳-۱- سرویس جامع ارتباطات تأخیر پایین با قابلیت اطمینان بسیار بالا در شبکه نسل پنجم	۱۵
۱-۴- پیشگامان جهانی	۱۷
۱-۵- منابع	Error! Bookmark not defined.
فصل ۲- معماری شبکه نسل پنجم	۱۹
۲-۱- معماری کلی و سرویس‌ها	۱۹
۲-۱-۱- شبکه دسترسی رادیویی نسل جدید (NG-RAN)	۲۱
۲-۱-۲- روش‌های نمایش	۲۴
۲-۱-۳- هسته شبکه نسل پنجم (5GC)	۲۸
۲-۲- سناریوهای استقرار شبکه نسل پنجم	۳۰
۲-۳- منابع	Error! Bookmark not defined.
فصل ۳- فناوری‌های شبکه دسترسی رادیویی (RAN)	۳۵

۳۵.....	۳-۱- مقدمه
۳۸.....	۳-۲- دسترسی چندگانه غیرمتعامد (NOMA)
۴۰.....	۳-۲-۱- سیستم ترکیبی NOMA /OMA
۴۰.....	۳-۲-۲- NOMA در رادیو شناخت گر (CR)
۴۱.....	۳-۲-۳- NOMA در سیستم MIMO
۴۲.....	۳-۲-۴- وضعیت استانداردسازی
۴۲.....	۳-۳- طراحی لایه فیزیکی انعطاف‌پذیر
۴۵.....	۳-۳-۱- مدولاسیون‌های شبکه 5G
۴۶.....	۳-۳-۲- FDMC مدولاسیون
۴۷.....	۳-۳-۳- GDMC مدولاسیون
۴۸.....	۳-۳-۴- UDMC مدولاسیون
۴۹.....	۳-۳-۵- کدکننده‌ها در شبکه 5G
۴۹.....	۳-۳-۶- ملاحظات طراحی گیرنده
۵۰.....	۳-۳-۷- وضعیت استانداردسازی
۵۱.....	۳-۴- سیستم چندورودی-چندخروجی حجیم
۵۳.....	۳-۴-۱- وضعیت استانداردسازی
۵۳.....	۳-۵- موج میلی‌متری
۵۵.....	۳-۶- ارتباطات دوطرفه
۵۷.....	۳-۶-۱- سناریوی ارتباطات دوطرفه در شبکه 5G
۵۸.....	۳-۶-۲- وضعیت استانداردسازی
۵۸.....	۳-۷- مدیریت منابع رادیویی، تقلیل تداخل و ذخیره‌سازی
۶۰.....	۳-۸- ارتباطات استحصال انرژی
۶۳.....	۳-۹- ارتباطات نور مرئی (VLC)
۶۳.....	۳-۱۰- جمع‌بندی
۶۹.....	فصل ۴- فناوری شبکه مبتنی بر نرم‌افزار (SDN)
۶۹.....	۴-۱- استانداردسازی شبکه مبتنی بر نرم‌افزار

۷۰	۴-۲ معماری و اجزای شبکه مبتنی بر نرم‌افزار.....
۷۱	۴-۲-۱ لایه‌ی زیرساخت.....
۷۳	۴-۲-۲ لایه‌ی کنترل.....
۷۴	۴-۲-۳ لایه‌ی کاربرد.....
۷۵	۴-۳ مزایای شبکه مبتنی بر نرم‌افزار.....
۷۶	۴-۴ معایب شبکه مبتنی بر نرم‌افزار.....
۷۶	۴-۵ شبکه مبتنی بر نرم‌افزار در شبکه موبایل.....
۷۹	۴-۶ جمع‌بندی.....
۴-۷	منابع.....

فصل ۵- فناوری مجازی‌سازی توابع شبکه (NFV)..... ۸۱

۸۲	۵-۱ استانداردسازی فناوری مجازی‌سازی توابع شبکه.....
۸۳	۵-۲ معماری و اجزای مجازی‌سازی توابع شبکه.....
۸۴	۵-۲-۱ مدیریت و هماهنگ‌سازی شبکه (MANO).....
۸۷	۵-۲-۲ زیرساخت مجازی‌سازی توابع شبکه (NFVI).....
۸۹	۵-۲-۳ توابع مجازی شبکه (VNF ها).....
۹۱	۵-۲-۴ سیستم پشتیبانی عملیاتی/تجاری (OSS/BSS).....
۹۲	۵-۳ مزایای فناوری مجازی‌سازی توابع شبکه.....
۹۳	۵-۴ معایب فناوری مجازی‌سازی توابع شبکه.....
۹۴	۵-۵ فناوری مجازی‌سازی توابع شبکه در شبکه موبایل نسل پنجم.....
۹۵	۵-۶ جمع‌بندی.....
۵-۷	منابع.....

فصل ۶- فناوری رایانش لبه سیار..... ۹۶

۹۶	۶-۱ معرفی فناوری رایانش لبه سیار.....
۹۷	۶-۱-۱ مرور فناوری رایانش لبه سیار.....
۹۸	۶-۱-۲ مرور فناوری‌های مرتبط.....
۹۸	۶-۱-۳ مزایای رایانش لبه سیار.....

- ۶-۲- معماری و پیاده‌سازی رایانش لبه سیار..... ۹۹
- ۶-۲-۱- پیاده‌سازی رایانش لبه سیار در شبکه‌های نسل چهارم [۲]..... ۹۹
- ۶-۲-۲- پیاده‌سازی رایانش لبه سیار در شبکه نسل پنجم [3]..... ۱۰۱
- ۶-۲-۳- معماری مبتنی بر سرویس شبکه نسل پنجم [۵]..... ۱۰۲
- ۶-۲-۴- سناریوهای به‌کارگیری رایانش لبه سیار..... ۱۰۴
- ۶-۳- استانداردسازی رایانش لبه سیار..... ۱۰۵
- ۶-۴- کاربردهای رایانش لبه سیار..... ۱۰۵
- ۶-۴-۱- کاربرد رایانش لبه سیار در مخابرات V2X [۶]..... ۱۰۶
- ۶-۴-۲- کاربرد رایانش لبه سیار برای کاربردهای ویدئویی [۷]..... ۱۰۷
- ۶-۵- رایانش لبه سیار و شبکه دسترسی رادیویی ابری [۴]..... ۱۰۸
- ۶-۵-۱- مزایای به‌کارگیری توامان فناوری رایانش لبه سیار (MEC) و CRAN..... ۱۰۸
- ۶-۵-۲- چالش‌های به‌کارگیری توامان فناوری رایانش لبه سیار (MEC) و شبکه دسترسی رادیویی ابری (CRAN).....

۱۰۹

- ۶-۶- جمع‌بندی..... ۱۰۹
- ۶-۷- منابع Error! Bookmark not defined.....

فصل ۷- شبکه دسترسی رادیویی ابری..... ۱۱۱

- ۷-۱- مقدمه..... ۱۱۱
- ۷-۲- معماری شبکه دسترسی رادیویی ابری..... ۱۱۲
- ۷-۳- ساختار مبتنی بر ابر شبکه دسترسی رادیویی در نسل پنجم..... ۱۱۸
- ۷-۴- مزایا و چالش‌های شبکه دسترسی رادیویی ابری..... ۱۲۱
- ۷-۴-۱- مزایای شبکه دسترسی رادیویی..... ۱۲۲
- ۷-۴-۲- چالش‌های شبکه دسترسی رادیویی ابری..... ۱۲۳
- ۷-۴-۳- استانداردسازی [۹]..... ۱۲۵
- ۷-۵- جمع‌بندی..... ۱۲۶

- ۷-۶- منابع Error! Bookmark not defined.....

فصل ۸- برش شبکه..... ۱۲۷

۸-۱- مقدمه ۱۲۷

۸-۲- مرور برخی مفاهیم..... ۱۲۹

۸-۲-۱- منابع مجازی‌سازی..... ۱۲۹

۸-۲-۲- مجازی‌سازی..... ۱۲۹

۸-۲-۳- هماهنگ‌سازی..... ۱۳۱

۸-۲-۴- مجزا سازی.....

۱۳۳

۸-۳- شبکه مبتنی بر نرم‌افزار (SDN)..... ۱۳۳

۸-۴- مجازی‌سازی توابع شبکه (NFV)..... ۱۳۶

۸-۵- برش شبکه با استفاده از شبکه مبتنی بر نرم‌افزار و مجازی‌سازی توابع شبکه..... ۱۳۹

۸-۶- معماری سیستم برش شبکه [۳]..... ۱۴۱

۸-۶-۱- برش شبکه در شبکه دسترسی رادیویی..... ۱۴۲

۸-۶-۲- برش شبکه در هسته..... ۱۴۴

۸-۷- استانداردسازی برش شبکه [۴،۵]..... ۱۴۵

۸-۸- کاربردهای فناوری برش شبکه..... ۱۴۷

۸-۹- جمع‌بندی..... ۱۴۸

Error! Bookmark not defined...... ۸-۱۰- منابع**فصل ۹- شبکه انتقال..... ۱۵۰**

۹-۱- مقدمه [۱]..... ۱۵۰

۹-۲- چالش‌های بک‌هال..... ۱۵۱

۹-۲-۱- تکامل LTE..... ۱۵۱

۹-۲-۲- برش شبکه در شبکه نسل پنجم..... ۱۵۱

۹-۲-۳- رشد تعداد کاربران انتهایی..... ۱۵۱

۹-۲-۴- رشد ترافیک مصرفی..... ۱۵۲

۹-۲-۵- نیاز به حداقل تأخیر..... ۱۵۲

۱۵۲	۹-۲-۶- تراکم شبکه.....
۱۵۲	۹-۳- گزینه‌های پیاده‌سازی بک‌ها.....
۱۵۳	۹-۳-۱- سیم مسی.....
۱۵۳	۹-۳-۲- فیبر نوری.....
۱۵۴	۹-۳-۳- لینک بی‌سیم.....
۱۵۴	۹-۳-۴- لینک ماهواره ای.....
۱۵۵	۹-۴- معماری شبکه انتقال در شبکه نسل پنجم.....
۱۵۵	۹-۴-۱- فناوری شبکه دسترسی و بک‌ها (IAB).....
۱۵۷	۹-۴-۲- لینک X-Haul.....
۱۵۹	۹-۵- سهم بازار.....
۱۶۰	۹-۶- جمع‌بندی.....
	۹-۷- منابع Error! Bookmark not defined.
۱۶۱	فصل ۱۰- کاربرد و سرویس‌های شبکه نسل پنجم.....
۱۶۱	۱۰-۱- مقدمه
۱۶۱	۱۰-۲- نمونه‌هایی از کاربردها.....
۱۶۲	۱۰-۳- نیازمندی‌های کاربردها.....
۱۶۴	۱۰-۴- تقسیم‌بندی سرویس‌های شبکه نسل پنجم بر اساس انواع تعامل و بازه عملکرد آن‌ها
۱۶۵	۱۰-۴-۱- سیستم موبایل پهن‌بند پیشرفته.....
۱۶۶	۱۰-۴-۲- اینترنت اشیاء با تعداد زیاد.....
۱۶۷	۱۰-۴-۳- ارتباطات حیاتی [۲].....
۱۶۸	۱۰-۵- کاربردهای عمومی شبکه نسل پنجم.....
۱۷۰	۱۰-۵-۱- کاربرد اتوماسیون صنعتی.....
۱۷۱	۱۰-۵-۲- ارائه سرویس به صنعت برق.....
۱۷۲	۱۰-۶- کاربردهای باند میلی‌متری شبکه نسل پنجم.....
۱۷۴	۱۰-۷- کیفیت سرویس شبکه نسل پنجم.....
۱۷۴	۱۰-۷-۱- کیفیت سرویس برای URLLC.....

۱۷۵	eMBB کیفیت سرویس برای
۱۷۶	mMTC کیفیت سرویس برای
۱۷۷	۴-۷-۱۰-ارائه سرویس‌های همزمان به کاربردهای متنوع
۱۷۷	۸-۱۰-بهبود کیفیت سرویس با کمک مفهوم برش شبکه
۱۷۸	۸-۱۰-مدیریت سرویس‌ها در پیاده‌سازی برش شبکه
۱۷۹	۹-۱۰-ارائه سرویس در ساختار شبکه دسترسی رادیویی
۱۸۰	۹-۱۰-سرویس‌های شبکه نسل پنجم با کمک فناوری رایانش لبه سیار (MEC)
۱۸۱	۹-۱۰-نقش طرف سوم در سرویس‌های شبکه نسل پنجم
۱۸۱	۱۰-۱۰-زنجیره سرویس شبکه (NSC)
۱۸۲	۱۰-۱۱-جمع‌بندی

Error! Bookmark not defined...... ۱۰-۱۲-منابع

فصل ۱۱- کاربرد شبکه نسل پنجم در صنعت برق و انرژی..... ۱۸۶

۱۸۶	۱۱-۱-مقدمه
۱۹۲	۱۱-۲-تعیین نیازمندی‌های کلی ارتباطاتی شبکه هوشمند
۱۹۸	۱۱-۳-موارد کاربردی آتی ارتباطات در شبکه هوشمند
۲۰۰	۱۱-۳-۱-فعال‌سازی شبکه انرژی محلی
۲۰۲	۱۱-۳-۲-فعال‌سازی مدیریت انعطاف‌پذیری
۲۰۴	۱۱-۴-کاربردهای مطرح برای استفاده 5G در شبکه هوشمند برق
۲۰۵	۱۱-۴-۱-کاربرد در حوزه مشتریان
۲۰۸	۱۱-۴-۲-کاربرد در ارتباطات بالادستی
۲۰۹	۱۱-۵-کاربرد 5G در شبکه هوشمند با تمرکز بر فناوری مجازی‌سازی
۲۱۳	۱۱-۶-کاربرد 5G در شبکه هوشمند با تمرکز بر فناوری برش بندی شبکه
۲۱۳	۱۱-۶-۱-برش شبکه در زیرساخت اندازه‌گیری پیشرفته (AMI)
۲۱۴	۱۱-۶-۲-برش شبکه در اتوماسیون توزیع و فوق توزیع
۲۱۶	۱۱-۶-۳-برش شبکه در زیرسیستم بازرسی شبکه قدرت با استفاده از پهپادها
۲۱۶	۱۱-۶-۴-برش شبکه برای کاربرد کنترل دقیق بار در سطح میلی‌ثانیه

- ۵-۶-۱۱- سایر فعالیت‌های مرتبط با کاربرد برش شبکه در شبکه هوشمند..... ۲۱۷
- ۷-۱۱- کاربرد 5G در شبکه هوشمند با تمرکز بر رایانش لبه سیار (MEC)..... ۲۲۰
- ۸-۱۱- کاربرد 5G در شبکه هوشمند با تمرکز بر فناوری‌های مخابراتی شبکه دسترسی..... ۲۲۲
- ۹-۱۱- مزایا و چالش‌های شبکه 5G برای استفاده در شبکه هوشمند..... ۲۲۳
- ۱۰-۱۱- جمع‌بندی..... ۲۲۵
- ۱۱-۱۱- منابع Error! Bookmark not defined.....

فهرست شکل‌های فاز اول پروژه

صفحه

عنوان

شکل ۱-۱ تغییر شبکه از نسل چهارم به نسل پنجم [۲].....	۴
شکل ۱-۲ دسته‌بندی سرویس‌های جامع شبکه نسل پنجم، با تأکید بر نیازمندی‌های متفاوت شبکه نسل پنجم و چهار فعال‌ساز عمده [۴].....	۵
شکل ۱-۳ گزارش‌های منسوب به IMT2020 در ITU-R [۵].....	۷
شکل ۲-۱ معماری کلی شبکه نسل پنجم [۱].....	۱۹
شکل ۲-۲ نشست PDU و flowهای کیفیت سرویس در سطح کاربری [۱].....	۲۰
شکل ۲-۳ جداسازی عملکردی بین شبکه دسترسی رادیویی NG-RAN و شبکه هسته 5GC.....	۲۱
شکل ۲-۴ نمای کلی از معماری شبکه دسترسی رادیویی نسل پنجم.....	۲۲
شکل ۲-۵ پشته پروتکلی NG-RAN [۱].....	۲۳
شکل ۲-۶ معماری سیستمی شبکه نسل پنجم در روش نمایش نقاط مرجع – بدون رومینگ.....	۲۵
شکل ۲-۷ معماری سیستمی شبکه نسل پنجم در روش نمایش سرویس محور [۱].....	۲۶
شکل ۲-۸ سناریوهای توسعه شبکه نسل پنجم [۵].....	۳۳
شکل ۳-۱ نقشه راه شبکه نسل پنجم.....	۳۶
شکل ۳-۲ مقایسه قابلیت‌ها در IMT-Advanced و IMT 2020 [۵۲].....	۳۷
شکل ۳-۳ طرح NOMA با گیرنده SIC.....	۳۹
شکل ۳-۴ شبکه NOMA دو کاربره [۵۶].....	۴۱
شکل ۳-۵ الزامات طراحی شکل موج برای انواع مختلف لینک.....	۴۴
شکل ۳-۶ یک بلوک از GFDM در حوزه زمان و فرکانس.....	۴۶
شکل ۳-۷ بلوک‌دیگرام ترانسیور GFDM [۶۰].....	۴۷
شکل ۳-۸ مفهوم tail-biting در یک فریم اطلاعات GFDM [۶۰].....	۴۷
شکل ۳-۹ بلوک‌دیگرام ترانسیور UFMC [۶۰].....	۴۸
شکل ۳-۱۰ بلوک‌دیگرام گیرنده دیجیتال [۶۰].....	۴۹
شکل ۳-۱۱ نمای جهانی شبکه نسل پنجم.....	۵۱
شکل ۳-۱۲ حالت‌های مختلف سیستم‌های چند آنتنه.....	۵۲
شکل ۳-۱۳ چشم‌اندازی از دسترسی رادیویی در شبکه نسل پنجم.....	۵۴

- شکل ۱۴-۳ یک سیستم ارتباطی FD که خود-تداخلی (SI) و تداخل کانال هم‌جوار (co-channel) باعث ایجاد اختلال در لینک فراسو و فروسو شده است ۵۶
- شکل ۱۵-۳: سناریوی استفاده از ارتباط دوطرفه در شبکه 5G ۵۷
- شکل ۱۶-۳ استحصال انرژی در سمت تأمین انرژی و تقاضای ارتباطات (a) طراحی متعارف (b) بارگذاری ترافیک (c) اشتراک‌گذاری طیف (d) COMP ۶۱
- شکل ۱۷-۳ نمونه‌ای از تجارت انرژی و انتقال مشارکتی در یک سیستم ارتباطی استحصال انرژی ترکیبی ۶۲
- شکل ۱-۴ نمای کلی از معماری شبکه مبتنی بر نرم‌افزار [۳] ۷۱
- شکل ۲-۴ نمای کلی از تجهیزات شبکه سنتی (سمت راست) و شبکه SDN (سمت چپ) [۳] ۷۲
- شکل ۳-۴ اجزای سوئیچ باز در شبکه مبتنی بر نرم‌افزار [۳] ۷۳
- شکل ۱-۵ جایگزینی عملکرد تجهیزات از سخت‌افزار آن‌ها توسط شبکه مجهز به فناوری مجازی‌سازی توابع شبکه [۳] ۸۱
- شکل ۲-۵ فعالیت‌های استانداردسازی SDOهای مختلف و رخدادهای اصلی فناوری مجازی‌سازی توابع شبکه [۲] ۸۲
- شکل ۳-۵ معماری شبکه مجهز به فناوری مجازی‌سازی توابع شبکه [۲] ۸۴
- شکل ۴-۵ مؤلفه‌های NFV MANO و ارتباطات آن‌ها با دیگر اجزای معماری NFV ۸۵
- شکل ۵-۵ معماری داخلی NFVI [۴] ۸۸
- شکل ۶-۵ دید عملیاتی یک VNF به همراه ارتباطات آن [۵] ۹۰
- شکل ۱-۶ روش پیاده‌سازی بین هسته و سایر بخش‌های شبکه ۱۰۰
- شکل ۲-۶ روش هسته شبکه توزیع شده ۱۰۱
- شکل ۳-۶ معماری نسل پنجم سرویس‌محور و معماری سیستم رایانش لبه سیار (MEC) ۱۰۳
- شکل ۴-۶ بکارگیری محاسبات لبه سیار در معماری SBA نسل پنجم ۱۰۴
- شکل ۵-۶ پیاده‌سازی محاسبات لبه سیار ۱۰۴
- شکل ۱-۷ معماری شبکه دسترسی رادیویی ابری برای شبکه موبایل [۳] ۱۱۳
- شکل ۲-۷ روش‌های جداسازی متفاوت عملیات ایستگاه پایه [۳] ۱۱۳
- شکل ۳-۷ معماری شبکه دسترسی رادیویی ابری کاملاً تمرکز یافته [۳] ۱۱۵
- شکل ۴-۷ معماری شبکه دسترسی رادیویی جزئی تمرکز یافته [۳] ۱۱۶
- شکل ۵-۷ تقسیم عملکرد در معماری‌های شبکه دسترسی رادیویی تمرکز یافته [۴] ۱۱۶
- شکل ۶-۷ ساختار مبتنی بر ابر [۸] ۱۲۱
- شکل ۱-۸ برش شبکه [۱] ۱۲۸
- شکل ۲-۸: ساختار ارائه سرویس به صورت چندلایه [۱] ۱۳۰

- شکل ۳-۸: پیاده‌سازی برش شبکه بر روی یک چارچوب به همراه دو مفهوم شبکه مبتنی بر نرم‌افزار و مجازی‌سازی توابع شبکه [۱] ۱۳۱
- شکل ۴-۸ معماری هماهنگ‌سازی براساس 5GPPP [۲] ۱۳۲
- شکل ۵-۸ تقسیم‌بندی محتوا در شبکه مبتنی بر نرم‌افزار [۱] ۱۳۵
- شکل ۶-۸ مفهوم بازگشتی در شبکه مبتنی بر نرم‌افزار [۱] ۱۳۶
- شکل ۷-۸ معماری مجازی‌سازی توابع شبکه مجهز به شبکه مبتنی بر نرم‌افزار [۱] ۱۳۸
- شکل ۸-۸ برش شبکه با استفاده از شبکه مبتنی بر نرم‌افزار و مجازی‌سازی توابع شبکه ۱۴۰
- شکل ۹-۸ برش شبکه در هسته و شبکه دسترسی شبکه ۱۴۱
- شکل ۱۰-۸ برش‌های شبکه برای سرویس‌های خاص ۱۴۲
- شکل ۱۱-۸ تخصیص منابع رادیویی در هر برش شبکه ۱۴۳
- شکل ۱۲-۸ ارتباط موسسات و سازمانهای استانداردسازی ۱۴۶
- شکل ۱-۹ شبکه سلولی و نمایی از لینک پشتی و لینک جلویی ۱۵۰
- شکل ۲-۹ فناوری شبکه بک‌هال و دسترسی مجتمع ۱۵۶
- شکل ۳-۹ لایه‌های شبکه انتقال و دسترسی مجتمع ۱۵۷
- شکل ۴-۹ سهم بازار ۱۶۰
- شکل ۱-۱۰ دسته‌بندی برخی از کاربردهای شبکه نسل پنجم بر اساس نوع تعامل و نیازمندی‌های عملکردی [۲]. ۱۶۱
- شکل ۲-۱۰ سه دسته اصلی سرویس‌های شبکه نسل پنجم [۳] ۱۶۵
- شکل ۳-۱۰ تحقق کاربردهای اینترنت اشیاء بزرگ با فناوری شبکه نسل پنجم [۲] ۱۶۷
- شکل ۴-۱۰ تکامل شبکه نسل پنجم برای اتوماسیون بلادرنگ (منبع: اریکسون) [۴] ۱۷۰
- شکل ۵-۱۰ مقایسه ویژگی‌های باندهای فرکانسی شبکه نسل پنجم ۱۷۲
- شکل ۶-۱۰ سه سناریوی ارتباطی برای نیازهای کیفیت سرویس در گروه URLLC [۳] ۱۷۵
- شکل ۷-۱۰ پیاده‌سازی و تعامل همزمان کاربردهای URLLC و eMBB با ایستگاه پایه [۳] ۱۷۷
- شکل ۸-۱۰ معماری مدیریت برش شبکه [۱۳] ۱۷۹
- شکل ۴-۱۱ حوزه‌های مختلف در ارتباطات شبکه هوشمند [۴] ۱۹۴
- شکل ۵-۱۱ چالش ارتباطات در شبکه هوشمند آتی [۶] ۲۰۱
- شکل ۶-۱۱ متعادل‌سازی شبکه انرژی غیرمتمرکز [۶] ۲۰۲
- شکل ۷-۱۱ معماری استفاده از شبکه ارتباطی نسل پنجم در شبکه هوشمند [۱۰] ۲۰۹
- شکل ۸-۱۱ توابع مجازی در پروژه NRG-5 ۲۱۲
- شکل ۹-۱۱ برش شبکه نسل پنجم برای مورد کاربرد AMI [۳] ۲۱۴
- شکل ۱۰-۱۱ برش شبکه نسل پنجم برای اتوماسیون توزیع و فوق توزیع [۳] ۲۱۵

- شکل ۱۱-۱۱ برش شبکه نسل پنجم برای بازرسی پهپاد [۳] ۲۱۶
- شکل ۱۱-۱۲ برش شبکه نسل پنجم برای کاربرد کنترل دقیق بار در سطح میلی‌ثانیه [۳] ۲۱۷

فهرست جدول‌های فاز اول پروژه

عنوان	صفحه
جدول ۱-۲ گزینه‌های مختلف توسعه شبکه نسل پنجم همراه با مشخصات استانداردسازی شده [۷].....	۳۳
جدول ۱-۳ الزامات سیستم‌های ارتباطی بی‌سیم شبکه نسل پنجم [۴۷].....	۳۶
جدول ۲-۳ فناوری‌های کاندید در شبکه نسل پنجم.....	۳۸
جدول ۳-۳ جمع‌بندی فناوری‌های شبکه دسترسی رادیویی.....	۶۴
جدول ۱-۵ برخی توابع شبکه با قابلیت مجازی شدن.....	۸۹
جدول ۱-۱۰ نیازمندی‌های کاربردهای مختلف [۲].....	۱۶۳
جدول ۲-۱۰ کیفیت سرویس برای کاربردهای URLLC [۳].....	۱۷۴
جدول ۳-۱۰ نیازمندی‌های عملکردی و ویژگی‌های ترافیکی برای eMBB [۸] و [۹].....	۱۷۶
جدول ۴-۱۰ نیازمندی‌های عملکردی و ویژگی‌های ترافیکی برای mMTC [۸] و [۹].....	۱۷۶
جدول ۱-۱۱ محدودیت‌های فناوری‌های مخابراتی مورد استفاده در شبکه‌های هوشمند [۳].....	۱۹۰
جدول ۲-۱۱ فناوری‌های مخابراتی پیشنهاد شده شبکه دسترسی رادیویی برای ارتباطات شبکه هوشمند.....	۲۲۳

مقدمه فاز اول

قبل از ظهور نسل پنجم موبایل، طراحی معماری شبکه سلولی بر پایه کاربران انتهایی استوار شده بود. کاربران نهایی مهم‌ترین اولویت شبکه بودند و نسل به نسل، طراحان شبکه سلولی، تلاش داشتند تا همواره ظرفیت بالاتر را در کنار تبدیل معماری به شبکه تمام-IP (در نسل 4) ارائه دهند.

شبکه نسل پنجم، الگوی طراحی سی‌ساله را تغییر داده است و در کنار پیشرفت‌هایی که در سرعت و تأخیر برای آن متصور است، معماری آن، تغییر اولویت شبکه را از کاربران به صنایع عمودی¹ معرفی می‌کند. شبکه نسل پنجم، علاوه بر این که سرویس‌های ارتباطی را برای کاربران انتهایی فراهم می‌سازد بلکه برای بازار صنایع عمودی مختلف از مدیریت شهری، دولت، سلامت، کارخانه‌داری، اتوماسیون گرفته تا سیستم‌های حمل و نقل هوشمند و صنعت انرژی نیز سرویس ارتباطی ارائه خواهد کرد؛ چنین تنوعی از درخواست‌ها و تقاضاها، نیازمند چابکی سرویس در محیط مبتنی بر نرم‌افزار هست و سخت‌افزارهایی با قالبی سخت، پاسخگوی آن نخواهند بود؛ به همین دلیل، در معماری نسل پنجم، نرم‌افزاری شدن توابع شبکه مطرح شده است؛ فناوری‌هایی چون شبکه مبتنی بر نرم‌افزار² (SDN)، مجازی‌سازی توابع شبکه³ (NFV) و رایانش ابری⁴ فناوری‌های پایه‌ای برای بهره‌گیری کامل از توان شبکه نسل پنجم هست.

امروزه، اپراتورهای تلفن همراه با وضعیت جدی مواجه هستند از طرفی با معرفی استانداردهای مختلف و نفوذ دستگاه‌های هوشمند، ترافیک اینترنت همراه افزایش جدی یافته و اپراتورها مجبور به صرف هزینه‌های بیشتر برای برآورده کردن نیاز کاربران شدند. از سوی دیگر میانگین درآمد برحسب کاربر (ARPU⁵) با افزایش هزینه‌ها قابل قبول نیست. پیش‌بینی شده است که ترافیک در سال‌های آینده، هر ساله دو برابر خواهد شد که این مستلزم افزایش هزینه‌های راه‌اندازی و نگهداری و به‌روزرسانی شبکه خواهد بود درحالی که سود اپراتورها افزایش محسوسی نخواهد داشت. برای تأمین نیازهای مربوط به افزایش ترافیک با استفاده از روشی با صرفه در شبکه نسل پنجم راه‌حل‌هایی ارائه شده است. بهبود بهره طیفی با استفاده از فن‌های ارسال پیشرفته‌تر مثل شکل‌دهی پرتو⁶، بهره‌برداری از فضای خالی در طیف فرکانسی به شیوه‌های پویا از طریق فناوری رادیو شناخت گر⁷ و شبکه دسترسی ابری از این قبیل موارد هستند.

1 Verticals

2 Software defined networking

3 Network Function Virtualization

4 Cloud Computing

5 Average revenue per user

6 Beamforming

7 Cognitive Radio

در مرحله اول از پروژه "شناسایی فناوری 5G و بررسی چالش‌ها و فرصت‌های به‌کارگیری آن در صنعت برق کشور"، شناسایی فناوری‌های نوین و سرویس‌های شبکه نسل پنجم موردتوجه قرار گرفته است. از آنجایی که شبکه نسل پنجم به‌عنوان شتاب‌دهنده هوشمند سازی شبکه قدرت معرفی شده است، کاربردهای سرویس‌ها و فناوری‌های نوین شبکه نسل پنجم در حوزه صنعت برق نیز در این مرحله بررسی شده است؛ این گزارش، در یازده فصل تهیه شده است؛ فصل اول به معرفی کلی شبکه نسل پنجم پرداخته است. فصل دوم، معماری شبکه ارائه شده است. در فصل سوم، فناوری‌های نوین شبکه دسترسی رادیویی شرح داده شده است. در سیستم نسل پنجم، فناوری‌هایی چون شبکه مبتنی بر نرم‌افزار، مجازی‌سازی توابع شبکه، برش شبکه انتها به انتها، معماری بر پایه سرویس ستون‌های اصلی هستند که از نشانگرهای عملکردی کلیدی¹ (KPIهای) مختلف در موارد کاربردی متعدد به‌طور مؤثری پشتیبانی می‌کنند. فناوری‌های نوین شبکه نسل پنجم در فصل‌های مختلف این گزارش موردبررسی قرار گرفته است. در فصل چهارم فناوری شبکه مبتنی بر نرم‌افزار مطرح شده است و فصل پنجم به فناوری مجازی‌سازی توابع شبکه پرداخته شده است. فصل ششم، فناوری رایانش لبه سیار ارائه شده است و در فصل هفتم، شبکه دسترسی رادیویی ابری شرح داده شده است. فصل هشتم برش شبکه ارائه شده است و در فصل نهم، شبکه انتقال در نسل پنجم موبایل شرح داده شده است. در فصل دهم، کاربرد و سرویس‌های شبکه نسل پنجم ارائه شده است. در آخر در فصل یازدهم، کاربرد شبکه نسل پنجم در صنعت برق ارائه شده است.

¹ Key performance indicator

فصل ۱ – معرفی کلی شبکه نسل پنجم

۱-۱- مقدمه

نسل پنجم شبکه‌های ارتباطی (5G) به‌عنوان فناوری تحول‌آفرین در عرصه‌های مختلف فنی، اقتصادی، کسب‌وکاری و اجتماعی مطرح شده است. سازمان‌های مختلف بین‌المللی بنا به وظیفه خود در زمینه ایجاد اجماع بین‌المللی در بین همه بازیگران، تعیین خط‌مشی‌های هماهنگ در سطح جهان و چارچوب‌بندی توسعه فناوری، فعالیت‌های گسترده‌ای در زمینه تحقق شبکه نسل پنجم آن انجام می‌دهند؛ سه موسسه اتحادیه جهانی مخابرات (ITU)، 3GPP و IEEE در استانداردسازی شبکه نسل پنجم فعالیت داشته‌اند؛ اتحادیه ITU سال ۲۰۲۰ را برای نهایی سازی استانداردهای فنی نسل پنجم در نظر گرفته است. تا انتهای سال ۲۰۱۸ میلادی پیاده‌سازی‌هایی ابتدایی از شبکه نسل پنجم به اتمام رسید ولی به‌طور رسمی ارائه سرویس‌ها و محصولات شبکه نسل پنجم از سال ۲۰۲۰ میلادی آغاز می‌شود، طوری که برآورد می‌شود تا انتهای سال ۲۰۲۴ میلادی، اپراتورهای ۵۰ کشور مختلف سرویس‌های شبکه نسل پنجم را پشتیبانی کنند.

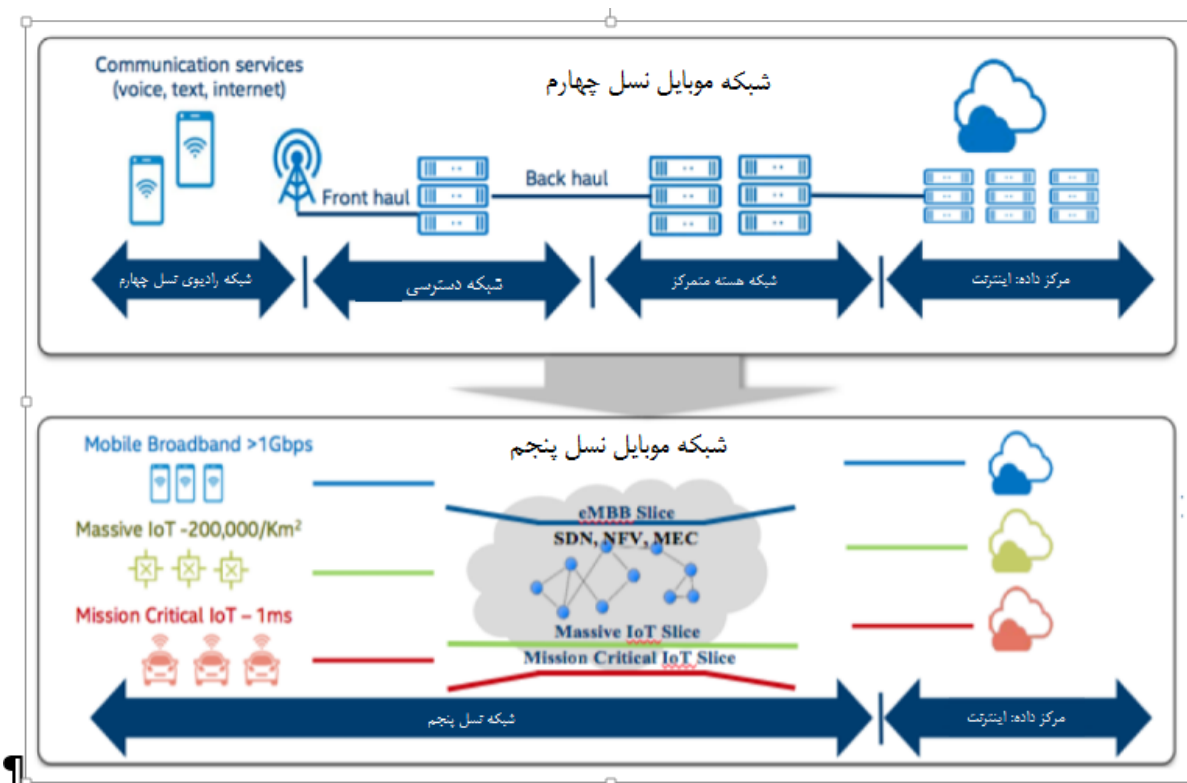
شبکه نسل پنجم مشتمل بر هسته شبکه (5GC)، شبکه دسترسی رادیویی جدید (NG-RAN) است. با به‌کارگیری فناوری دسترسی رادیویی جدید (NR) و بهره‌مندی از باندهای فرکانسی بالاتر، پهنای باند سیستم جدید به‌مراتب افزایش پیدا می‌کند. سه باند فرکانسی جدید، کمتر از یک گیگاهرتز و بازه یک تا شش گیگاهرتز و بالای شش گیگاهرتز در سیستم‌های نسل پنجم بکار گرفته خواهند شد. همچنین بر اساس اجلاس جهانی ارتباطات رادیویی^۱ (WRC) که در اواخر سال ۲۰۱۹ میلادی برگزار شد دو باند فرکانسی ۲۶ گیگاهرتز و ۴۰ گیگاهرتز نیز در سیستم‌های نسل پنجم به کار گرفته خواهد شد. باندهای فرکانسی بالاتر منجر به پهنای باند در دسترس بیشتر و کاهش سائز سلول‌های شبکه می‌شوند.

برنامه‌ریزی‌ها و اقدامات فراوانی برای ارائه محصولات و خدمات تجاری شبکه‌های نسل پنجم در جریان است و در برخی کشورها از همین حالا خدمات مبتنی بر 5G ارائه شده است. نتایج مطالعات گوناگون در حوزه شبکه نسل پنجم مؤید این نکته است که این فناوری علاوه بر بهبود خدمات و یا ارائه خدمات جدید به کاربران نهایی، بازار بسیار مناسبی در صنایع مختلف (از جمله انرژی، خودرو، حمل‌ونقل و غیره) دارد؛ بازار، صنایع، سرویس‌ها و طیف وسیعی از فعالیت‌ها و کاربردهای آن‌ها با این فناوری نوین به‌سرعت در حال تطابق هستند.

¹ World radiocommunication conferences

شبکه موبایل نسل پنجم در مراحل مطالعاتی و پیاده‌سازی اولیه قرار دارد و تمرکز این فعالیت‌ها در حیطه رادیو، شبکه هسته و شبکه انتقال است. زیربنای این سرویس‌ها توسط اتوماسیون و پیشبرد آن‌ها توسط هوش مصنوعی^۱ (AI) و تحلیل‌ها پشتیبانی می‌شود [۱].

نسل پنجم با بهره‌گیری از فناوری‌های نوین، تغییرات اساسی در شبکه را ارائه می‌دهد. شکل ۱-۱ تغییرات شبکه از نسل چهارم به نسل پنجم و استفاده از فناوری‌های شبکه مبتنی بر نرم‌افزار، مجازی‌سازی توابع شبکه و برش شبکه برای ارائه سرویس را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱ تغییر شبکه از نسل چهارم به نسل پنجم [۲]

با توجه به اینکه پیاده‌سازی شبکه‌های مجزا برای برآورده ساختن نیازمندی‌های مختلف کیفیت سرویس عملی نیست، شبکه نسل پنجم با انعطاف‌پذیری، قابلیت توسعه و قابلیت اطمینان جوابگوی مجموع این نیازها خواهند بود و کاربردهای مختلف با نیازمندی‌های متفاوتی (تأخیر، گذردهی، امنیت، جابجایی ادوات و ...) را در برمی‌گیرد. به همین دلیل در شبکه نسل پنجم، ویژگی‌های کلیدی موارد کاربردی^۲ مختلف شناسایی شده است و نیازمندی‌ها به این ویژگی‌های کلیدی تخصیص داده شده است. فناوری‌ها به سه سرویس ارتباطی جامع تقسیم شده است؛ چهار فعال‌ساز^۳ از سرویس‌ها پشتیبانی می‌کنند.

¹ Artificial Intelligence

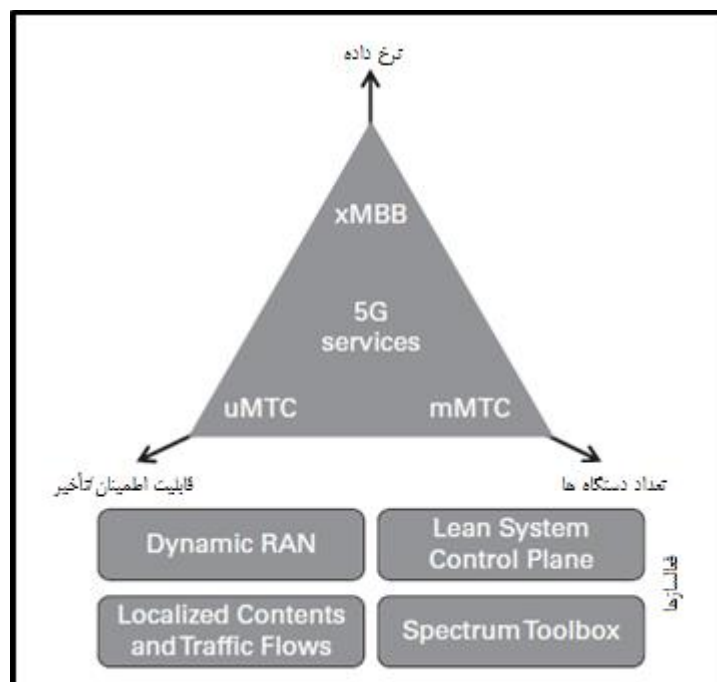
² use case

³ enabler

هر مورد کاربردی، ترکیبی از توابع پایه هست و هر سرویس جامع ارتباطی به مجموعه‌ای از نیازمندی‌ها تأکید دارد. فعال‌سازها شامل توابعی می‌شوند که با بیشتر از یک سرویس جامع شبکه نسل پنجم اشتراک دارند. سه سرویس جامع شبکه نسل پنجم به شرح زیر هست.

- سرویس جامع eMBB¹
- سرویس جامع mMTC²
- سرویس جامع uRLLC³

این سرویس‌ها توسط انجمن ITU-R معرفی شده است. با بررسی این سرویس‌ها، مشخص می‌شود که پایه‌گذاری هر یک از آن‌ها، در نسل‌های قبلی شبکه موبایل آغاز شده است. در شکل ۱-۲ دسته‌بندی سرویس‌های جامع شبکه نسل پنجم، با تأکید بر نیازمندی‌های متفاوت شبکه نسل پنجم و چهار فعال‌ساز عمده ارائه شده است.



شکل ۱-۲ دسته‌بندی سرویس‌های جامع شبکه نسل پنجم، با تأکید بر نیازمندی‌های متفاوت شبکه نسل پنجم و چهار فعال‌ساز عمده [۴]

چهار فعال‌سازی که سرویس‌های جامع را پشتیبانی می‌کنند به این شرح می‌باشند [۴]:

¹ Enhanced mobile broadband

² massive machine type communication

³ ultra ReliableLow Latency communication

- ۱- شبکه دسترسی رادیویی پویا¹ (DyRAN): این فعال‌ساز، شبکه دسترسی رادیویی را به نحوی فراهم می‌سازد که تغییرات سریع فضایی و زمانی بسته به نیاز کاربران جبران شده و ترکیبی از سرویس‌های جامع ارائه شود. اجزای این فعال‌ساز به این شرح می‌باشند:
 - شبکه‌های بسیار متراکم^۲
 - شبکه‌های متحرک^۳ (رله‌های متحرک و رله‌های مختص سبک زندگی عشایر^۴)
 - پرتوهای آنتن
 - تجهیزاتی که به‌عنوان گره‌های^۵ دسترسی موقت کار می‌کنند
 - ارتباطات دستگاه به دستگاه^۶ (D2D) برای هرودی شبکه دسترسی و بک‌هال
 - ۲- سطح کنترل سیستم ناب^۷ (LSCP): این فعال‌ساز، سیگنالینگ کنترلی جدیدی را برای ضمانت تأخیر و قابلیت اطمینان فراهم می‌سازد و انعطاف‌پذیری طیفی را پشتیبانی می‌کند. جداسازی سطح دسترسی و کنترلی را ممکن می‌سازد؛ از تعداد زیاد تجهیزات پشتیبانی می‌کند و از عملکرد انرژی اطمینان ایجاد می‌کند.
 - ۳- جریان ترافیک محتوای محلی شده: این فعال‌ساز، عملیات بارگیری^۸، تجمیع و توزیع محتوای حافظه نهان^۹ زمان واقعی را میسر می‌سازد. محلی سازی، تأخیر و بار بک‌هال را کاهش داده و تجمیع اطلاعات مانند اطلاعات حسگرها را ایجاد می‌کند.
 - ۴- جعبه‌ابزار طیفی: این فعال‌ساز به سرویس‌ها این امکان را می‌دهد که در قالب مقررات متفاوت، سناریوهای اشتراک/کاربرد طیفی و باندهای فرکانسی را فراهم سازد.
- LTE تکامل‌یافته، نقش بسیار مهمی را در شبکه نسل پنجم ایفا می‌کند تا پوشش منطقه وسیع را ایجاد کند و بنابراین می‌تواند به‌عنوان سرویس جامع اضافه‌شده شبکه نسل پنجم در نظر گرفته شود.
- یک تعریف عملکردی برای شبکه نسل پنجم به این شرح است: شبکه مشترکی که بتواند همه سرویس‌های جامع شبکه نسل پنجم را ارائه دهد و انعطاف لازم برای تغییر ترکیب سرویس‌ها به‌طور پویا داشته باشد. اپراتور باید بتواند سرویس ارائه‌شده را بسته به تغییر نیاز مشتریان تغییر دهد و طراحی طیفی نباید برای نوع خاصی

¹ Dynamic Radio Access Network

² Ultra-Dense

³ Moving network

⁴ nomadic

⁵ node

⁶ Device-to-Device

⁷ Lean System Control Plane

⁸ offload

⁹ cache

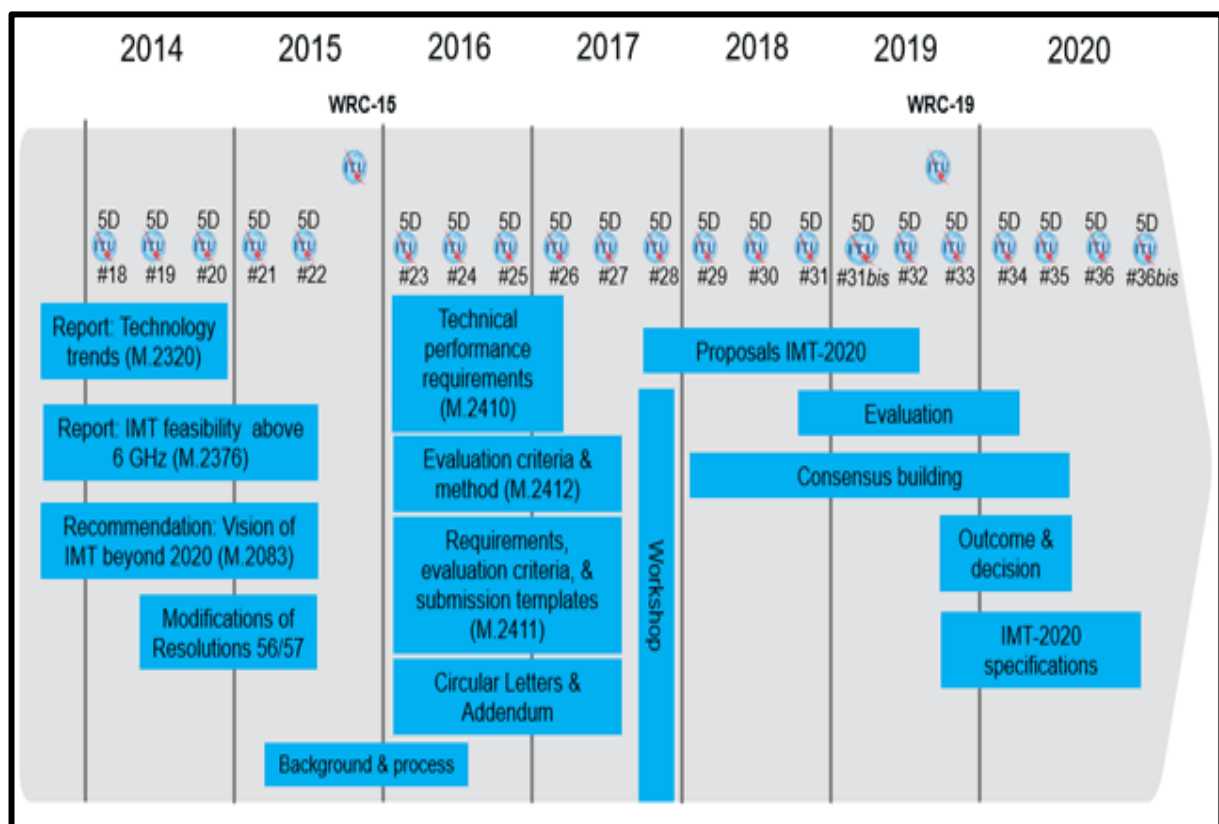
از سرویس طرح‌ریزی شود. در شبکه نسل پنجم به معماری احتیاج است که انعطاف لازم را برای پوشش دادن ویژگی‌های مختلف مانند پوشش‌دهی، ظرفیت، تأخیر داشته باشد. در ادامه این فصل، فعالیت‌های استانداردسازی مرتبط با شبکه نسل پنجم مرور می‌شود. همچنین سه دسته سرویس جامع در شبکه نسل پنجم معرفی خواهد شد.

۲-۱- استانداردسازی شبکه نسل پنجم

در این بخش به اختصار فعالیت‌های استانداردسازی نهادهای مرتبط با شبکه نسل پنجم شرح داده می‌شود.

۱-۲-۱- اتحادیه جهانی مخابرات (ITU) و فعالیت‌های مرتبط آن در حوزه 5G

در سال ۲۰۱۲ میلادی، در بخش ارتباطات رادیویی موسسه ITU، گروه کاری بانام 5D فعالیت خود را برای توسعه IMT2020 آغاز کرد که هدف آن، تعیین نیازمندی واسط هوایی در شبکه موبایل نسل پنجم بود. این گروه، برنامه‌ریزی کاری، زمان‌بندی، فرایندها و اسناد قابل تحویل برای IMT2020 را تعیین کرد؛ مشخصات IMT2020 باید تا اواسط سال ۲۰۲۰ میلادی تکمیل شود [۴]. از سال ۲۰۱۵ تاکنون، چندین گزارش توسط این گروه کاری تکمیل و منتشر شده است که در شکل ۳-۱ به آن اشاره شده است [۵].



شکل ۳-۱ گزارش‌های منسوب به IMT2020 در ITU-R [۵]

سه گزارش با عناوین ذیل، اولین گزارش‌هایی بودند که توسط این گروه کاری تا اواسط سال ۲۰۱۵ تکمیل شدند.

- گرایش‌های آتی فناوری در توسعه سیستم‌های IMT¹
 - امکان‌پذیری IMT برای استفاده از باند بالای ۶ گیگاهرتز
 - چشم‌انداز توصیه‌شده برای IMT-2020
- سه گزارش بعدی به موضوعات زیر اشاره دارد:
- نیازمندی عملکردی فنی
 - روش‌ها و معیارهای ارزیابی
 - نیازمندی‌ها و معیارهای ارزیابی و الگوهای ارائه
- پیشنهاد‌های IMT-2020 ارائه‌شده است و پیش‌بینی می‌شود تا اواسط ۲۰۲۰، مشخصات آن استخراج شود. همچنین در اسناد ITU-R، حداقل نیازمندی‌های عملکردی فنی برای سیستم‌های IMT-2020 که در نوامبر ۲۰۱۷ به تأیید رسیده است در ادامه ارائه شده است [۶]:
- حداکثر نرخ داده ۲۰ گیگا بیت بر ثانیه برای لینک فروسو و ۱۰ گیگابیت بر ثانیه برای لینک فراسو
 - حداکثر بازدهی طیفی ۳۰ بیت بر ثانیه بر هرتز برای لینک فروسو و ۱۵ بیت برپایه بر هرتز برای لینک فراسو
 - نرخ داده تجربه‌شده توسط کاربر ۱۰۰ مگابیت بر ثانیه در لینک فروسو و ۵۰ مگابیت بر ثانیه در لینک فراسو
 - حداقل تراکم اتصال یک میلیون تجهیز در هر کیلومتر مربع
 - نیازمندی حداقلی برای تأخیر سطح کاربری ۴ میلی‌ثانیه برای سرویس موبایل پهن باند (eMBB²) و ۱ میلی‌ثانیه برای سرویس تأخیر پایین با قابلیت اطمینان بسیار بالا (URLLC³)
 - نیازمندی حداقلی برای تأخیر سطح کنترلی ۲۰ میلی‌ثانیه
 - نیازمندی پهنای باند حداقل ۱۰۰ مگاهرتز برای تجمیع شدن کاربرها و نیازمندی پهنای باند ۱ گیگا هرتز برای فرکانس‌های کاری بالای ۶ گیگا هرتز
 - ارائه کیفیت سرویس برای سرعت حرکت حداکثر ۵۰۰ کیلومتر در ساعت

¹ International Mobile Telecommunications

² Enhanced mobile broadband

³ ultra Reliable Low Latency communication

3GPP در نسل‌های پیشین، ارتباطات حجیم^۱ ماشین به ماشین را در شبکه GSM و LTE آدرس‌دهی کرده است. در GSM با عنوان EC-GSM-IoT و در LTE، ارتباطات از نوع ماشین^۲ (MTC) با LTE-M و NB-IoT مشخص شده‌اند. در ادامه در نسل پنجم ارتباطات گسترده و ارتباطات مأموریت بحران در کنار ارتباطات با پهنای باند بالا، سه مورد از کاربردهای اصلی می‌باشند که در طراحی نسل پنجم از ابتدا به آن‌ها توجه شده است.

شبکه نسل پنجم در 3GPP شامل اسناد Release.15، Release.16 و Release.17 هست. فاز اول شبکه نسل پنجم در سند Release.15 نهایی شده است لکن فاز دوم شامل Release.16 و Release.17 در تاریخ نگارش این گزارش در حال تدوین می‌باشند. در ادامه هر یک از این اسناد اختصاراً بررسی شده است.

۱-۳-۲-۱- سند Release 15

فاز اول شبکه موبایل نسل پنجم در سند Release 15 استاندارد شده است و در سال ۲۰۱۷، نسخه اولیه مشخصات رادیوی جدید (NR) برای سناریوی NSA^۳ ارائه شد و در سال ۲۰۱۸ تلاش بیشتری برای تکمیل این سند انجام شد تا اولین مجموعه کامل از استانداردهای شبکه نسل پنجم ایجاد شود و قدم اصلی نهاد 3GPP برای رسیدن به الزامات IMT-2020 برداشته شود.

در مشخصات اولیه این سند، سیستم‌های رادیویی نسل پنجم در سناریوی NSA که با شبکه‌های نسل قدیمی LTE مجتمع شده بودند معرفی شدند و در ادامه گستره این سند به سیستم‌های SA^۴ که در آن سیستم رادیوی جدید و شبکه هسته جدید باهم کار می‌کنند توسعه یافت. این سند همچنین بهبود LTE و شبکه هسته تکامل یافته^۵ (EPC) آن را نیز در برمی‌گیرد. این سند، سازندگان را قادر خواهد ساخت پیشرفت سریعی در طراحی تراشه‌ها و پیاده‌سازی اولیه شبکه در سال ۲۰۱۹ داشته باشند.

فعالیت‌های سند Release 15 که همان فاز اول شبکه نسل پنجم است شامل موارد زیر هست:

- ارتباطات از نوع ماشین^۶ (MTC) و ارتباطات از نوع اینترنت اشیا (IoT)
- بهبود ارتباطات وسیله نقلیه به هر چیز (V2X)
- بهبود ارتباطات مأموریت بحران^۷ (MC)
- طیف بدون مجوز و WLAN

¹ massive

² Machine type communication

³ Non-standalone access

⁴ Standalone access

⁵ Evolved Packet Core

⁶ Machine type communication

⁷ Mission critical

- بهبود سیستم در موارد ذیل:
 - جداسازی سطح کاربری و سطح کنترلی
 - کیفیت تجربه^۱ (QoE)
 - بهبودهای مرتبط با امنیت
 - بهبودهای مرتبط با چند رسانه، TV و واقعیت مجازی^۲ (VR)
 - سیستم آنتن فعال^۳ (AAS)
 - بهبودهای مدیریتی، اجرایی و عملیاتی^۴ (OAM)
- بهبودهای LTE مشتمل بر موارد ذیل هست:
 - بهبودهای آتی برای عملیات چندنقطه هماهنگ‌شده^۵ (CoMP) در LTE- در عملیات چندنقطه هماهنگ‌شده هر کاربر برای ارسال و دریافت داده از چند ایستگاه پایه به‌طور هماهنگ استفاده می‌کند.
 - بهبودهایی برای لینک بی‌سیم ایستا با ظرفیت بالا و معرفی مدولاسیون QAM ۱۰۲۴ تایی برای لینک فروسوی LTE
 - نیازمندی‌های تجهیز موبایل برای کاهش تداخل سیگنال‌های مرجع مختص یک سلول^۶ (CRS) برپایه شبکه
 - فشرده‌سازی داده‌ی فراسو در LTE
 - جمع‌آوری اندازه‌گیری‌های بلوتوث و WLAN برای به حداقل رساندن درایو تست^۷ (MDT) در LTE
 - بهبودهای دقت موقعیت‌یابی تجهیز موبایل برای LTE
 - نیازمندی‌های تجهیز موبایل برای پورت‌های آنتن فروسوی 8Rx در LTE
 - کاهش دادن زمان پردازش و فواصل زمانی ارسال^۸ (TTI)
 - پشتیبانی LTE بهبودیافته برای وسایل نقلیه پرنده
- سایر قابلیت‌های جدید که در این سند دیده‌شده است شامل موارد زیر هست [۷].

^۱ Quality Of Experience

^۲ Virtual Reality

^۳ Active Antenna system

^۴ Operations, administration and management

^۵ Coordinated multipoint

^۶ Cell-specific Reference Signals

^۷ Minimization drive test

^۸ Transmission Time Interval

- سیستم ارتباطی موبایل برای راه‌آهن
- واسط برنامه کاربردی باند شمالی
- دسترسی به تجهیز موبایل از راه دور از طریق تجهیز موبایل رله

۲-۳-۱- سند Release 16

در ادامه اسناد استانداردسازی شبکه نسل پنجم در موسسه استاندارد 3GPP، در سپتامبر ۲۰۱۹ خلاصه آیت‌های کاری Rel.16 شکل گرفت. ماه مارس سال ۲۰۲۰ تاریخ نهایی شدن این سند هست و در ماه ژوئن سال ۲۰۲۰، این سند باید کامل شده باشد. در گزارش شماره TR21.916 باید جزییات اهداف اصلی و وضعیت هر ویژگی^۱ تکمیل شود. در حال حاضر سند اولیه در سایت 3GPP در دسترس هست.

با بلوغ تدریجی سند Release 15 و در زمانی که تکمیل این سند قریب‌الوقوع بود اولین گام سند Release 16 مورد توجه گروه کاری 3GPP قرار گرفت. سند Release 16 به عنوان فاز دوم نسل پنجم موبایل شناخته می‌شود. در پایان سال ۲۰۱۹، ۸۳ گروه کاری روی این سند مشغول تحقیق بودند و ۱۳ گروه دیگر برای سند Release 17 مشغول به کار بودند. موضوعاتی چون سرویس اولویت‌دهی مالتی مدیا، سرویس لایه کاربرد ارتباط وسیله نقلیه به هر چیز^۲ (V2X)، دسترسی ماهواره نسل پنجم، LAN پشتیبانی شده در شبکه نسل پنجم، همگرایی ارتباطات بی‌سیم و سیمی در شبکه نسل پنجم، مکان و موقعیت‌یابی پایانه، ارتباطات در حوزه صنایع عمودی و اتوماسیون شبکه و فن‌های رادیویی جدید همگی در این سند پوشش داده شده‌اند. مطالعات آتی روی پیشرفت موضوعاتی چون امنیت، سرویس‌های جریان‌بندی^۳ و کدکننده‌ها^۴، برش شبکه، اینترنت اشیا و فعل‌وانفعالات LAN آغاز شده است.

فعالیت‌های دیگری روی توسعه کاربردپذیری فناوری 3GPP برای سیستم‌های دسترسی رادیویی غیرزمینی^۵ از ایستگاه‌های پایه هواپرد و ماهواره گرفته تا کاربردهای ناوگان دریایی مشتمل بر ارتباطات کشتی به کشتی و ارتباطات کشتی به ساحل تمرکز دارد. بهبود دادن عملکرد رادیویی موبایل حرفه‌ای (PMR) برای LTE و بهبود سرویس‌های با محوریت راه‌آهن که در شبکه نسل دوم (که در حال منسوخ شدن هست) تعریف شده است نیز از جمله این فعالیت‌ها هست.

¹ state of each feature

² Vehicle to everything

³ streaming

⁴ Codec

⁵ non-terrestrial

سرویس‌های مأموریت بحران به‌عنوان بخشی از سند Release 16 باهدف پوشش دادن به نیازهای بخش صنعتی و تأمین بیشتر قابلیت اطمینان توسعه داده خواهند شد. در سندهای پیش‌ازاین در 3GPP، سرویس‌های مأموریت بحران فقط برای کاربردهای ایمنی عمومی مثل اورژانس هدف‌گذاری شده بودند.

۳-۲-۱- سند Release 17

در ادامه استانداردسازی فاز دوم شبکه نسل پنجم، در سند Release 17، بهبود سیستم دنبال خواهد شد که باید تا سپتامبر سال ۲۰۲۱ نهایی شود. این سند، موضوعات زیر را در برمی‌گیرد:

- دسته جدید تجهیزات اینترنت اشیا NR Light
- بهینه‌سازی کوچک انتقال داده
- بهبود لینک جانبی^۱
- رادیوی جدید در باند فرکانسی بالای 52.6GHz (مشمول بر باند فرکانس بدون مجوز 60GHz)
- عملیات چند سیم‌کارتی
- انتشار همگانی یا انتشار چندتایی در رادیوی جدید
- بهبود پوشش رادیویی
- بهبود ارتباطات NB-IoT و ارتباطات eMTC
- بهبود ارتباطات URLLC و اینترنت اشیا صنعتی^۲ (IIoT)
- افزایش درایه‌ها در MIMO
- رادیوی جدید برای شبکه‌های غیرزمینی
- بهبود بک‌هال و دسترسی یکپارچه
- توسعه رادیوی جدید در باند آزاد^۳ (NR-U)
- بهبود ذخیره توان
- بهبود مجموعه داده در شبکه دسترسی رادیویی
- بهبود موقعیت‌یابی

¹ sidelink

² Industrial Internet of Thing

³ New Radio-Unlicensed

۱-۳-۱- دسته‌بندی کلی سرویس‌های شبکه نسل پنجم

۱-۳-۱-۱- سرویس جامع موبایل پهن باند توسعه‌یافته در شبکه نسل پنجم

این سرویس جامع، هر دو ویژگی پوشش خیلی بالا و نرخ بیت بالا در کنار تأخیر پایین را پشتیبانی می‌کند. سرویس موبایل پهن باند توسعه‌یافته (eMBB¹)، تجربه یکسان را در منطقه تحت پوشش ایجاد می‌کند بدون اینکه در نزدیکی‌های مرز سلول افت کیفیت لینک ارتباطی اتفاق بیفتد و افت شدید^۲ عملکرد با افزایش تعداد کاربران اتفاق می‌افتد. این سرویس ارتباطات باقابلیت اطمینان بالا را ایجاد می‌کند [۴].

بنابراین سرویس eMBB یا همان موبایل پهن باند توسعه‌یافته، به‌عنوان توسعه‌ای بر سرویس‌های باند پهن شبکه‌های نسل چهارم، اولین سرویس تجاری پهن باند شبکه نسل پنجم هست که در فاز اول به بهره‌برداری خواهد رسید و در آن رسیدن به نرخ داده‌ی بالا در کنار تأخیر پایین و ظرفیت بالاتر از نسل‌های قبلی و قابلیت اتصال بهتر در کنار قابلیت تحرک بالاتر هدف بوده است.

۱-۳-۱-۲- سرویس جامع ارتباطات از نوع ماشین در شبکه نسل پنجم

سرویس ارتباطات از نوع ماشین یا mMTC³، اتصال بی‌سیم میلیون‌ها تجهیز فعال در شبکه را پشتیبانی می‌کند؛ در این سرویس جامع، معیارهای مقیاس‌پذیر بودن برای افزایش تعداد تجهیزات، ارسال محموله‌های^۴ کوتاه، پوشش‌دهی منطقه وسیع و نفوذ عمیق^۵ بر معیار نرخ بیت ارجحیت دارد [۴].

در مورد پیشینه این نوع سرویس در نسل چهارم موبایل، لازم به ذکر است که هنگامی که در ابتدا استاندارد موبایل نسل چهارم (LTE) طراحی شده بود، نیاز اصلی این بود که این فناوری باید نرخ گذردهی داده‌ی بالایی را از/به تجهیزات موبایل فراهم نماید که به‌مراتب بیشتر از فناوری UMTS باشد. درحالی که این امر به‌طور قابل توجهی تحقق یافته اما معماری شبکه منجر شده است تا این فناوری برای تجهیزات اینترنت اشیاء نوظهور از قبیل تجهیزات پوشیدنی، حس گرهای صنعتی، لوازم خانگی و غیره مناسب نباشد. چنین دستگاه‌هایی دارای ابعاد بسیار کوچک هستند، میزان کمی از داده را ارسال می‌نمایند و تنها با یک باتری کوچک تجهیز شده‌اند که باید انرژی آن‌ها را برای هفته‌ها، ماه‌ها یا حتی سال‌ها تأمین نماید. بعلاوه، این دستگاه‌ها اغلب در مکان‌هایی قرار می‌گیرند که شبکه‌های امروزی ناحیه‌ی پوشش خوبی در آنجا ندارند مانند زیرزمین و محیط‌های صنعتی.

¹ Enhanced mobile broadband

² graceful degradation

³ massive machine type communication

⁴ payload

⁵ deep penetration

نهاد 3GPP قبلاً در نسل چهارم موبایل، قابلیت‌هایی برای LTE مشخص نموده است تا بتواند به‌عنوان یک واسطه هوایی جدید برای اتصال تجهیزات اینترنت اشیا با اهداف زیر تبدیل شود:

- رادیوهای کم‌هزینه در تجهیزاتی که هزینه‌های کمتر از ۵ دلار دارند.
- هزاران دستگاه در هر سلول که تنها چند بایت در روز ارسال می‌کنند.
- مصرف انرژی فوق‌العاده کم، عمر باتری تا ۱۰ سال برای تجهیزاتی که تنها چند بایت در روز ارسال می‌کنند.

- پشتیبانی کارآمد برای دستگاه‌های با نرخ‌های داده‌ی پایین (چند صد کیلوبیت بر ثانیه)، کم‌هزینه و حساسیت رادیویی زیاد (پوشش محیط داخلی^۱ عمیق)

در عمل، یک فناوری برای تمام موارد استفاده مناسب نیست. برخی از کاربردهای اینترنت اشیا ممکن است قصد داشته باشند تا به‌طور مرتب با نرخ بیت در حدود چند صد کیلوبیت بر ثانیه، داده ارسال نمایند، درحالی‌که در عوض یک امکان بر روی بازدهی توان و پوشش محیط داخلی می‌تواند ایجاد شود. از سوی دیگر، دستگاه‌های دیگر اینترنت اشیا ممکن است قصد داشته باشند تا به‌طور روزانه تنها در حد چند بایت تبادل داده داشته باشند، اما باید از فاصله قابل‌توجهی از یک ایستگاه پایه این کار را انجام دهند و یا ممکن است در زیرزمین نصب شوند که در آنجا کانال‌های 10 MHz یا 20 MHz که امروزه LTE به‌سادگی به کار می‌گیرد در آنجا میسر نباشد. برای پاسخگویی به این الزامات مختلف، چندین پیشرفت مستقل مشخص شده است و نیز گروه‌های جدیدی برای تجهیزات مشخص شده است تا به این موارد استفاده‌ی مختلف، در یک روش مناسب پاسخ دهند. در شبکه‌های نسل چهارم، فناوری‌های Cat NB1 در گروه NB-IoT و فناوری Cat-M1 در دسته LTE-M برای این نوع ارتباطات در نظر گرفته است. در ادامه مسیر شبکه‌های نسل چهارم برای ارتباطات ماشین به ماشین، فناوری‌های نوین دیگری در شبکه نسل پنجم در حال ظهور هست.

- معرفی فناوری Cat NB-2 در NB-IOT

- معرفی فناوری Cat-M2 در LTE-M

۱-۳-۳- سرویس جامع ارتباطات تأخیر پایین با قابلیت اطمینان بسیار بالا در شبکه نسل پنجم

سرویس جامع ارتباطات تأخیر پایین با قابلیت اطمینان بسیار بالا یا ^۲uRLLC، لینک ارتباطی با قابلیت اطمینان بسیار بالا و تأخیر پایین را پشتیبانی می‌کند و برای سرویس‌های شبکه که نیاز شدیدی به در دسترس بودن

^۱ indoor

^۲ ultra Reliable Low Latency communication

و تأخیر پایین با قابلیت اطمینان بالا دارند مناسب است. در این سرویس، معیارهای قابلیت اطمینان و تأخیر پایین به معیار نرخ داده، اولویت داده می‌شود [۴].

در مورد پیشینه این سرویس جامع در نسل چهارم موبایل لازم به ذکر است که سرویس مأموریت-بحران در LTE باهدف مشابه با uRLLC ایجاد شده است؛

در بسیاری از کشورها، سازمان‌های ایمنی از قبیل پلیس، ادارات آتش‌نشانی و اورژانس برای ارتباطات خود رادیو ترانک زمینی را به خدمت می‌گیرند. فناوری رادیو ترانک، یک فناوری سوئیچ کردن مداری هست که در دهه ۱۹۹۰ طراحی شده بود و از این‌رو دارای شباهت بسیاری با GSM هست. سرویس اصلی شبکه‌های ترانک ارتباطات Push-to-Talk بین دو طرف و ارتباطات Push-to-Talk گروهی می‌باشند. به دلیل عمر این فناوری و استفاده‌ی خاص آن، تجهیزات مربوطه گران‌قیمت هستند و همچنین نگهداری شبکه‌ها، خرید المان‌های شبکه و نیز دستگاه‌های موبایل، باگذشت زمان دشوارتر خواهد شد. دلیل دیگر برای انجمن‌های ترانک همچون TETRA برای در نظر گرفتن یک سیستم جایگزین این است که نرخ داده‌ی سیستم به چند ده کیلوبیت بر ثانیه محدود شده است بنابراین به جای طراحی یک شبکه رادیویی و یک شبکه هسته جدید برای این هدف، تصمیم گرفته شد تا نسل بعدی سیستم‌های PMR^۱ برای سازمان‌های ایمنی مبتنی بر LTE و IMS باشند. از این‌رو، در 3GPP Release 12 و نیز Release 13 بلوک‌های سازنده‌ی اصلی زیر مشخص شده‌اند [۸]:

- ویژگی‌های ارتباطات گروهی PTT^۲ که به‌عنوان MCPTT^۳ شناخته می‌شوند.
- روش‌هایی برای اولویت دادن نشست‌های^۴ ارتباطی نسبت به دیگران و نیز نسبت به ترافیک داده‌های کم‌اهمیت.
- ارتباطات دستگاه-به-دستگاه و رله نمودن ارتباطات از یک دستگاه به دیگری و از آنجا به شبکه.
- ارتباطات محلی هنگامی که لینک بک‌هال از یک ایستگاه پایه LTE در حالت offline هست درحالی که ایستگاه پایه رادیویی هنوز کار می‌کند.

علاوه بر این، در LTE، تفکیک شبکه رادیویی از سرویس‌ها تحقق پذیر شده است از این‌رو، LTE به گونه‌ای طراحی شده است که به صورت یک تقسیم‌بندی واضح از یک شبکه (که بسته‌های IP را انتقال می‌دهد) و همچنین از سرویس‌هایی که داده‌ها را در شبکه ارسال می‌کنند، باشد. این امر اجازه می‌دهد تا فناوری LTE نه تنها برای مشتریان تجاری، بلکه همچنین برای سرویس‌های PMR به کار گرفته شود. همچنین در LTE، سرویس‌ها برای مشتریان تجاری و کاربران PMR تفکیک شده است که این امر نیز بر جاذبه‌های استفاده از LTE برای کاربردهای مأموریت بحران می‌افزاید. در ادامه تسهیلاتی که در LTE برای سرویس‌های مأموریت

¹ Professional Mobile Radio

² Push-to-Talk

³ Mission Critical Push to Talk

⁴ session

بحران لحاظ شده است، شبکه نسل پنجم نیز یکی از ابعاد اصلی توسعه خود را بر توسعه این سرویس‌ها بنانهاده است. در ادامه به برخی از این سرویس‌ها در حوزه مأموریت بحران اشاره خواهد شد:

- معرفی سرویس داده مأموریت بحران
- معرفی سرویس چندرسانه‌ای مأموریت بحران
- معرفی سرویس صوت مأموریت بحران
- معرفی NR-V2X در R16

۴-۱- پیشگامان جهانی

فعالیت‌های تحقیقاتی، اجتماع‌ها، نشست‌های تخصصی و پروژه‌های زیادی در جهان بر روی موضوع شبکه نسل پنجم انجام شده و یا در حال انجام هست. اروپا پیشگام حرکت به سمت شبکه نسل پنجم در سال ۲۰۱۱ بوده است و کمی بعدازآن، چین، کره و ژاپن فعالیت خود را آغاز کرده‌اند. فهرستی از این فعالیت‌ها به این شرح است:

- اروپا: پروژه METIS و 5G-PPP که هر دو جزو پروژه‌های Cordis می‌باشند.
- چین: گروه پیشرفت شبکه نسل پنجم
- کره: فروم شبکه نسل پنجم
- ژاپن: پروژه تحقیقاتی ARIB2020 و Beyond AD Hoc
- سایر فعالیت‌هایی که در مقیاس با فعالیت‌های مذکور، مقیاس کوچک‌تری دارند. سازمان‌هایی که این فعالیت‌ها را انجام دادند 4G Americas، مرکز نوآوری شبکه نسل پنجم در دانشگاه Surrey، گروه تحقیقاتی بی‌سیم دانشگاه نیویورک.
- در فعالیت‌های اینترنت اشیا که مرتبط با شبکه نسل پنجم می‌باشند پیشگامان اصلی، کنسرسیوم اینترنت صنعتی (IIC) و Industrie 4.0 هستند.

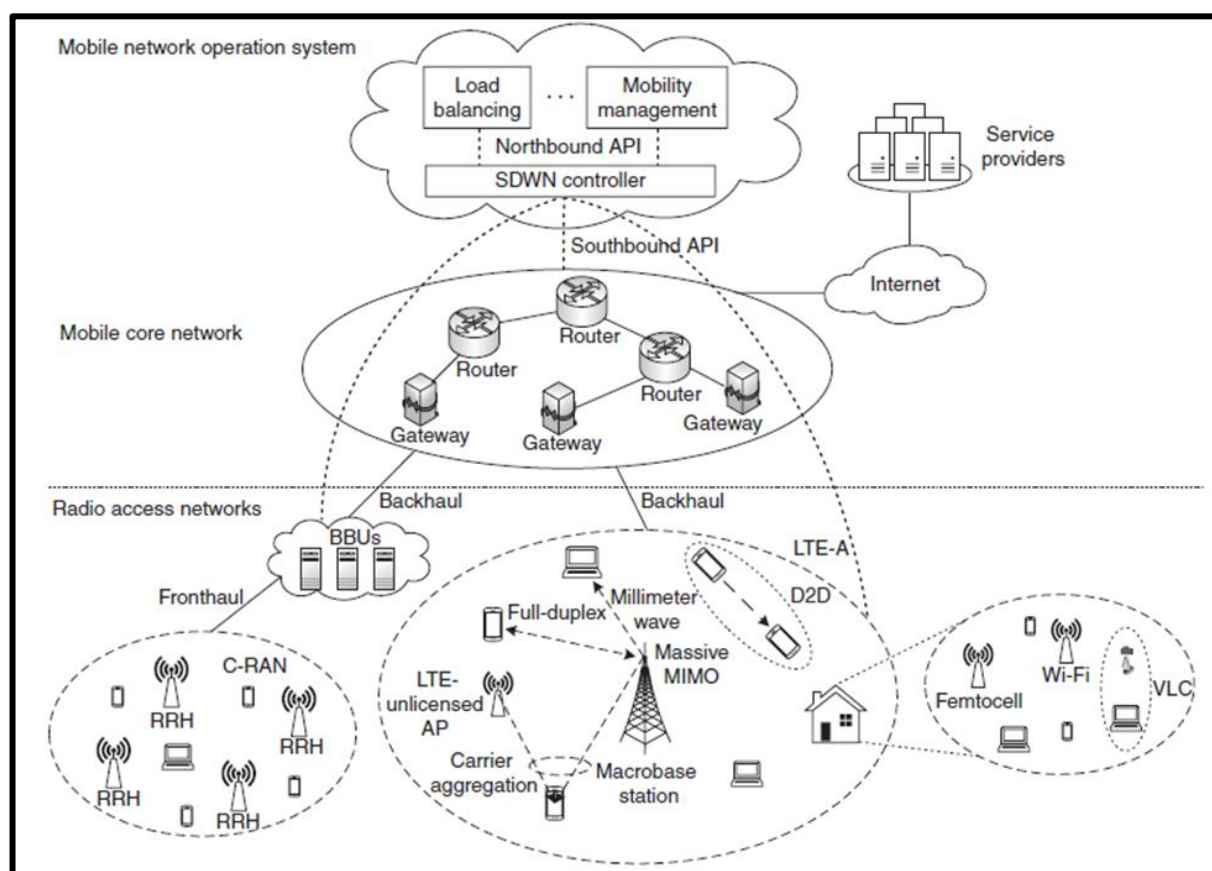
۵-۱- مراجع

- [1] <https://www.nokia.com/networks/services/5g-services/>.
- [2] "5G Services & Use Cases", 5G Americas, Nov. 2017.
- [3] Detti, Andrea. "Functional architecture", 5GITaly Whitepaper, 2019
- [4] Osseiran A, Monserrat JF, Marsch P, "5G mobile and wireless communications technology", Cambridge University Press; 2016 Jun 2.
- [5] <https://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg5/rwp5d/imt-2020/Pages/default.aspx>
- [6] <https://www.itu.int/pub/R-REP-M.2410-2017>
- [7] <https://www.3gpp.org/release-15>
- [۸] گزارش نهایی پروژه "آینده پژوهی مخابرات سلولی 3G/4G در کاربردهای صنعت برق"، گروه فناوری اطلاعات و ارتباطات، پژوهشگاه نیرو، ۱۳۹۸

فصل ۲ – معماری شبکه نسل پنجم

۲-۱- معماری کلی و سرویس‌ها

شبکه موبایل نسل پنجم از شبکه دسترسی^۱ (AN) و شبکه هسته^۲ (5GC) تشکیل شده است که در شکل ۲-۱ ارائه شده است. شبکه دسترسی از شبکه دسترسی رادیویی نسل جدید^۳ (NG-RAN) تشکیل شده است که از واسط رادیویی جدید^۴ (NR) استفاده می‌کند و یا اینکه شبکه دسترسی غیر 3GPP مانند وای فای، xDSL و ... به هسته شبکه نسل پنجم متصل می‌شوند. واحدهای مختلف شبکه به شبکه انتقال TCP/IP متصل می‌شوند که از کیفیت سرویس‌های متنوعی پشتیبانی می‌کنند.



شکل ۲-۱ معماری کلی شبکه نسل پنجم [۱]

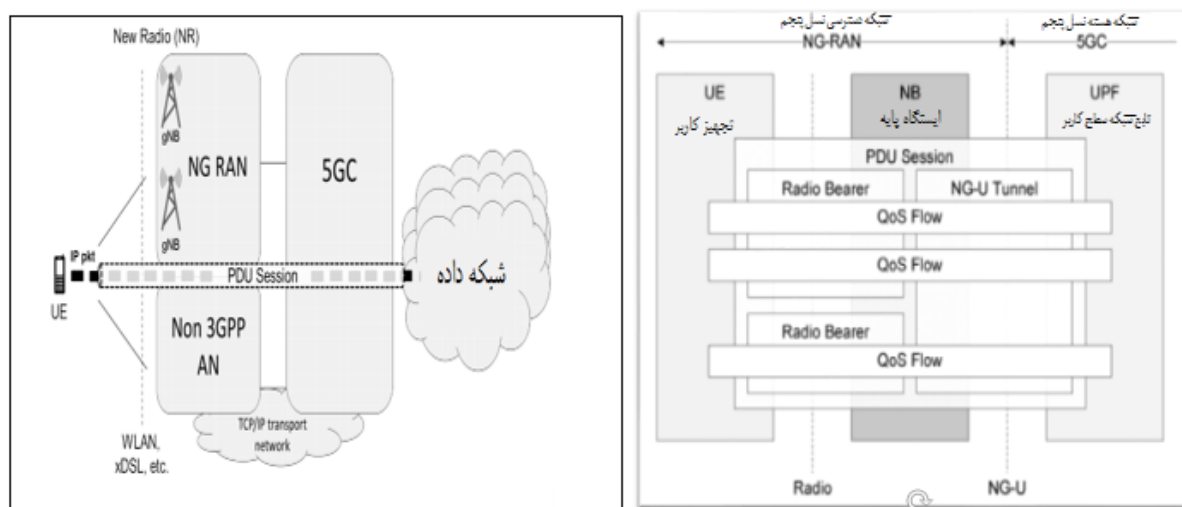
¹ Access Network

² 5G Core

³ Next-Generation Radio Access Network

⁴ New Radio

همانند نسل‌های پیشین، شبکه نسل پنجم، تجهیز کاربر^۱ (UE) را به شبکه داده بیرونی متصل می‌کند. سرویس اتصال‌دهی شبکه نسل پنجم، نشست PDU^۲ نام‌گذاری شده است. از نگاه لایه انتقال، نشست PDU از مجموعه‌ای از تونل‌های NG در هسته شبکه نسل پنجم و از یک یا چند حامل رادیویی^۳ در شبکه دسترسی تشکیل شده است. این مجموعه لوله‌ها^۴ تجهیز کاربر را برای عملکرد کنترلی به هسته متصل و برای تبادل ترافیک کاربر به شبکه داده بیرونی متصل می‌کند (شکل ۲-۲). وظیفه مهم شبکه موبایل، برپاسازی و یا رهاسازی تونل‌ها و حامل‌ها به صورت فعال هست به طوری که حرکت و جابجایی کاربر و همچنین تغییر وضعیت از حالت بیکار^۵ به حالت متصل و بالعکس پشتیبانی شود.



شکل ۲-۲ نشست PDU و flowهای کیفیت سرویس در سطح کاربری [۱]

یک نشست PDU، در شبکه نسل پنجم (البته به استثنای مدل کیفیت سرویس و واحدهای داده کاربر پشتیبانی شده)، بسیار مشابه حامل EPS^۶ در LTE (نسل چهارم 3GPP) هست. همچنین نشست PDU می‌تواند علاوه بر انتقال بسته^۷ بر پایه IP، فریم‌های اترنت یا فریم‌های بدون ساختار که در لایه دو توسط گروهی از پایانه‌ها مجاز باشد را نیز انتقال دهد. مدل کیفیت سرویس شبکه نسل پنجم بر پایه مفهوم جدیدی از QoS flow هست. یک flow، کوچک‌ترین واحد برای تمایز کیفیت سرویس‌های متفاوت هست. یک نشست PDU می‌تواند مشتمل بر چند flow با کیفیت سرویس متفاوت باشد.

1 user equipment

2 Packet Data Unit session

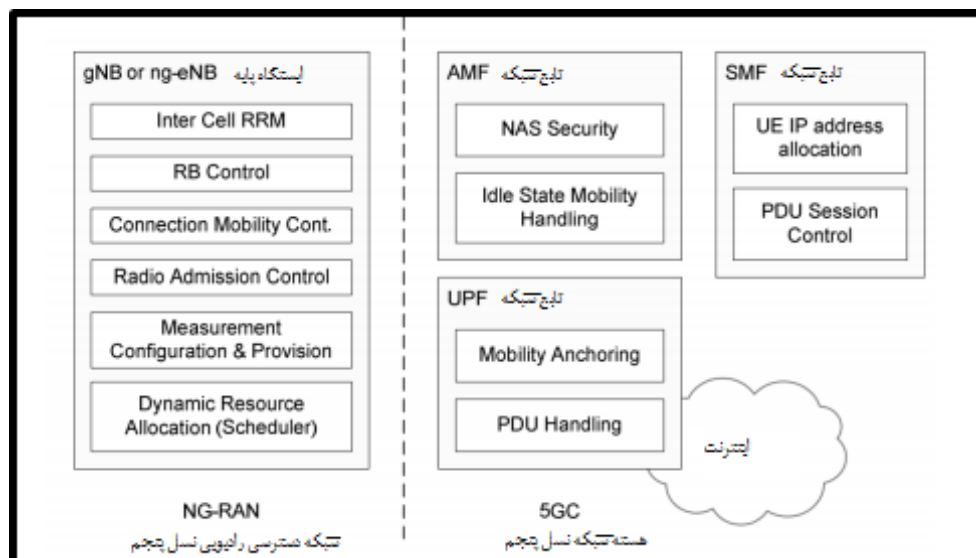
3 Radio bearer

4 pipe

5 Idle mode

6 EPS bearer

7 packet



شکل ۲-۳ جداسازی عملکردی بین شبکه دسترسی رادیویی NG-RAN و شبکه هسته 5GC

شکل ۲-۳، جداسازی بین توابع شبکه نسل پنجم که در شبکه دسترسی و شبکه هسته اجرا می‌شوند را نشان می‌دهد. شبکه دسترسی مراقب استقرار، حفظ و نگهداری و آزادسازی بخش‌هایی از PDU هست که از واسط رادیویی عبور می‌کند. این بخش مسئول تأثیرات مخرب فیزیکی (مانند محوشدگی، تداخل، کاهش توان) و تحویل^۱ بین ایستگاه‌های پایه (که به gNB مشهور هست) و مالتی‌پلکس کردن نشست‌ها (جدول‌بندی) هست. توابع شبکه هسته 5GC نیز باقی بخش‌های PDU را مدیریت می‌کنند و مراقب تمامی پروسه‌هایی که در بخش رادیو نمی‌باشند (مانند مدیریت جابجایی، امنیت، اختصاص آدرس IP و ...) هستند.

۱-۲-۱- شبکه دسترسی رادیویی نسل جدید^۲ (NG-RAN)

شبکه دسترسی رادیویی نسل جدید، مجموعه‌ای از ایستگاه‌های پایه (در شبکه نسل پنجم به gNB مشهور هست) را در برمی‌گیرد. این ایستگاه‌های پایه از طریق واسط‌های منطقی به شبکه هسته 5GC متصل هست. این ایستگاه‌های پایه همانند LTE، می‌توانند از طریق واسط Xn به هم متصل باشند تا تحویل‌دهی و توابع مدیریتی (مانند هماهنگی واسط‌های بین سلولی) را بهبود دهند.

عملکرد gNB‌ها در برخی موارد به صورت توزیع یافته هست؛ در چنین مواردی، معماری دیگری ایجاد می‌شود که در آن، یک واحد کنترلی^۳ (gNB-CU)، یک یا چند واحد توزیع شده^۴ (gNB-DU) را از طریق واسط F1 کنترل می‌کند. یک واحد توزیع شده به یک فرستنده/گیرنده رادیویی^۵ RRH متصل می‌شود. واحد مرکزی به

¹ handover

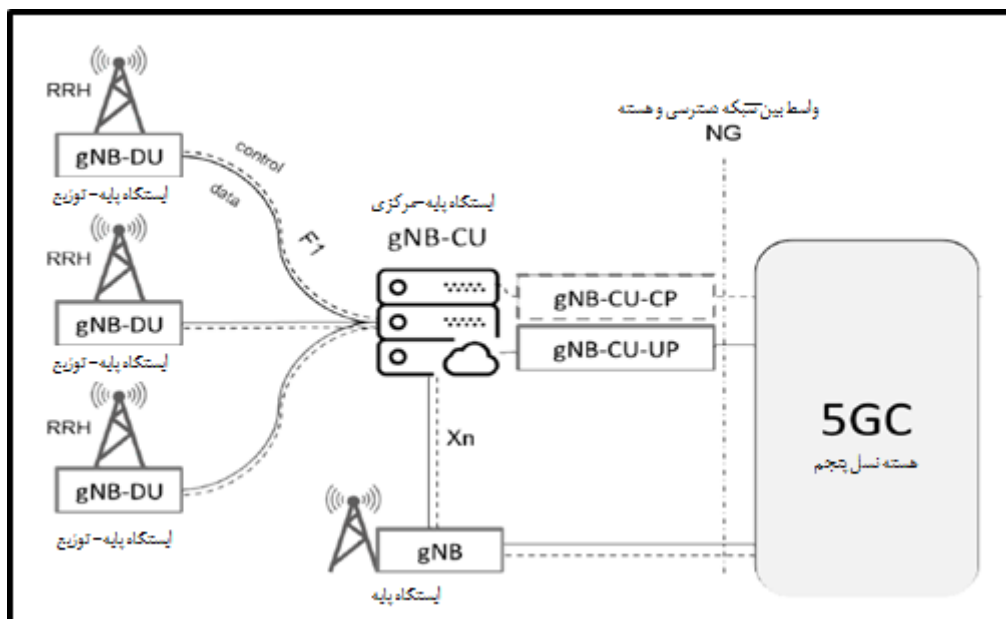
² New generation – radio access network

³ gNB-control unit

⁴ gNB-distributed unit

⁵ Remote radio head

دو قسمت تقسیم می‌شود؛ یک قسمت برای توابع سطح کنترلی^۱ (gNB-CU-CP) و دیگری برای توابع سطح کاربری^۲ (gNB-CU-UP). در نسل‌های قبلی موبایل، جداسازی سطح کاربری و سطح کنترلی (CUPS/SDN)، در اسناد LTE معرفی شده بود. (معماری شبکه نسل چهارم از واحدهایی چون eNB^۳، S-GW^۴، P-GW^۵ یا MME^۶ تشکیل شده است و هر واحد از سخت‌افزار و نرم‌افزار در یک تجهیز واحد با مالکیت اختصاصی تشکیل شده است).



شکل ۴-۲ نمای کلی از معماری شبکه دسترسی رادیویی نسل پنجم

در شکل ۵-۲، پشته پروتکلی واسط رادیویی و محل آن در واحدهای gNB نشان داده شده است. پشته پروتکلی کاملاً مشابه LTE هست به‌استثنای اینکه در سطح کاربری این پشته پروتکلی، پروتکل تطابق داده سرویس (SDAP^۷) وجود دارد عملکرد اصلی لایه‌های متفاوت در ادامه ارائه شده است:

- لایه فیزیکی (PHY)، شامل توابع پردازش سیگنال آنالوگ یا دیجیتال می‌شود که تجهیز موبایل یا ایستگاه پایه برای دریافت و ارسال اطلاعات استفاده می‌کند. این ارسال و دریافت بر پایه مدولاسیون OFDMA با فواصل فرکانس حامل تطبیق‌پذیر (۱۵، ۳۰، ۶۰، ۱۲۰، ۲۴۰ کیلوهرتز) و کدکننده/مدولاسیون تطبیقی (مثل pi/2 BPSK تا 256 QAM) هست.

¹ Control plane

² User plane

³ Evolved Node B

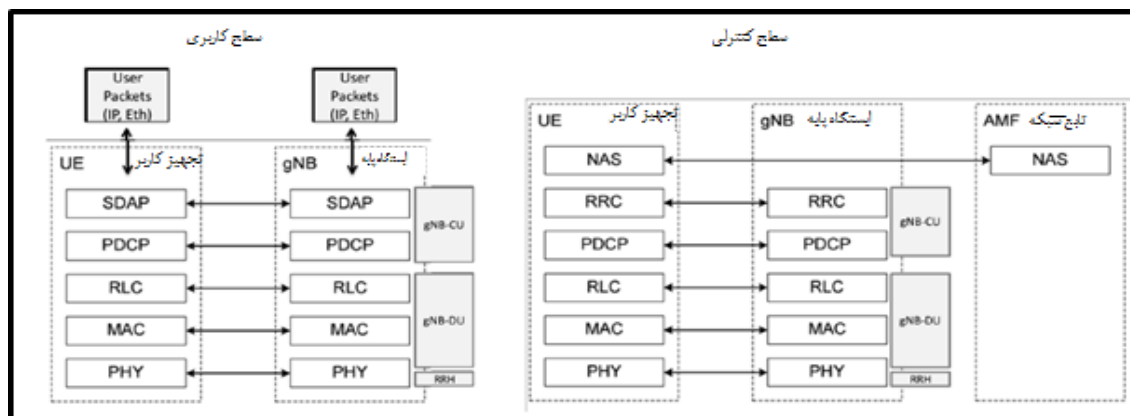
⁴ Serving Gateway

⁵ Packet Data Network Gateway

⁶ Mobility Management Entity

⁷ service data adaptation protocol

- پروتکل کنترل دسترسی میانی (MAC)، کنترل سطح پایین لایه فیزیکی را عمدتاً از طریق جدول‌بندی داده‌ی ارسالی بین تجهیز موبایل و gNB انجام می‌دهد.
- پروتکل کنترل لینک رادیویی (RLC)، از تحویل مطمئن جریان داده از طریق پروتکل قاضای ارسال خودکار هیبریدی¹ (HARQ) اطمینان حاصل می‌کند. این لایه، بخش‌بندی² را نیز بر عهده دارد.
- پروتکل همگرایی داده بسته (PDCP)، تابع انتقال لایه بالاتر را به عهده دارد که با فشرده‌سازی هدر و امنیت مرتبط هست.
- پروتکل تطابق داده سرویس (SDAP)، برهم‌کنش بین بسته QoS Flow و bearer رادیویی داده که برآمده از قالب کاری جدید QoS هست از طریق نشانه‌گذاری بسته داده کاربر نگاشت می‌کند.
- کنترل منابع رادیویی (RRC)، پروتکل سیگنالینگ هست که در access Stratum مابین تجهیز کاربر و gNB استفاده می‌شود و شامل توابع استقرار یا آزادسازی ارتباط، broadcast اطلاعات سیستم، استقرار bearer رادیو، پیکره‌بندی دوباره و رهاسازی، پروسه‌های جابجایی اتصال RRC، صدا کردن³، کنترل توان هست.
- پروتکل لایه غیر دسترسی⁴ (NAS)، پروتکل سیگنالینگ است که بین تجهیز موبایل و شبکه هسته 5GC استفاده می‌شود و مدیریت نشست PDU، مدیریت تحرک پذیری و امنیت و ... را انجام می‌دهد. در شبکه هسته 5GC، تابع مدیریت جابجایی و دسترسی (AMF) مشابه واحد MME در نسل چهارم (LTE) هست.



شکل ۵-۲ پشته پروتکلی NG-RAN [۱]

1 Hybrid automatic repeat request

2 segmentation

3 paging

4 non-access stratum

۲-۱-۲- روش‌های نمایش

شبکه نسل پنجم برای پشتیبانی از اتصال داده‌ای و سرویس‌هایی که به صنایع ذی‌نفع سود می‌رسانند از فن‌های جدیدی مانند شبکه مبتنی بر نرم‌افزار و مجازی‌سازی توابع شبکه استفاده می‌کند. نیاز به این فن‌های جدید با توجه به خصوصیات مختلف سرویس‌های داده‌ای که در شبکه نسل پنجم تعریف می‌شوند، ضروری هست. تا به امروز شبکه‌های موبایل طوری طراحی شده‌اند که کاربر نقش اساسی را در ارتباط داشته باشد ولی در 5G این نقش تغییر یافته است و پوشش دادن نیازمندی‌های داده‌ای متنوع، حجم بسیار بیشتر ترافیک و اتصالات، ارتباطات حساس به تأخیر مورد توجه قرار گرفته است [۲].

به‌منظور سهولت فراهم‌سازی سرویس‌ها و نیازمندی‌های مختلف داده‌ای، اجزای هسته شبکه نسل پنجم (5GC) که توابع شبکه نامیده می‌شوند، پیشنهاد شده‌اند. معماری سیستمی هسته شبکه نسل پنجم از توابع شبکه‌ای زیر تشکیل می‌شود و پیاده‌سازی این توابع به معنای پیاده‌سازی هسته شبکه نسل پنجم هست. توابع شبکه در سطح کنترل هسته شبکه نسل پنجم باید از واسطه‌های بر پایه سرویس برای تعاملات خود استفاده کنند. این توابع شبکه در ادامه لیست شده است و در بخش بعدی، عملکرد آنها شرح داده شده است.

- تابع سرور احراز هویت^۱ (AUSF)

- عملکرد دسترسی و مدیریت جابجایی هسته^۲ (AMF)

- شبکه داده^۳ (DN)

- تابع ارائه عملکرد شبکه^۴ (NEF)

- تابع مخزن توابع شبکه‌ای^۵ (NRF)

- تابع کنترل سیاست‌گذاری^۶ (PCF)

- تابع مدیریت نشست^۷ (SMF)

- تابع مدیریت یکپارچه داده^۸ (UDM)

- تابع سطح کاربری^۹ (UPF)

- برنامه کاربردی^{۱۰} (AF)

¹ Authentication Server Function

² Core Access and Mobility Management Function

³ Data Network

⁴ Network Exposure Function

⁵ NF Repository Function

⁶ Policy Control Function

⁷ Session Management Function

⁸ Unified Data Management

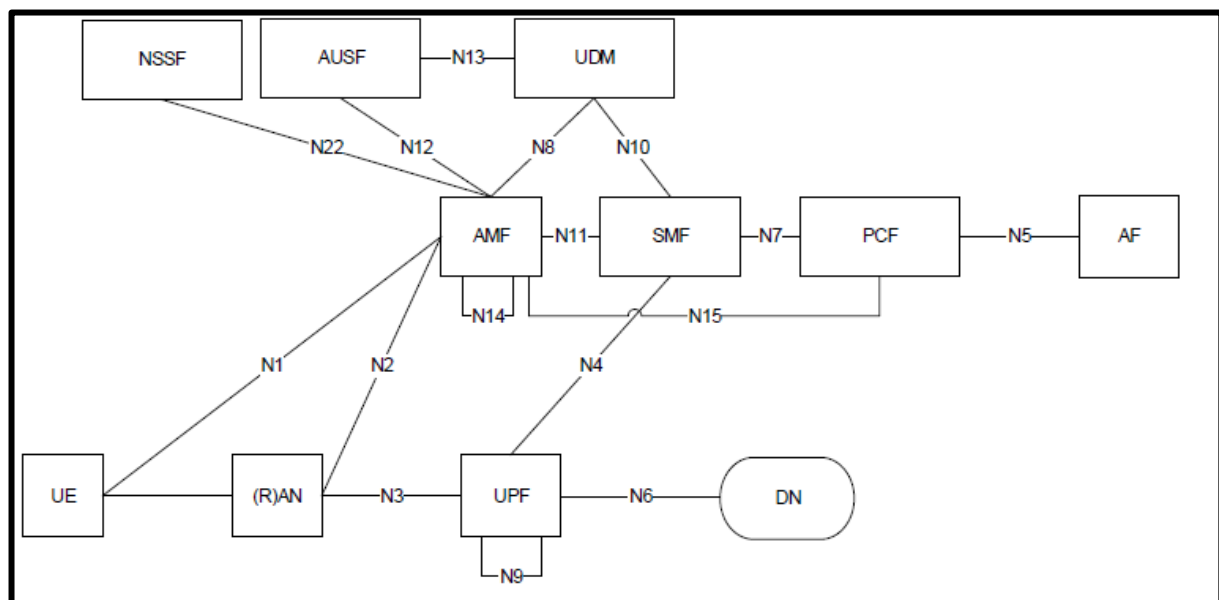
⁹ User Plane Function

¹⁰ Application Function

- تجهیزات کاربر^۱ (UE)
- شبکه دسترسی رادیویی
- تابع انتخاب برش شبکه^۲ (NSSF)

ماژولار بودن توابع شبکه‌ای می‌تواند باعث رسیدن به فناوری‌های جدید و مؤثری مانند برش شبکه شود. در نسل‌های پیشین شبکه موبایل، هر جفت از المان‌های شبکه دارای واسطه‌های استاندارد بودند و در هر واسطه از پروتکل بیت-گرای خاصی استفاده می‌شده است. لکن در شبکه نسل پنجم، برهم‌کنش بین توابع شبکه‌ای می‌تواند به دو روش انجام شود:

۱- در روش اول که نمایش نقاط ارجاع^۳ (معماری نقطه‌به‌نقطه) نام دارد همانند نسل‌های قبلی موبایل، تمرکز بر روی تعاملات بین جفت‌های توابع شبکه‌ای است که توسط نقاط مرجع نقطه‌به‌نقطه^۴ (مانند N7) بین دو تابع شبکه‌ای (مانند SMF و PCF) برقرار هست. این نوع نمایش وقتی استفاده می‌شود که بین دو تابع شبکه‌ای تعاملاتی وجود داشته باشد. این نوع نمایش در شکل ۶-۲ ارائه شده است.



شکل ۶-۲ معماری سیستمی شبکه نسل پنجم در روش نمایش نقاط مرجع - بدون رومینگ

۲- روش دوم که نمایش سرویس محور^۵ (معماری سرویس محور) نام دارد، روشی جدید برای تعریف معماری سیستم هست. در این نمایش، نقاط مرجع نقطه‌به‌نقطه همچنان وجود دارند (قسمت پایینی شکل زیر) لکن در سطح کنترلی هسته شبکه نسل پنجم (قسمت بالایی شکل)، یک باس وجود دارد و واسطه‌های بر پایه

¹ User Equipment

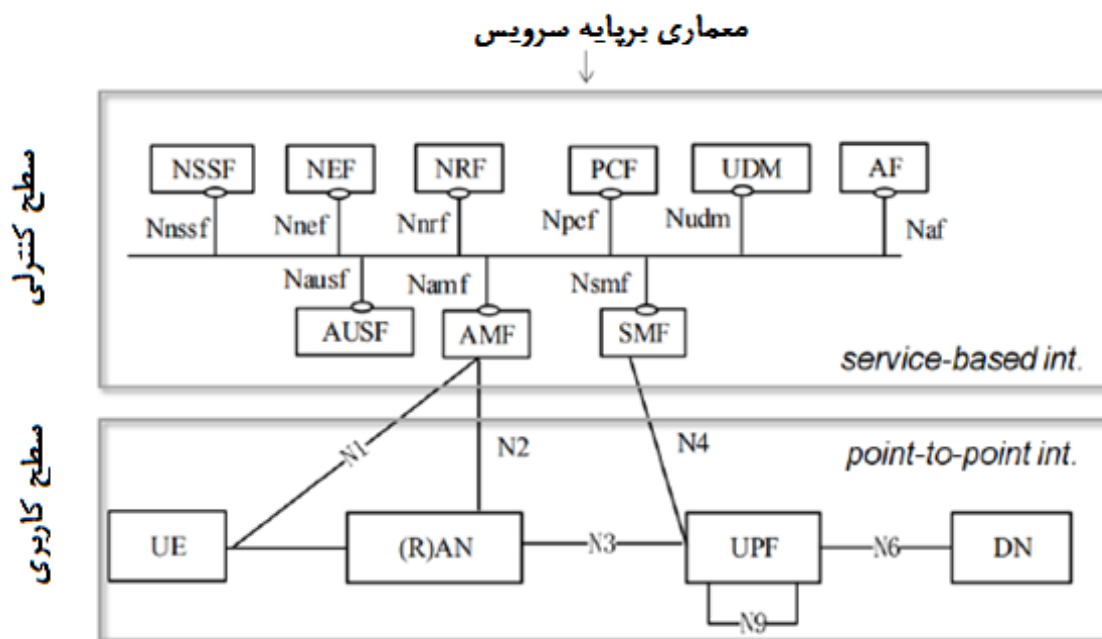
² Network Slice Selection Function

³ Reference Point Representation

⁴ Point-to-point reference point

⁵ Service-Based Representation

سرویس توسط عملکردهای مختص خود ارائه شده است. این نمایش، معماری بر پایه سرویس را ایجاد می‌کند که در آن، یک تابع شبکه (مانند عملکرد دسترسی و مدیریت جابجایی هسته (AMF)) به بقیه توابع (در صورت اجازه داشتن) اجازه دسترسی به سرویس‌های خود را می‌دهد. طبق این معماری سطح کنترلی از سطح کاربری جدا خواهد شد. توابع پایین در شکل ۷-۲ متعلق به سطح کاربری و توابع بالایی متعلق به سطح کنترلی می‌باشند.



شکل ۷-۲ معماری سیستمی شبکه نسل پنجم در روش نمایش سرویس محور [۱]

با این اوصاف، در شبکه نسل پنجم، هر دو نوع معماری نقطه‌به‌نقطه (P2P) و سرویس محور مورد استفاده قرار می‌گیرند. در معماری نقطه‌به‌نقطه که در نسل‌های قبلی موبایل نیز استفاده می‌شده است، واسط‌های بین توابع شبکه، استانداردسازی شده‌اند به نحوی که شبکه‌های با سازندگان مختلف می‌توانند بکار گرفته شوند. این معماری سال‌ها توسط اپراتورها به خدمت گرفته شده است.

در مدل سرویس محور هسته شبکه نسل پنجم، برهم‌کنش بین واحدهای سطح کنترلی، از واسط‌های بر پایه سرویس استفاده می‌کند که توسط ابزارهای وب‌گرا مثل HTTP/2، REST و JSON پشتیبانی می‌شوند. در نسل‌های قبل‌تر دو جز شبکه مثل واحد MME و واحد HSS^۱ از طریق واسط‌های نقطه‌به‌نقطه مثل LTE S6a به هم متصل می‌شوند لکن در هسته شبکه نسل پنجم، واسط سرویس گرا، مشابه یک واسط برنامه‌ریزی کاربردی است که هر جزء دیگر شبکه می‌تواند از آن استفاده کند. در مدل واسط نقطه‌به‌نقطه، در صورتی که طراح شبکه می‌خواست یک جزو جدید را به شبکه‌ای با N جزو اضافه کند باید N واسط جدید تعریف و

¹ Home Subscriber Server

استاندارد می‌شد و پروتکل‌های مرتبط ایجاد می‌شد. در مدل واسط بر پایه سرویس، طراح فقط نیاز است که واسط برنامه‌ریزی کاربردی، جزو جدید شبکه را استاندارد نماید. در شکل ۲-۷، معماری سرویس محور شبکه نسل پنجم نمایش داده شده است. قسمت بالایی این شکل، مجموعه‌ای از توابع شبکه نشان داده شده است که سطح کنترلی شبکه نسل پنجم را ایجاد می‌کنند. همه این توابع از واسط‌های سرویس محور استفاده می‌کنند؛ به همین دلیل آن‌ها به جای لینک‌های دوطرفه، به یک باس شبکه متصل می‌باشند. اسامی این واسط‌ها همان اسم جزو شبکه هست که به ابتدای آن حرف “N” اضافه شده است.

هر تابع شبکه از تابع مخزن شبکه (NRF)، برای کشف و فعال ساختن ارتباط با سایر توابع شبکه پرس‌وجو می‌کند. قرارگیری یک تابع شبکه جدید صرفاً گذاشتن یک ثبت در پایگاه داده تابع مخزن شبکه (NRF) هست. با اعمال کنترل‌های امنیتی مناسب، (مانند احراز هویت و اجازه دسترسی)، مجموعه‌ای از واسط‌های سرویس محور می‌توانند به راحتی برای کاربران خارجی (مانند تأمین‌کنندگان برنامه کاربردی) ارائه شوند و آن‌ها را قادر به بهینه کردن سرویس‌هایشان می‌نماید.

در سمت پایین شکل ۲-۷، مجموعه‌ای از توابع شبکه که به سطح کاربری تعلق دارند قرار دارند. در این بخش واسط‌های نقطه به نقطه قرار دارند که اسامی آن با حرف “N” شروع می‌شود و با اعداد از هم متمایز می‌شوند. در گذر به زیرساخت ابری و نیاز به چابکی سرویس بیشتر، مدل معماری قبلی بهترین گزینه نیست. چالش این نوع معماری، وابستگی توابع به همدیگر هست و تغییر معماری استقرار یافته در آن مشکل هست. در صورتی که تابع جدیدی معرفی شود یا تابع قبلی بخواهد به روزرسانی شود اپراتورها باید توابع همسایه زیادی را دوباره پیکربندی کنند قبل از استفاده از آن، باید پیکربندی جدید امتحان شود. در معماری جدید سرویس محور، اپراتورها قادر به ارائه سرویس‌های متنوع و تطابق به تغییرات سریع تقاضا و نیازمندی‌های خاص ارتباطات صنعتی می‌باشند. این معماری، سرویس کاربر انتهایی را از شبکه و زیرساخت پلتفرم جدا می‌سازد و چابکی سرویس و عملکرد را به ارمغان می‌آورد. استفاده از مدل ابری در این معماری، و بالطبع آن اختصاص توابع مختلف به سرویس نهایی روی واسط‌های برنامه‌ریزی کاربردی استاندارد، اپراتور را قادر می‌سازد که VNFها را از مسیر پردازش شبکه حذف یا اضافه یا اصلاح نمایند (چابکی عملکرد) و مختص سرویس و بسته به تقاضا، مسیر خاص ایجاد کنند (چابکی سرویس). این معماری جدید در Release 15 استانداردهای 3GPP ارائه شد و در اواسط سال ۲۰۱۸، منجمد^۱ شد. در زمان تدوین این گزارش، آخرین نسخه از معماری شبکه نسل پنجم در Release 16 و در نسخه ۱۶.۳.۰ در دسامبر ۲۰۱۹ ارائه شده است [۳].

¹ freeze

۳-۱-۲- هسته شبکه نسل پنجم (5GC)

معماری شبکه دسترسی نسل پنجم شباهت زیادی به شبکه LTE دارد لکن معماری هسته آن از دیدگاه‌های متعددی منحصربه‌فرد است. در هسته شبکه نسل پنجم، توابع شبکه^۱ (NF) که در گره‌های شبکه نسل‌های پیشین اجرا می‌شدند جداسازی شده‌اند و با عنوان سرویس ارائه می‌شوند.

همانند شبکه دسترسی نسل پنجم، جداسازی سطح کاربر و سطح کنترلی در شبکه هسته نیز وجود دارد. در سطح کاربری، یک یا چند تابع سطح کاربری (UPF) وجود دارد که عمدتاً انتقال بسته را بین تونل‌های مختلف NG-U را به عهده دارند. تونل‌های مختلف NG-U همراه با حامل رادیویی، نشست PDU را تشکیل می‌دهند؛ همه توابع شبکه دیگر به سطح کنترلی تعلق دارند.

همانطور که قبلاً نیز اشاره شد تغییر بزرگ هسته نسل پنجم نسبت به نسل قبلی، در مدل کردن واسطه‌ها هست که علاوه بر مدل "نقطه‌به‌نقطه بیت‌گرا"^۲ از مدل "سرویس محور وب‌گرا"^۳ نیز پشتیبانی می‌کند. درواقع هسته شبکه نسل پنجم می‌تواند از معماری سرویس محور استفاده کند که در آن دستورالعمل‌های قابل اجرا مانند تعاملات بین توابع شبکه‌ای به‌صورت سرویس تعریف می‌شود و بنابراین می‌توانند مجدداً مورد استفاده قرار گیرند.

در ادامه، نقش‌های اصلی توابع شبکه نسل پنجم و ارتباط آن‌ها با شبکه نسل چهارم ارائه شده است. تابع سطح کاربری^۴ (UPF)، انتقال تونل NG-U و سرویس‌های مسیر داده مرتبط با آن را بر عهده دارد؛ تکیه‌گاه داخلی برای انتقال کنترل^۵، اجرای سیاست‌گذاری‌های ترافیکی و کیفیت سرویس بخشی از وظایف این تابع می‌باشند. این تابع، قسمتی از عملکرد درگاه SGW و PGW را در نسل چهارم بر عهده دارد با این تفاوت که تجهیز کاربر (UE)، می‌تواند با چندین تابع سطح کاربری (UPF) ارتباط داشته باشد.

تابع مدیریت نشست^۶ (SMF)، سطح کنترلی نشست PDU هست که تونل‌های NG را پیکربندی می‌کند و با استفاده از پروتکل DHCP، آدرس IP تخصیص می‌دهد و هدایت ترافیک به سمت طرف سوم^۷ یا لبه ابری پیکربندی می‌نماید. همچنین چند تابع مدیریت نشست (SMF) می‌تواند به یک تجهیز کاربر (UE) (به تعداد برش‌های سرویس) همراه باشد. این تابع بخش‌های از عملکرد گره‌های MME و PGW در نسل چهارم را شامل می‌شود.

¹ Network function

² bit-oriented point-to-point

³ web-oriented service-based

⁴ user plane function

⁵ handover

⁶ session management function

⁷ Third party

تابع مدیریت تحرک‌پذیری و دسترسی¹ (AMF)، به همه سیگنالینگ‌های بین هسته و تجهیز کاربر رسیدگی می‌کند. از طریق این تابع، دسترسی کاربر به شبکه و مدیریت تحرک‌پذیری به واسطه برهم‌کنش بین تجهیز و سایر توابع شبکه (مانند تابع مدیریت نشست (SMF)، تابع سرور احراز هویت (AUSF) و ...) پشتیبانی می‌شود. برخلاف تابع مدیریت نشست (SMF)، تابع مدیریت تحرک‌پذیری و دسترسی (AMF) تابع واحدی است که در چند برش شبکه مختلف حضور دارد. تابع مدیریت تحرک‌پذیری و دسترسی (AMF) بخش‌هایی از عملکرد MME را در نسل چهارم موبایل بر عهده دارد.

تابع سرور احراز هویت² (AUSF)، احراز هویت را برای دسترسی به شبکه 3GPP و غیر 3GPP فراهم می‌سازد. این تابع بخشی از عملکرد گره HSS را در نسل چهارم موبایل بر عهده دارد.

تابع مدیریت داده واحد³ (UDM)، مخزنی برای اطلاعات مرتبط با تجهیز کاربر مانند اعتبارنامه، شناسه، جزییات تابع مدیریت تحرک‌پذیری و دسترسی (AMF) و اختصاص تابع مدیریت نشست (SMF) برای نشست جاری هست. ایده اصلی این تابع، ایجاد یک پایگاه داده مرکزی برای اطلاعات پیکربندی تجهیز کاربر می‌باشد بنابراین توابع شبکه می‌تواند به صورت سرویس‌های بدون حالت⁴ طراحی شوند و چابکی معماری را بهبود بخشند. این تابع شامل قسمت‌هایی از عملیات HSS نسل چهارم هست.

تابع کنترل سیاست‌گذاری⁵ (PCF)، تنها جزوی از شبکه هست که قوانین سیاست‌گذاری مانند کیفیت سرویس، فیلترکردن، نحوه شارژ کردن و ... را برای سایر توابع سطح کنترلی انجام می‌دهد. این تابع بخشی از عملکرد PCRF⁶ نسل 4 را بر عهده دارد.

تابع انتخاب برش شبکه⁷ (NSSF)، مجموعه نمونه‌های برش شبکه را که توسط تجهیز مورد استفاده قرار گرفته است با بهترین AMF را انتخاب می‌کند. مشابه این عملیات در نسل چهارم وجود ندارد.

تابع ارائه عملکرد شبکه⁸ (NEF)، توانایی‌های شبکه و رخداد‌های شبکه یا تجهیز کاربر را برای سایر اهداف مانند رایانش ابری، تابع کاربردی و طرف سوم ارائه می‌کند. مشابه این عملیات در نسل چهارم وجود ندارد.

تابع مخزن توابع شبکه‌ای⁹ (NRF)، نمونه‌های تابع شبکه را پیدا می‌کند. هنگامی که این تابع، درخواست پیدا کردن تابع شبکه‌ای را از یک نمونه تابع شبکه دریافت می‌کند این تابع، نمونه‌های تابع شبکه پیدا شده را فراهم می‌آورد. مشابه این عملیات در نسل چهارم وجود ندارد.

¹ access and mobility management function

² authentication server function

³ Unified Data Management

⁴ stateless

⁵ Policy Control Function

⁶ Policy and Charging Rules Function

⁷ Network Slice Selection Function

⁸ Network Exposure Function

⁹ NF Repository Function

برنامه کاربردی¹ (AF)، سرور شبکه را که می‌تواند با سایر توابع شبکه سطح کنترلی برهم‌کنش داشته باشد همانندسازی می‌کند. توابع کاربرد می‌توانند برای سرویس‌های متفاوت کاربرد به وجود آیند یا اینکه در مالکیت اپراتور شبکه یا طرف سوم مطمئن باشند. برای مثال، تابع کاربرد تأمین‌کننده کاربران بیش از حد معمول می‌تواند مسیریابی را تحت تأثیر قرار دهد و ترافیک را به سمت سرورهای خارجی لبه هدایت کند [۱].

۲-۲- سناریوهای استقرار شبکه نسل پنجم

در ادامه نسل‌های قبلی موبایل، 3GPP در نسل پنجم موبایل نیز شبکه هسته جدید با عنوان 5GC و فناوری دسترسی رادیویی جدید با عنوان رادیویی جدید شبکه نسل پنجم (5G NR) را معرفی کرده است. برخلاف نسل‌های قبلی که برای استقرار شبکه باید هر دو شبکه هسته و دسترسی از یک نسل باشند مانند هسته EPC و شبکه دسترسی EUTRAN² در LTE، در Release.15 از نسل پنجم این امکان وجود دارد که اجزای نسل‌های مختلف در پیکربندی متفاوتی به شرح زیر استفاده شوند:

- ✓ سناریوی SA³ که از یک فناوری رادیویی دسترسی استفاده می‌کند.
 - ✓ سناریوی NSA⁴ که از ترکیب فناوری‌های دسترسی رادیویی استفاده می‌کند.
- در سناریوی SA، شبکه دسترسی NR یا LTE تکامل‌یافته^۵ می‌تواند در کنار شبکه هسته عمل نماید و برای سطح کاربری و سطح کنترلی مورد استفاده قرار گیرند. سناریوی SA، روشی ساده است که به اپراتور کمک می‌کند شبکه مستقلی را با استفاده از تحویل بسته بین نسل‌های چهارم و پنجم استقرار دهد و پیوستگی سرویس را حفظ نماید.

گزینه‌های طرح‌شده برای سناریوی SA به این صورت هست:

- ✓ گزینه ۱ از هسته نسل چهارم (EPC) در کنار شبکه دسترسی نسل چهارم استفاده می‌کند.
- ✓ گزینه ۲ از هسته شبکه نسل پنجم (5GC) در کنار شبکه دسترسی رادیویی جدید نسل پنجم (NR gNB) استفاده می‌کند.
- ✓ گزینه ۵ از هسته شبکه نسل پنجم (5GC) و شبکه دسترسی LTE ng-eNB استفاده می‌کند [۴].
- ✓ گزینه ۶ از هسته نسل چهارم (EPC) در کنار شبکه دسترسی رادیویی جدید نسل پنجم (NR en-gNB) استفاده می‌کند [۵].

¹ Application Function

² Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network

³ standalone

⁴ nonstandalone

⁵ evolved LTE Radio

لکن در سناریوی NSA، سلول رادیوی NR با سلول رادیوی LTE با استفاده از حالت اتصال دوگانه^۱ ترکیب می‌شود و شبکه core بسته به انتخاب اپراتور می‌تواند نسل چهارم (EPC) یا نسل پنجم (5GC) باشد. این سناریو ممکن است توسط اپراتورهایی که بخواهند از استقرار شبکه نسل چهارم و EPC موجود خود همچنان بهره ببرند استفاده شود و یا اپراتورهایی که با استقرار 5GC بخواهند سرویس موبایل شبکه نسل پنجم را ارائه دهند. در این سناریو نیاز به تعامل شدید با شبکه دسترسی نسل چهارم (LTE RAN) هست. تجربه‌ای که کاربر خواهد داشت به فناوری دسترسی رادیو وابسته خواهد بود.

حالت اتصال دوگانه، تجهیز کاربر، می‌تواند منابع شبکه را از حداقل دونقطه شبکه دریافت کند (مانند دسترسی NR از gNB و دسترسی LTE از eNB) [۴].

گزینه‌های طرح‌شده برای سناریوی NSA به این صورت هست:

✓ گزینه ۳a/۳ از هسته نسل چهارم (EPC) در کنار شبکه دسترسی نسل چهارم (LTE eNB) به‌عنوان مدل اصلی و شبکه دسترسی نسل پنجم (NR en-gNB) به‌عنوان شبکه دسترسی ثانویه استفاده می‌کند.

✓ گزینه ۴a/۴ از هسته شبکه نسل پنجم (5GC) در کنار شبکه دسترسی رادیوی جدید نسل پنجم (NR gNB) به‌عنوان مدل اصلی و شبکه دسترسی نسل چهارم (LTE ng-eNB) به‌عنوان شبکه دسترسی ثانویه استفاده می‌کند.

✓ گزینه ۷a/۷ از هسته شبکه نسل پنجم (5GC) و شبکه دسترسی نسل چهارم (LTE ng-eNB) به‌عنوان مدل اصلی و شبکه دسترسی نسل پنجم (NR gNB) به‌عنوان شبکه دسترسی ثانویه استفاده می‌کند [۴].

✓ گزینه ۸a/۸ از شبکه هسته نسل چهارم (EPC) در کنار شبکه دسترسی رادیوی جدید نسل پنجم (NR en-gNB) به‌عنوان مدل اصلی و شبکه دسترسی نسل چهارم (LTE eNB) به‌عنوان شبکه دسترسی ثانویه استفاده می‌کند [۵].

تفاوت گزینه‌های دوحالتی با همدیگر (مانند گزینه ۷ و گزینه ۷a) در نحوه ارتباط شبکه دسترسی ثانویه به شبکه هسته هست. شبکه دسترسی ثانویه می‌تواند مستقیماً به شبکه هسته متصل شود یا اینکه به‌واسطه شبکه دسترسی اولیه به شبکه هسته متصل شود. همچنین لازم به توضیح است در صورتی که شبکه دسترسی نسل پنجم بخواهد از شبکه هسته نسل چهارم استفاده کند ایستگاه پایه NR en-gNB (به‌جای NR gNB) استفاده می‌شود و زمانی که شبکه دسترسی نسل چهارم بخواهد از هسته شبکه نسل پنجم استفاده کند ایستگاه پایه LTE ng-eNB (به‌جای LTE eNB) استفاده می‌شود.

¹ Dual-connectivity

طبق استانداردهای 3GPP، اپراتورهای مطرح دنیا همچون Deutsche Telekom، در کل ۱۲ گزینه برای اتصال تجهیز موبایل به شبکه دسترسی و شبکه هسته برای مهاجرت به سمت 5G SA مطرح کرده‌اند که با استفاده از شبکه دسترسی رادیویی جدید (NR) و/یا شبکه دسترسی LTE/eLTE به هسته شبکه نسل پنجم یا شبکه هسته نسل چهارم (EPC) متصل می‌شود. در حالت اتصال دوگانه، LTE/eLTE یا NR به‌عنوان فناوری دسترسی رادیویی اصلی یا ثانویه در ترکیب‌های مختلف بکار برده می‌شوند.

هر تجهیز موبایل در یک لحظه می‌تواند از طریق یکی از این گزینه‌ها به شبکه متصل شود. لکن شایان ذکر است که در اغلب موارد، یک شبکه می‌تواند مجموعه‌ای از این گزینه‌ها را به‌طور هم‌زمان پشتیبانی کند. یک ایستگاه پایه می‌تواند تجهیزات متفاوتی داشته باشد.

طبق استانداردهای 3GPP، در کل ۱۲ گزینه برای اتصال تجهیز موبایل به شبکه دسترسی و شبکه هسته برای مهاجرت به سمت SA در شبکه نسل پنجم مطرح شد که تجهیز موبایل با استفاده از شبکه دسترسی رادیویی جدید (NR) و/یا شبکه دسترسی LTE/eLTE به هسته شبکه نسل پنجم یا شبکه هسته نسل چهارم (EPC) متصل می‌شود. در حالت اتصال دوگانه، LTE/eLTE یا NR به‌عنوان فناوری دسترسی رادیویی اصلی یا ثانویه در ترکیب‌های مختلف بکار برده می‌شوند.

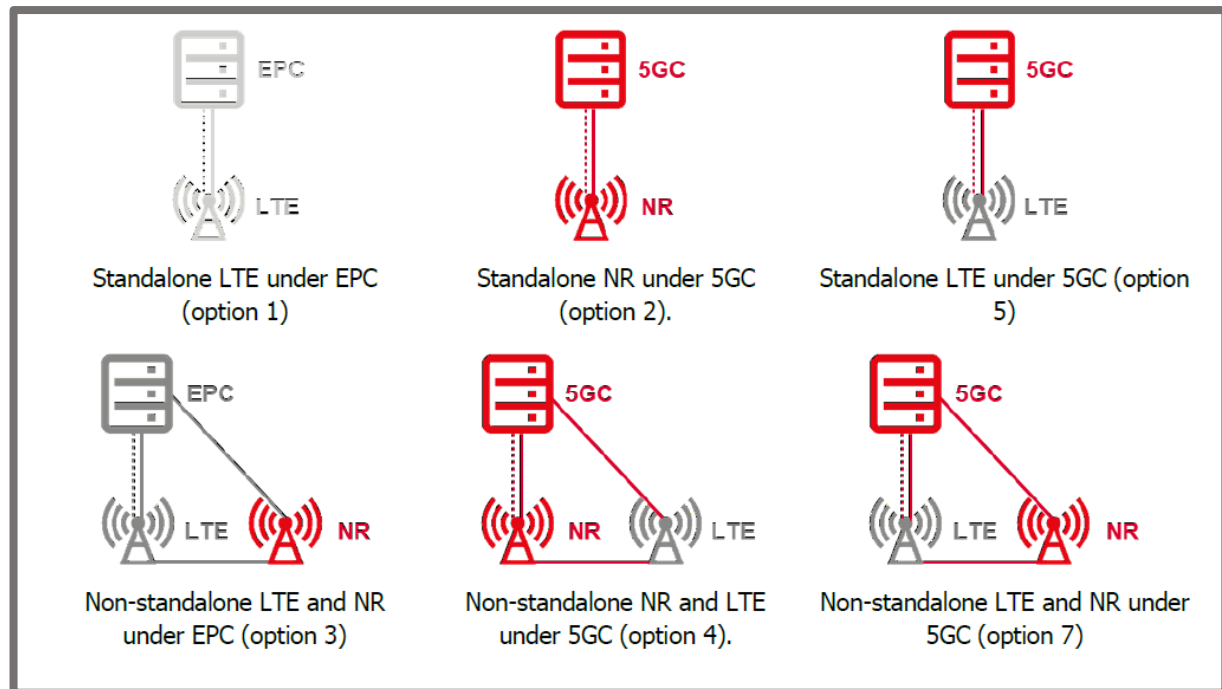
هر تجهیز موبایل در یک لحظه می‌تواند از طریق یکی از این گزینه‌ها به شبکه متصل شود. لکن شایان ذکر است که در اغلب موارد، یک شبکه می‌تواند مجموعه‌ای از این گزینه‌ها را به‌طور هم‌زمان پشتیبانی کند. یک ایستگاه پایه می‌تواند تجهیزات موبایل متفاوتی داشته باشد که گزینه‌های اتصال متفاوتی داشته باشند. سناریوی ۱ متعلق به نسل چهارم موبایل می‌باشد و ۱۱ سناریو باقی خواهند ماند. هم‌چنین سناریوهای ۵، ۶، ۸ و ۸-الف نیز بسیار غیرمحمّل به نظر می‌رسند [۶].

با بررسی سناریو مهاجرتی برخی از اپراتورها مانند Korea Telecom، به نظر می‌رسد در ابتدا از شبکه هسته EPC برای مهاجرت استفاده شود (سناریوی ۳). پس از پیاده‌سازی هسته شبکه نسل جدید، سناریوی ۴ و ۷ استفاده خواهد شد تا بقیه پایانه‌های LTE نیز بتوانند از هسته شبکه نسل جدید استفاده کنند. البته به علت باقی ماندن برخی تجهیزات رادیویی کاربران از سناریوی ۷ به مدت طولانی استفاده خواهد شد. در آخر نیز پس از چند سال که تجهیزات رادیویی LTE جمع‌آوری شدند، می‌توان به سناریوی ۲ رسید.

شکل ۸-۲، ۹ سناریوی موجود را برای استقرار شبکه نسل پنجم نشان می‌دهد. رنگ قرمز برای شبکه نسل پنجم و رنگ طوسی برای LTE استفاده شده است. خطوط نقطه‌چین برای سطح کنترلی و خطوط ساده برای سطح کاربری استفاده شده است. در جدول ۱-۲، منظور از EN-DC^۱، اتصال دوگانه EUTRA (دسترسی

^۱ E-UTRA-NR Dual Connectivity

LTE با NR (دسترسی شبکه نسل پنجم) هست. همچنین NE-DC^۱ به اتصال دوگانه NR با EUTRA هست. NGEN-DC^۲ نیز به اتصال دوگانه NG RAN با EUTRA-NR اشاره دارد.



شکل ۸-۲ سناریوهای توسعه شبکه نسل پنجم [۵]

جدول ۱-۲ گزینه‌های مختلف توسعه شبکه نسل پنجم همراه با مشخصات استانداردسازی شده [۷]

Connectivity option	Core network	Master RAT	Secondary RAT	3GPP term	3GPP release
Option 1	EPC	LTE	-	LTE	Rel. 8
Option 3	EPC	LTE	NR	EN-DC	Rel. 15, Dec 2017
Option 2	5GC	NR	-	NR	Rel. 15, June 2018
Option 4	5GC	NR	eLTE	NE-DC	Rel. 15, March 2019
Option 5	5GC	eLTE	-	eLTE	Rel. 15, June 2018
Option 7	5GC	eLTE	NR	NGEN-DC	Rel. 15, March 2019

^۱ NR E-UTRA Dual Connectivity

^۲ NG-RAN E-UTRA-NR Dual Connectivity

۳-۲- مراجع

- [1] Detti, Andrea. "Functional architecture", 5GITaly Whitepaper, 2019
- [2] <https://www.rfglobalnet.com/doc/g-core-network-architecture-network-functions-and-interworking-0001>
- [3] Brown, G. A. B. R. I. E. L. "Service-Based Architecture for 5G Core Networks." A Heavy Reading white paper produced for Huawei Technologies Co. Ltd. Online verfügbar unter, 2018.
- [4] Kim, D., and M. Zarri. "Road to 5G: Introduction and Migration." GSMA, London, UK, White Paper (2018).
- [5] Deutsche Telekom AG, "RP-161266; 5G Architecture Options - Full Set", Joint RAN/SA Meeting, Busan, June 2016. Available:
http://www.3gpp.org/ftp/TSG_RAN/TSG_RAN/TSGR_72/Docs/RP-161266.zip
- [6] A. Sutton, British Telecom, "5G Network Architecture and Design", January 2017.
- [7] <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/ericsson-technology-review/articles/simplifying-the-5g-ecosystem-by-reducing-architecture-options>

فصل ۳ – فناوری‌های شبکه دسترسی رادیویی (RAN)

۳-۱- مقدمه

علیرغم نرخ داده و کیفیت سرویس‌های مناسب که توسط شبکه نسل چهارم موبایل همانند LTE و LTE-Advanced ارائه شد، ولی هنوز تقاضا برای سرعت بیشتر و کیفیت بهتر از سمت کاربران در حال افزایش است. تنها در سال ۲۰۱۵، ترافیک داده‌های تلفن همراه با رشد ۷۴ درصدی روبرو بوده و از ۲/۱ به ۳/۷ اگزابایت افزایش یافته است [۱]. علاوه بر این، شبکه‌های موجود برای تعداد بسیار زیاد دستگاه‌ها مانند اینترنت اشیا و ارتباطات ماشین به ماشین (M2M) که انتظار می‌رود در آینده به صورت بی‌سیم به اینترنت وصل شوند، مناسب نیستند. همچنین، برای رشد شبکه‌ها و تعداد دستگاه‌های متصل از نظر اقتصادی و زیست‌محیطی، بهره‌وری انرژی باید به میزان قابل توجهی بهبود یابد. در نتیجه با ظهور کاربردهای جدید مانند جراحی از راه دور، سیستم سلامت الکترونیکی، خودروهای خودران، کنترل بی‌سیم ربات‌های صنعتی و ... نیاز به تأخیر بسیار کم (کمتر از میلی ثانیه) و قابلیت اطمینان فوق‌العاده بالا، مفهوم اینترنت لمسی^۱ را به وجود آورده است که محققان و مؤسسات استانداردسازی در سراسر جهان، به منظور حمایت از رشد نمایی ترافیک تلفن همراه و ظهور سرویس‌ها و کاربردهای جدید، تصمیم گرفته‌اند نسل پنجم شبکه‌های بی‌سیم را توسعه دهند [۲-۶].

برخی از الزامات نسل پنجم شبکه‌های بی‌سیم تلفن همراه توسط نهاد زیرساخت شبکه نسل پنجم با نام PPP^۲ در جدول ۳-۱ ارائه شده است. نهاد زیرساخت 5G PPP یک طرف سوم مورد حمایت کمیسیون اتحادیه اروپا می‌باشد. با وجود اینکه هسته اصلی استانداردسازی مطابق نقشه راه شبکه نسل پنجم که در شکل ۳-۱ ارائه شده، توسط 3GPP و ITU پشتیبانی می‌شود، ولی این نهاد به طیف وسیعی از سایر مؤسسات استانداردسازی همچون IETF^۳، ETSI، ONF، Open Daylight، OpenNFV، Open Stack و ... کمک خواهد کرد و قرار است تا سال ۲۰۲۱ در سه فاز، پروژه‌هایی را در حوزه‌های بررسی مشخصات فنی، طراحی جزئی و بهینه‌سازی و ساخت نمونه‌های پایلوت و آزمایشی انجام دهد.

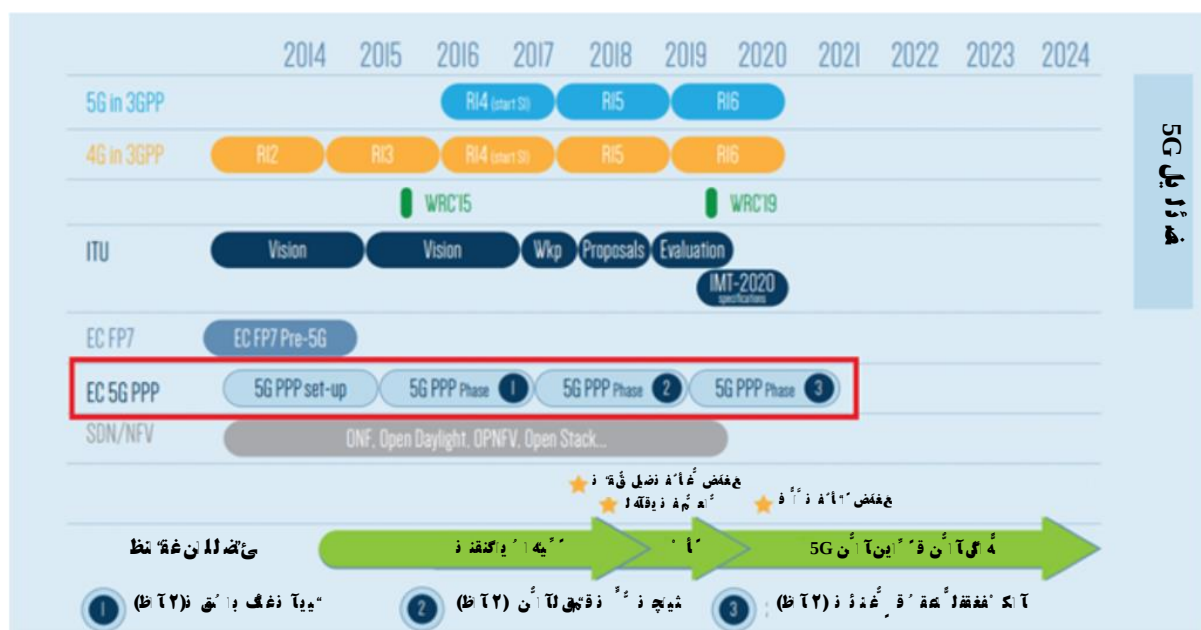
¹ Tactile Internet

² 5G Infrastructure Public Private Partnership

³ European Telecommunications Standards Institute

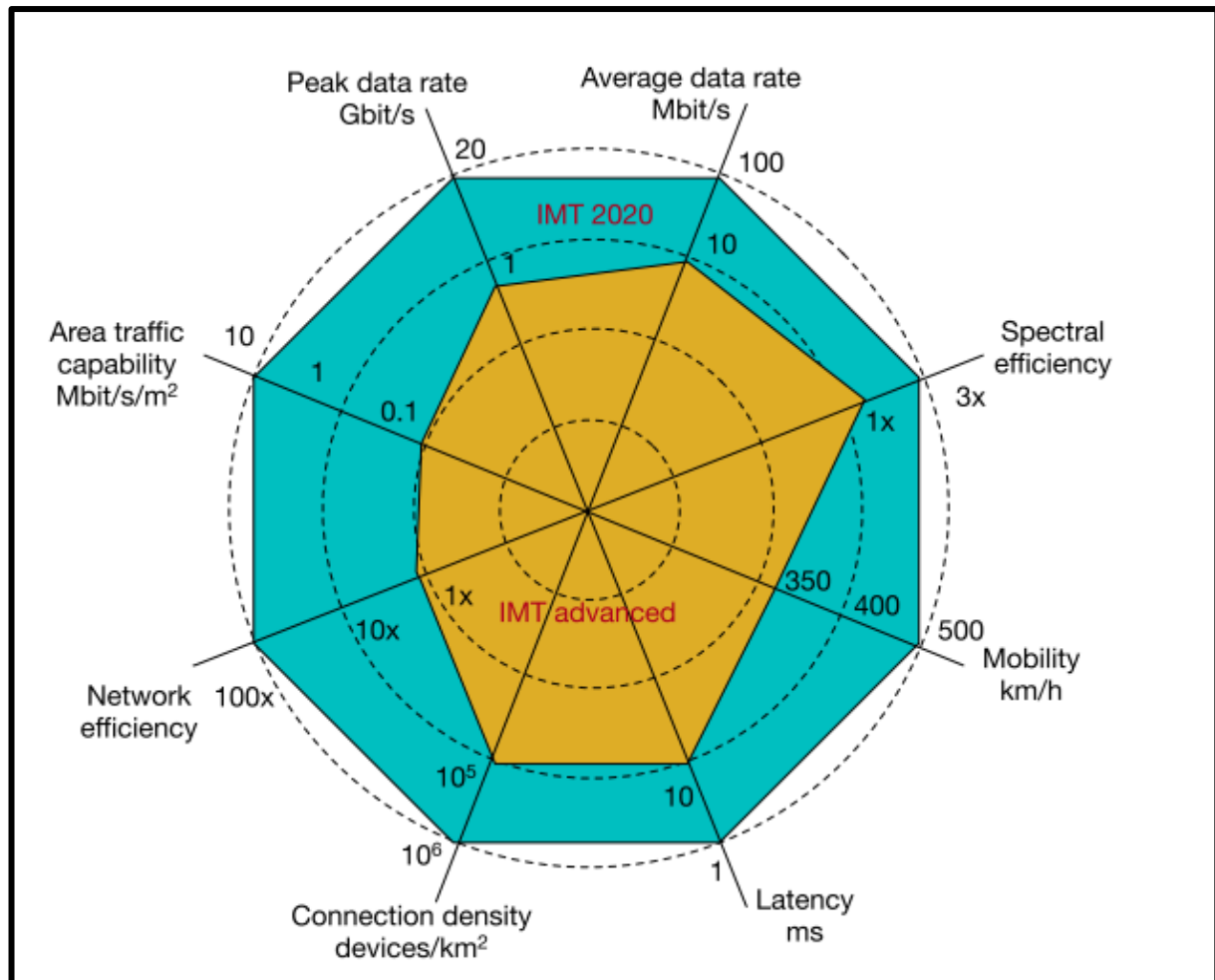
جدول ۱-۳ الزامات سیستم‌های ارتباطی بی‌سیم شبکه نسل پنجم [۴۷]

معیار شایستگی	الزامات 5G	مقایسه با 4G
Peak data rate	10 Gb/s	100 times higher
Guaranteed data rate	50 Mb/s	—
Mobile data volume	10 Tb/s/km ²	1000 times higher
End-to-end latency	Less than 1 ms	25 times lower
Number of devices	1 M/km ²	1000 times higher
Total number of human-oriented terminals	≥ 20 billion	—
Total number of IoT terminals	≥ 1 trillion	—
Reliability	99.999%	99.99%
Energy consumption	—	90% less
Peak mobility support	≥ 500 km/h	—
Outdoor terminal location accuracy	≤ 1 m	—



شکل ۱-۳ نقشه راه شبکه نسل پنجم

همچنین در شکل ۲-۳ مقایسه‌ای بین قابلیت‌های کلیدی IMT-Advanced با IMT-2020 ارائه شده است که مؤید الزامات ارائه شده در جدول ۱-۳ می‌باشد [۵۲].



شکل ۲-۳ مقایسه قابلیت‌ها در IMT-Advanced و IMT 2020 [۵۲]

منتهی بر اساس مقدمه ارائه شده، برای پاسخگویی به این الزامات چالش برانگیز، صرفاً تکامل شبکه‌های فعلی کافی نیست و باید یک انقلاب واقعی از فناوری‌ها در شبکه دسترسی رادیویی (RAN) و هسته شبکه^۱ اتفاق بیفتد. (شکل ۱-۳ و جدول ۲-۳)

در این فصل سعی شده به فناوری‌های شبکه دسترسی رادیویی (RAN) اشاره شود. بر همین اساس فناوری‌های شبکه دسترسی در دو بخش بررسی شده‌اند. مطابق جدول ۲-۳، دسته اول فناوری‌ها که باعث بهبود بازده طیفی و انرژی می‌شوند شامل فناوری‌های چندرودی-چندخروجی حجیم، ارتباطات دوطرفه، سیگنالینگ، مدولاسیون و کدکننده‌های^۲ نوین، استحصال انرژی و ... می‌باشد و دسته دوم فناوری‌ها که طیف فرکانسی جدید ارائه می‌کنند شامل باند فرکانسی موج میلی‌متری، باند فرکانسی بدون مجوز، اشتراک‌گذاری طیف فرکانسی، بارگذاری داده و ... می‌باشند، که در ادامه به آن‌ها پرداخته خواهد شد.

¹ Core Network

² coding

جدول ۲-۳ فناوری‌های کاندید در شبکه نسل پنجم

هسته شبکه (CN)	شبکه دسترسی رادیویی (RAN)	
معماری جدید شبکه	ایجاد طیف جدید	بهبود بازده انرژی و طیفی
Software-defined networks	mmWave bands	Massive MIMO
Network virtualization	Unlicensed bands	Full-duplex radio
Ultra dense networks	Spectrum sharing	Flexible duplex
Cloud RAN/virtual RAN	Heterogonous carrier aggregation	New coding, modulation and waveforms
Machine to machine/infrastructure Communications/IoT/D2D	Mobile Data Offloading	Non-orthogonal multiple access (NOMA)
Mobile edge computing	Smart Data Pricing	Flexible Physical Layer Design
Cloud Computing and Fog Computing	Visible Light Communication	Radio Resource Management, Interference Mitigation, and Caching
		Energy Harvesting Communications

۲-۳- دسترسی چندگانه غیرمتعامد (NOMA¹)

سیستم‌های ارتباطی بی‌سیم باید به‌طور هم‌زمان سرویس‌هایی را برای تعدادی از کاربران در یک سلول با استفاده از روش‌های دسترسی چندگانه (MA²) ارائه دهند. چهار نسل اول از روش دسترسی چندگانه متعامد (OMA³) استفاده می‌کردند. مثلاً نسل اول تلفن همراه (1G) از روش FDMA⁴، نسل دوم (2G) از روش ترکیبی FDMA/TDMA⁵، نسل سوم (3G) از روش CDMA⁶ و در نسل چهارم (4G) از روش OFDMA⁷ استفاده شده است. آنچه شبکه‌ی نسل پنجم را در این حوزه متفاوت می‌کند استفاده از روش دسترسی چندگانه غیرمتعامد (NOMA) می‌باشد.

مزیت اصلی OMA این بود که در شرایط ایده‌آل از تداخل کاربرها جلوگیری کرده و به‌طور قابل‌توجهی طراحی سیستم و پروتکل‌ها، از جمله آشکارسازی، تخمین کانال و تخصیص منابع را ساده می‌کند. اما از سوی دیگر، در عمل تعداد کاربرانی که با روش OMA می‌توانند پشتیبانی شوند، محدود است. چراکه پدیده‌هایی همچون

¹ -Non Orthogonal Multiple Access

² -Multiple Access

³ - Orthogonal Multiple Access

⁴ - Frequency Division Multiple Access

⁵ -Time Division Multiple Access

⁶ -Code Division Multiple Access

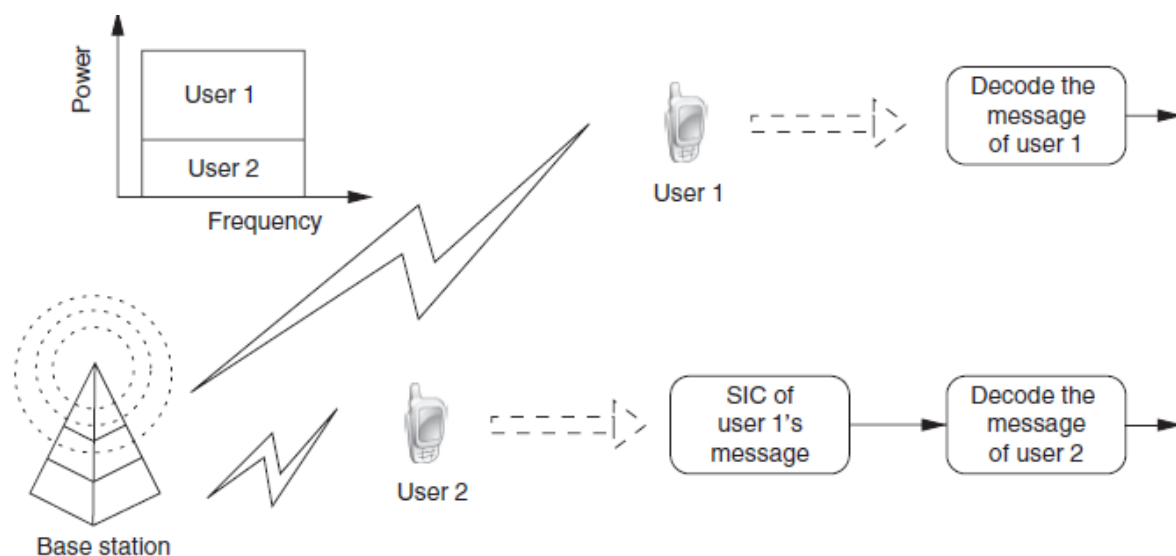
⁷ -Orthogonal Frequency Division Multiple Access

فرکانس‌گزینی کانال در روش‌های TDMA و CDMA و یا نویز فاز در روش‌های FDMA و OFDMA تعامد را از بین می‌برد و از دیدگاه نظریه اطلاعات، روش‌های OMA بهینه نبود [۷].

درواقع نواقص و چالش‌های روش OMA را می‌توان با روش دسترسی غیرمتعامد (NOMA) برطرف کرد [۸-۱۲]. در روش NOMA، به چندین کاربر در یک زمان، با یک فرکانس و در یک مکان با منبعی مشترک خدمت‌رسانی می‌شود. بدین ترتیب، تداخلات سایر کاربران کم بوده و توسط گیرنده قابل حذف می‌باشد. اگرچه چندین روش مختلف NOMA تاکنون برای شبکه نسل پنجم ارائه شده است ولی دو طرح اصلی آن دسترسی چندگانه حوزه توان (PD-NOMA^۱) [۱۸] و دسترسی چندگانه کد تنک (SCMA-NOMA^۲) هست [۸، ۱۳].

در روش PD-NOMA، چندین کاربر به‌طور هم‌زمان با یک منبع فرکانسی ولی با توان‌های مختلف مالتی‌پلکس شده که در گیرنده به راحتی می‌توان سیگنال‌های کاربران را از طریق SIC^۳ جدا نمود. مقالات مختلفی تاکنون مزایای PD-NOMA را در مقایسه با OMA از نظر نرخ داده، قابلیت اطمینان و ... بررسی کرده‌اند [۱۲]. روش PD-NOMA در استاندارد 3GPP یک کاندید برای لینک پایین^۴ شبکه نسل پنجم هست [۱۰].

در روش SCMA-NOMA، فرستنده بیت‌های کاربران را با استفاده از یک رمزگذاری سبک، مالتی‌پلکس کرده و گیرنده با یک الگوریتم رمزگشایی که به محاسبات سنگینی نیاز ندارد، اطلاعات را بازگشایی می‌کند [۱۳]. نمایی از طرح NOMA در شکل ۳-۳ نشان داده شده است.



شکل ۳-۳ طرح NOMA با گیرنده SIC

^۱ - Power Domain-NOMA

^۲ - Sparse Code Multiple Access-NOMA

^۳ - Successive Interference Cancellation

^۴ - Down Link

۱-۲-۳- سیستم ترکیبی NOMA /OMA

از آنجایی که سیستم‌های مبتنی بر NOMA با تداخل کانال هم‌جوار (CCI^1) کارایی خود را از دست می‌دهند لذا سیستم‌های ترکیبی NOMA/OMA در شبکه‌های بی‌سیم جدید مانند شبکه سلولار 5G پیشنهاد شده است [۵۶]. پیش‌بینی شده است که شبکه‌های سلولی آینده با بیش از یک فن MA طراحی شوند، و این روند با کاربرد ترکیبی NOMA و OFDMA به نام $MUST^2$ در لینک رو به پایین استاندارد 3GPP LTE-A مشهود است. انگیزه استفاده از سیستم ترکیبی، کاهش پیچیدگی است. به‌عنوان مثال، اختصاص همه کاربران شبکه برای اجرای NOMA مشکل است، زیرا کاربر با داشتن بهترین شرایط کانال باید قبل از رمزگشایی پیام خود، تمام پیام‌های کاربران دیگر را رمزگشایی کند، که منجر به پیچیدگی و تأخیر زیاد می‌شود. بنابراین با استفاده از سیستم ترکیبی، رویکرد مؤثری برای ایجاد توازن بین عملکرد سیستم و پیچیدگی به وجود خواهد آمد. معمولاً برای کاربرانی با شرایط کانال قوی‌تر، NOMA استفاده می‌شود، زیرا بسیار محتمل است که این کاربران در مقایسه با OMA سرعت داده بیشتری داشته باشند. درواقع در سیستم ترکیبی کاربران شبکه به چندین گروه تقسیم می‌شوند و در هر گروه بر اساس CSI کاربران (به‌عنوان مثال، نزدیک به BTS و یا در لبه سلول) از فناوری NOMA یا OMA استفاده می‌شود.

انواع طرح‌های MA، برای استفاده بهینه از پهنای باند، توان، فرکانس، زمان و کد می‌توانند از رویکردهای پیشرفته نظریه بازی استفاده کنند.

۲-۳-۳- NOMA در رادیو شناخت‌گر (CR^3)

روش NOMA را می‌توان به‌عنوان یک مورد خاص از سیستم CR تفسیر کرد که در آن یک کاربر با داشتن شرایط کانال قوی، به‌عنوان یک کاربر شناخت‌گر (CU^4) است که طیف آن توسط یک کاربر با وضعیت کانال ضعیف (PU^5) اشغال می‌شود [۵۷]. بنابراین به دنبال مفهوم شبکه CR، که کاربرد وسیعی در شبکه هوشمند انرژی دارد، توانایی طراحی یک نوع NOMA با نام CR-NOMA وجود دارد. در طرح CR-NOMA، کاربرهای CU به‌طور هم‌زمان با کاربرهای PU بر اساس محدودیت‌های کیفیت سرویس (QoS) که برای کاربران PU ایجاد شده، جایگزین می‌شود، به‌گونه‌ای که تداخل تحمیل‌شده بر روی کاربران CU با توجه به این‌که شرایط کانال کاربران CU مطلوب است، قابل چشم‌پوشی است. با توجه به شکل ۳-۴ اگر کاربر A متعلق به کاربران PU و کاربر B جزء گروه CU باشد.

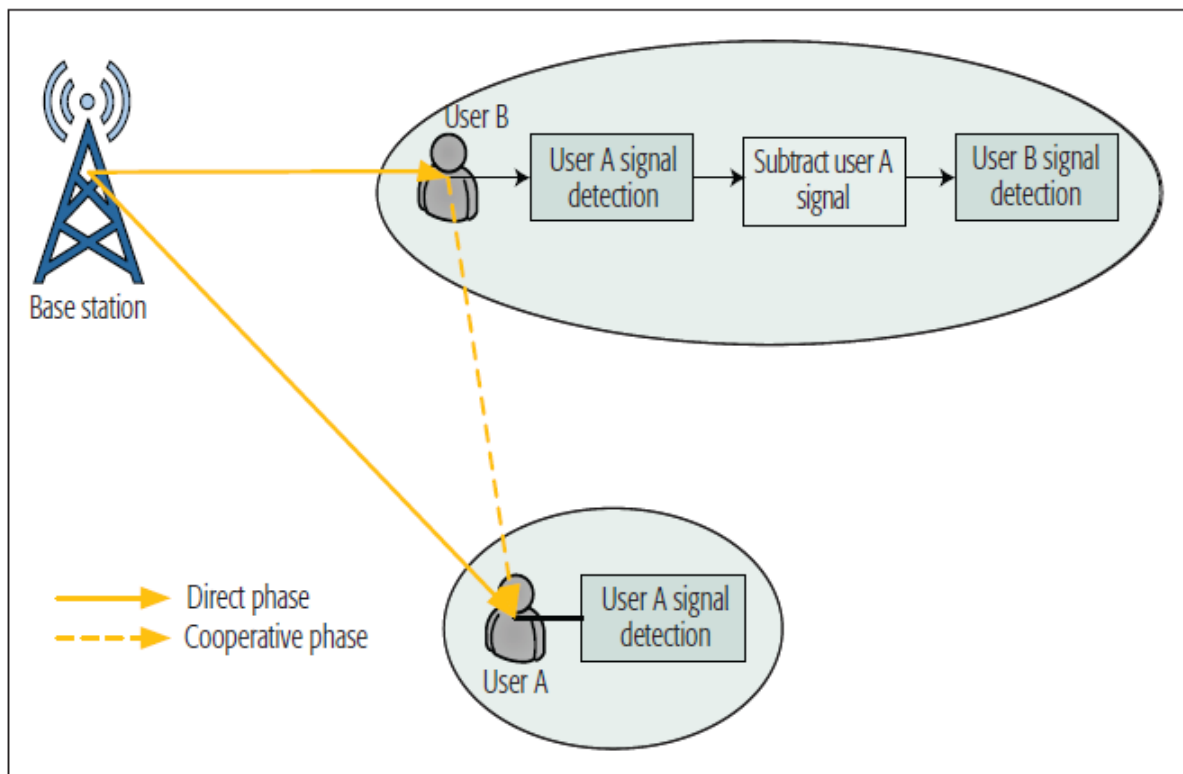
¹ -Co-Channel Interference

² - MUltiuser Superposition Transmission

³ -Cognitive Radio

⁴ -Cognitive User

⁵ -Primary User



شکل ۴-۳ شبکه NOMA دو کاربره [۵۶]

و از OMA استفاده شود، پهنای باند کاربر A، باوجود اینکه ارتباط ضعیفی با BTS دارد، نمی‌تواند توسط سایر کاربران قابل‌دسترس باشد. یعنی، پهنای باند اختصاص داده شده به این کاربر نمی‌تواند به‌طور مؤثر استفاده شود. استفاده از NOMA معادل کاربرد مفهوم CR در شبکه است یعنی کاربر B، با شرایط کانال قوی‌تر، می‌تواند به کاربر A معرفی شود. اگرچه کاربر B باعث ایجاد تداخل بر روی کاربر A می‌شود و سرعت را کاهش می‌دهد ولی از آنجایی که کاربر B اتصال محکمی به BTS دارد، توان کلی سیستم به میزان قابل‌توجهی افزایش می‌یابد و درواقع NOMA یک مصالحه بین میزان گذردهی و برقراری عدالت بین کاربران برقرار می‌کند.

۳-۲-۳ NOMA در سیستم MIMO

در این بخش، ما به کاربرد NOMA در سیستم‌های MIMO اشاره خواهیم کرد و خاطرنشان می‌کنیم که نتایج مطالعات نشان داده است که مفهوم MIMO-NOMA از MIMO-OMA معمولی پیشی گرفته است. به‌عنوان مثال، MIMO-NOMA با شکل‌دهی پرتوی تصادفی در [۵۸] ارائه شده است، که در آن یک BTS مجهز به آنتن‌های متعدد به‌صورت تصادفی پرتوهای را ارسال کرده و کاربران در این پرتوهای به‌صورت فرصت‌طلبانه عمل می‌کنند. در [۵۹]، یک BTS با آنتن‌های متعدد با استفاده از روش NOMA به دو کاربر چند آنتنه به‌طور هم‌زمان سرویس می‌دهد و الگوریتم‌هایی برای بهینه‌سازی حداکثر میزان گذردهی سیستم ارائه شده است. استفاده از فناوری NOMA در سیستم‌های MIMO از اهمیت بالایی برخوردار است زیرا MIMO درجه آزادی

بیشتری را برای بهبود عملکرد فراهم می‌کند ولی هنوز چالش‌های اساسی مانند شکل‌دهی پرتو (BF) به‌طور هم‌زمان در فرستنده و گیرنده، پیچیدگی گیرنده در سمت کاربران، تشخیص هم‌زمان چندین سیگنال، نیاز به خوشه‌بندی کاربران و تخصیص منابع در یک فضای چندبعدی (فرکانس، زمان، مکان و توان) از چالش‌های تحلیلی و محاسباتی در سیستم‌های MIMO-NOMA است که هنوز حل نشده است.

۳-۲-۴- وضعیت استانداردسازی

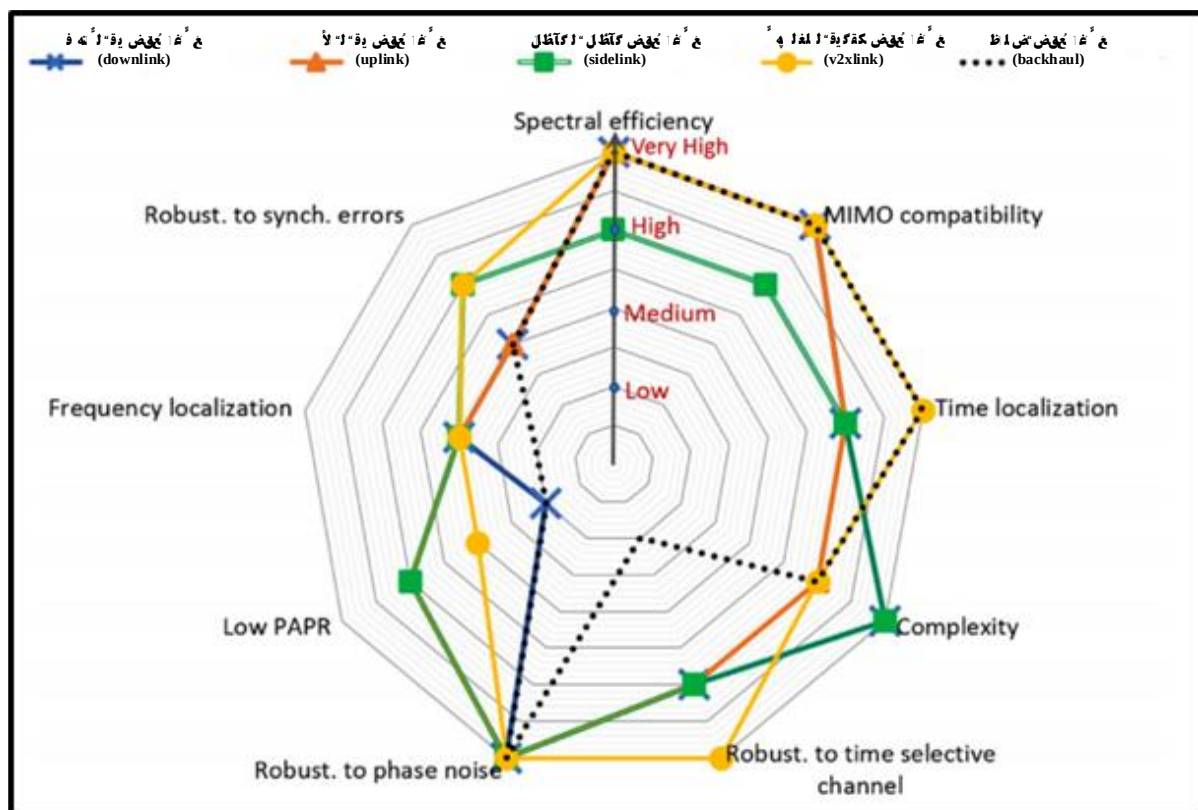
فعالیت استانداردسازی در رابطه با اجرای NOMA در شبکه‌های تلفن همراه نسل جدید شروع شده است. به‌عنوان مثال، 3GPP یک مورد مطالعاتی در لینک رو به پایین شبکه LTE را در Rel-13 آغاز کرده است. همچنین NOMA در حال حاضر یک حوزه تحقیقاتی فعال است و بسیاری از چالش‌های آن هنوز به‌طور کامل برطرف نشده است. وضعیت استانداردسازی این فناوری برای استفاده در شبکه 5G به این صورت است که مطالعه مقدماتی آن در Rel-14 برای سناریوی ارتباطات نوع ماشین حجیم (mMTC) انجام شده است. این فعالیت پس از نوامبر ۲۰۱۶ به حالت تعلیق درآمده بود تا راه‌حلی اساسی‌تر برای عملکرد شبکه دسترسی رادیویی جدید (NR) در شبکه نسل پنجم فراهم شود. با توجه به علاقه شدید دانشگاه و صنعت [۴۸،۴۹]، مطالعه NOMA در Rel-15 احیا شد [۵۰] و در ادامه سناریوهای استفاده از این فناوری در Rel-16 مطرح شده است [۵۱].

۳-۳- طراحی لایه فیزیکی انعطاف‌پذیر^۱

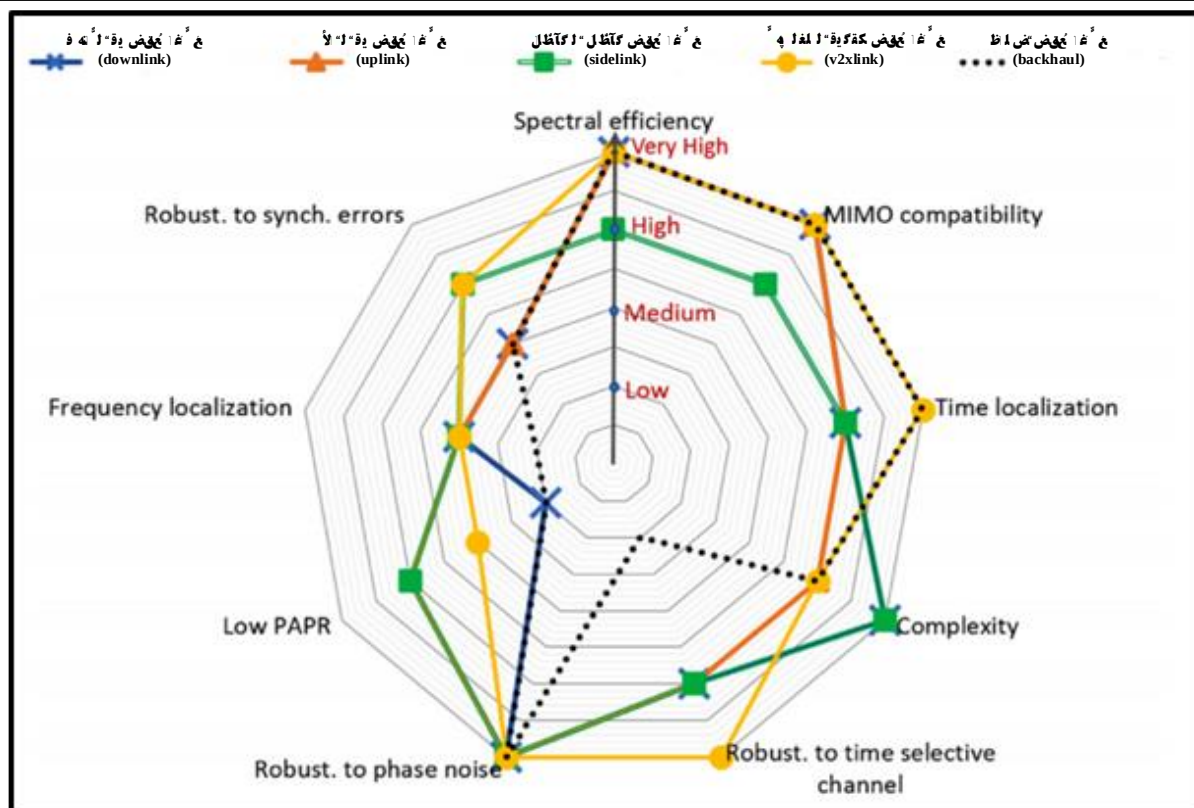
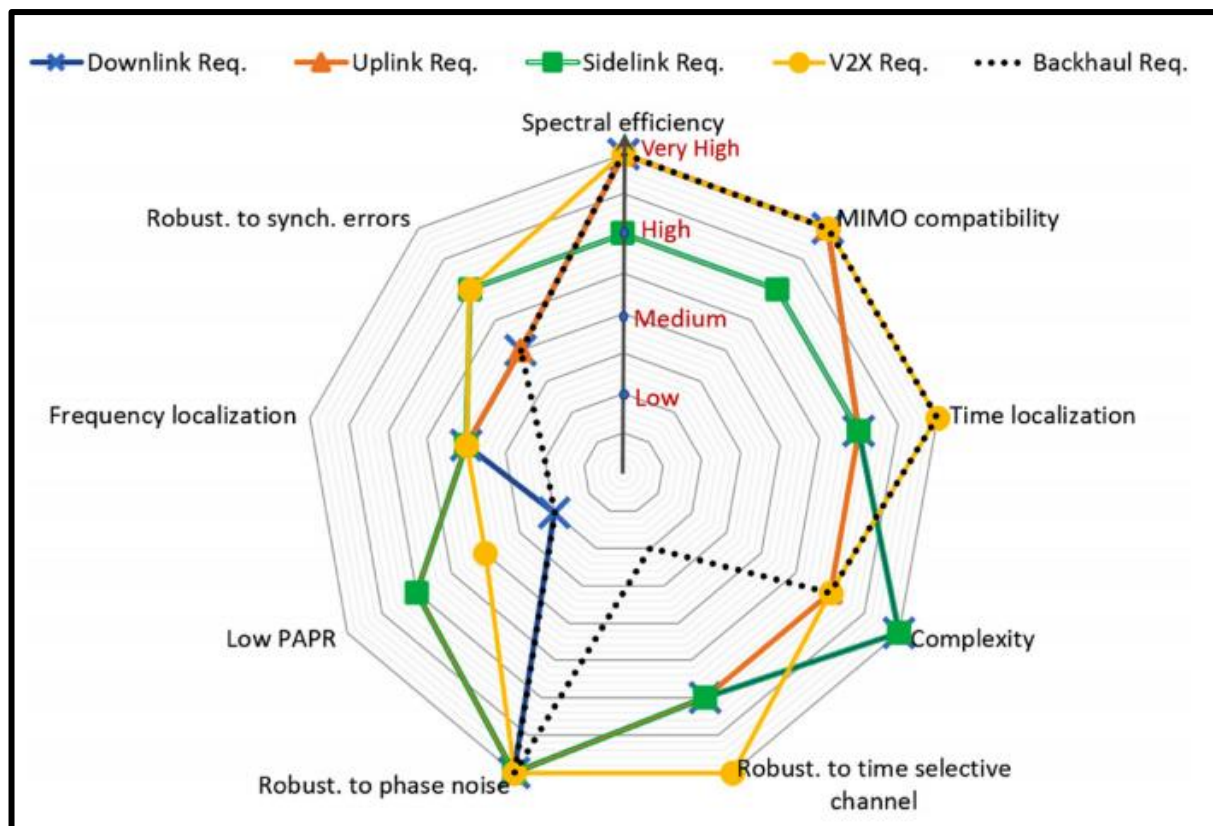
شبکه نسل پنجم نه تنها صوت و اینترنت تلفن همراه را پشتیبانی می‌کند، بلکه کاربردهایی همچون اینترنت اشیا، M2M، اینترنت لمسی و ارتباطات وسایل نقلیه را نیز شامل خواهد شد که هر کاربردی نیازمندی متفاوتی

¹ - Flexible Physical Layer Design

از نظر پهنای باند، تأخیر، قابلیت اطمینان و ... دارد)



شکل ۳-۵). از سوی دیگر نقش نرم‌افزار در سیستم‌های ارتباطی موبایل با گذشت زمان افزایش یافته است. برای شبکه نسل پنجم (5G)، مفهوم شبکه مبتنی بر نرم‌افزار (SDN) می‌تواند مدیریت شبکه را با ایجاد سرویس‌های گوناگون آسان کند. همچنین مفهوم رادیو مبتنی بر نرم‌افزار (SDR) مجازی‌سازی رادیویی را امکان‌پذیر می‌کند، به‌گونه‌ای که چندین مؤلفه رادیویی در نرم‌افزار قابل اجرا خواهند بود. رادیوی شناخت‌گر (CR) با استفاده از یک چرخه تصمیم‌گیری مبتنی بر نرم‌افزار، برای یکسان‌سازی پارامترهای SDR و در نتیجه استفاده بهینه از منابع، یک قدم فراتر می‌رود. این بدین مفهوم است که به جای استقرار سخت‌افزارهای تخصصی، قابلیت‌های ارتباطی زمان واقعی در ماشین‌های مجازی و در مراکز داده با محاسبات ابری اتفاق خواهد افتاد. درواقع مجازی‌سازی عملکردهای شبکه (NFV) مجازی‌سازی مبتنی بر ابر را فراهم می‌کند و این چشم‌انداز زمانی واقعی خواهد شد که تمام این مفاهیم مبتنی بر نرم‌افزار روی لایه فیزیکی (PHY) نیز اعمال شود به‌گونه‌ای که مشخصات آن توسط نرم‌افزار قابل تعریف و کنترل شود. با این توضیحات برای اهدافی که برای شبکه 5G تعریف شده است مانند ارتباطات پهن باند، نرخ داده 10 Gbps و ... طراحی لایه فیزیکی (PHY) انعطاف‌پذیر بسیار ضروری است.



شکل ۳-۵ الزامات طراحی شکل موج برای انواع مختلف لینک

در نسل‌های قبلی از مدولاسیون‌هایی مانند OFDM جهت ارتباطات پهن باند در لایه فیزیکی استفاده شده بود. با این حال، سیستم‌های OFDM / OFDMA دارای مشکلاتی از قبیل (الف) پدیده $PAPR^1$ که باعث به اشباع رفتن تقویت‌کننده‌های قدرت و عملکرد غیرخطی آن‌ها می‌شود. (ب) شکل پالس مستطیل شکل سمبل‌های OFDM که منجر به ایجاد لوب‌های جانبی در خارج از باند می‌شود. (ج) و حساسیت تعامد زیرحامل‌ها به آفست فرکانسی و نویز فاز بودند.

۱-۳-۳-مدولاسیون‌های شبکه 5G

چندین مدولاسیون غیر متعامد در لایه فیزیکی شبکه نسل پنجم جایگزین شده است که عبارت‌اند از [۱۴]:

- FBMC²
- UFMC³
- GFDM⁴

در این طرح‌های سیگنالینگ غیرمتعامد سعی شده است تا با معرفی ویژگی‌های جدید در ساختار سیگنال و ساختار فریم بر مشکلات و محدودیت‌های OFDM / OFDMA فائق آیند. به عنوان مثال، مطابق شکل ۳-۶ سیگنالینگ GFDM مبتنی بر مدولاسیون بلوک‌های مستقل است و هر بلوک از تعدادی زیرحامل و زیرسمبل تشکیل شده است که با استفاده از CPs^5 و فیلتر دایره‌ای^۶ و با کمک الگوریتم‌هایی مانند "tail-biting" باعث کاهش طول دم‌های پالس سیگنال می‌شوند. ساختار سیگنال حلقوی GFDM با استفاده از یک CP برای یک بلوک کامل از داده‌های چند سمبلی، باعث بهبود بازده طیفی در مقایسه با OFDM خواهد شد. در حقیقت، GFDM یک طراحی لایه فیزیکی انعطاف‌پذیر است، زیرا هم CP-OFDM و هم اکولایزر تک حاملی (SC-DFE⁷) را شامل می‌شود که باعث می‌شود فاصله زمانی و فرکانسی هر سمبل از داده‌ها، با توجه به خصوصیات کانال و نوع کاربرد تنظیم شود.

¹ - Peak-to-Average Power Ratio

² - Filter Bank Multicarrier

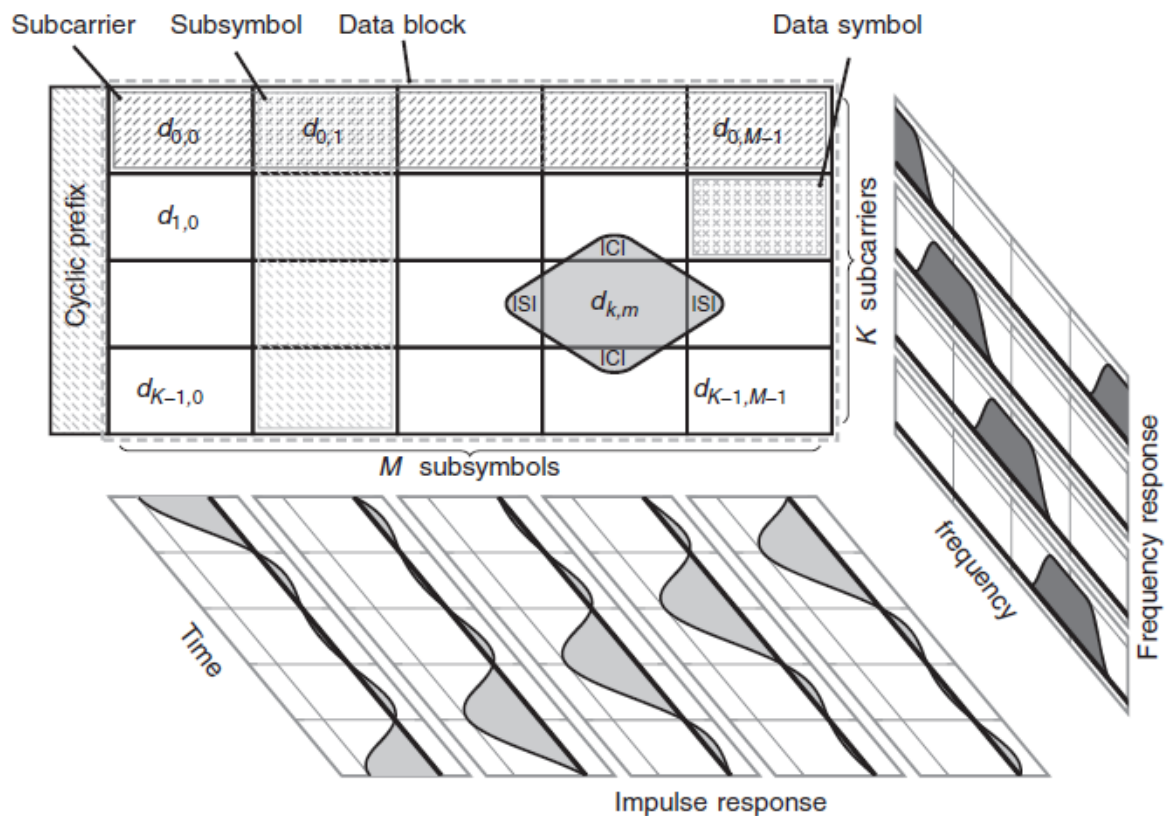
³ - Universal Filtered Multicarrier

⁴ - Generalized Frequency Division Multiplexing

⁵ - Cyclic Prefixes

⁶ - Circular Filtering

⁷ - Single-Carrier Frequency Domain Equalization



شکل ۶-۳ یک بلوک از GFDM در حوزه زمان و فرکانس

۲-۳-۳-مدولاسیون FBMC

مدولاسیون FBMC مشابه مدولاسیون OFDM برای حذف لوب‌های فرعی از یک بانک فیلتری استفاده می‌کند. بنابراین پهنای باند محدودی داشته ولی تشعشعات خارج از باند (OBB^1) آن نسبت به OFDM کمتر است و بازده طیفی بهتری نسبت به آن دارد. از این رو، طیفی کارآمدتر از OFDM است. در ترانسیور این نوع مدولاسیون ممکن است توسط فیلترهای زمان-فرکانس یا فیلترهای چند فازه^۲ یا بلوک‌های FFT / IFFT اجرا شود. شکل موج آن همان‌گونه که قبلاً اشاره شد غیرمتعامد است و از استحکام بیشتری نسبت به سیگنال‌های ناهم‌زمان برخوردار است، یعنی پیچیدگی سنکرون‌سازی برای آن کمتر است و می‌تواند برای لینک رو به پایین و همچنین لینک رو به بالا مورد استفاده قرار گیرد. همچنین می‌توان از آن در شبکه‌های رادیویی شناخت‌گر استفاده کرد، جایی که طیف سیگنال به صورت تکه‌تکه است و باعث کاهش هزینه‌های سیگنالینگ شد [۶۰]. بازده طیفی FBMC به دلیل حذف لوب‌های فرعی نسبت به OFDM بهتر است. میزان انتشار OOB کمی دارد و به CP نیاز ندارد و همچنین نسبت به ناهم‌زمانی بین فرستنده و گیرنده قوی است. از این رو، برای تحرک بالا

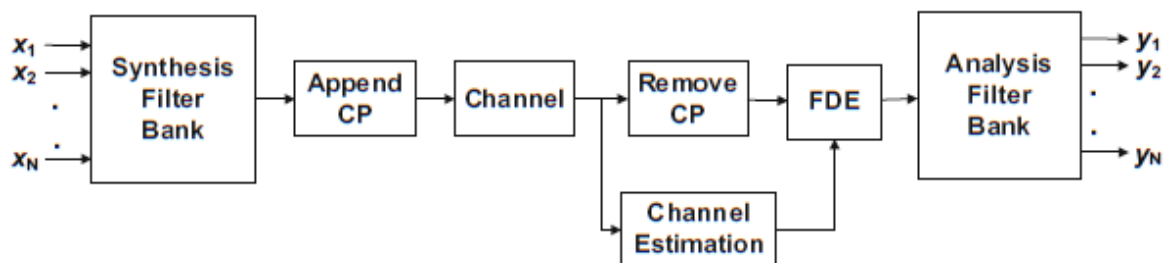
¹ - Out-of-Band

² -Poly-Phase

مناسب است، درجایی که اثر داپلر برای عملکرد سیستم ممکن است اثرگذار باشد. برای سناریوهای رادیو شناخت‌گر مناسب است. مناسب برای سناریوهای تک حاملی و چندحاملی با پهنای باند و فاصله زیر حامل‌های غیریکنواخت است. باین‌حال، پیچیدگی اجرای آن به دلیل اضافه شدن بلوک‌های اضافی نسبت به OFDM بالاتر است. طرح ورودی و خروجی چندگانه (MIMO) با FBMC به راحتی کار نمی‌کند. همچنین برای MIMO-FBMC، تداخلات ICI و ISI وجود دارد و PAPR نیز زیاد است. FBMC به دلیل استفاده از دمه‌های طولانی فیلتر، برای دنباله‌های برست کارآمد نیست [۶۰].

۳-۳-۳-مدولاسیون GFDM

GFDM یک مدولاسیون چند حاملی مانند OFDM است که یکی از کاندیداهای قوی برای حل چالش‌های لایه فیزیکی در شبکه 5G است که می‌توان آن را به صورت دیجیتالی و با استفاده از مفهوم بانک فیلتری چند حامل اجرا کرد. باند موجود را به چندین زیر باند تقسیم می‌کنند که هر زیرگروه ممکن است پهنای باند نابرابر داشته باشد. از این رو، می‌توان از آن برای طیف پراکنده یا سناریوهای رادیو شناخت‌گر استفاده کرد. همانند OFDM، از CP استفاده می‌کند که برای کاهش تداخلات مفید است. علاوه بر این، از مفهوم tail-biting برای CP استفاده می‌شود که باعث خواهد شد CP کوتاه‌تر و بازده طیفی نسبت به OFDM بهبود یابد. بلوک دیاگرام فرستنده-گیرنده GFDM در شکل ۳-۷ و مفهوم tail-biting در شکل ۳-۸ نشان داده شده است [۶۰].



شکل ۳-۷ بلوک دیاگرام ترانسیور GFDM [۶۰]



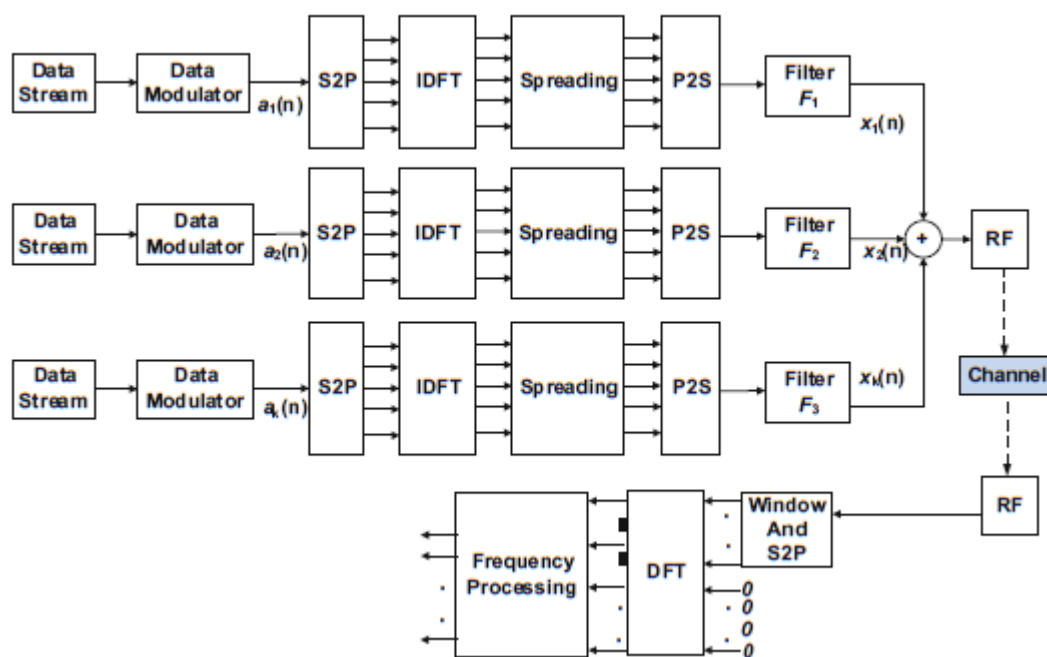
شکل ۳-۸ مفهوم tail-biting در یک فریم اطلاعات GFDM [۶۰]

سیگنال GFDM به گونه‌ای طراحی شده است که پیچیدگی فرستنده و گیرنده را کم کرده و مشکلات سنکرون سازی و اکولایز کردن را کاهش می‌دهد. تشعشع OOB کم است، در نتیجه از تداخل جلوگیری می‌کند. میزان PAPR نسبت به OFDM به دلیل استفاده از روش فیلترینگ کمتر است. از معایب مدولاسیون GFDM این است که باید در طراحی شکل موج سیگنال دقت خاصی شود در غیر این صورت طراحی گیرنده پیچیده

خواهد شد. سنکرون‌سازی برای تخمین STO^1 و CFO^2 کار بسیار مشکلی است. اجرای فناوری MIMO با GFDM دشوار است. باوجود استفاده از فیلترهایی با درجه بالا هنوز نمی‌توان تداخل را کاملاً در آن حذف نمود [۶۰].

۴-۳-۳-مدولاسیون UPMC

UPMC مورد خاصی از ترکیب مدولاسیون‌های فیلتر شده OFDM و FBMC است. FBMC و UPMC در حضور داده‌های آسنکرون نسبت به خطا مقاوم‌تر هستند. UPMC می‌تواند بر کاستی‌هایی که در مدولاسیون‌های OFDM و FBMC وجود دارد، غلبه کند. در فن UPMC به جای فیلتر کردن حامل‌های فرعی به‌طور جداگانه، هر گروه از فرکانس زیر حامل‌ها فیلتر می‌شوند، این روش در مقایسه با OFDM به کاهش تشعشع OOB کمک می‌کند. علاوه بر این، زمان تأخیر UPMC کمتر از FBMC است. بازده UPMC نسبت به FBMC مناسب و قابل‌مقایسه است. سربار آن کمتر از FBMC است. برای انتقال دنباله برست مناسب است، که در FBMC امکان‌پذیر نیست. دارای تأخیر کمتری نسبت به FBMC و OFDM است. UPMC به الگوریتم‌های سنکرون‌سازی دقیق نیاز ندارد. یعنی برای انتقال داده‌های آسنکرون، عملکرد آن به شدت کاهش نمی‌یابد. برای سرعت‌های بالا مناسب نیست. بلوک‌دیگرام فرستنده-گیرنده UPMC در شکل ۳-۹ نشان داده شده است [۶۰].



شکل ۳-۹ بلوک‌دیگرام ترانسیور UPMC [۶۰]

¹ - Symbol-Timing-Offset

² - Carrier-Frequency-Offset

۵-۳-۳- کدکننده‌ها در شبکه 5G

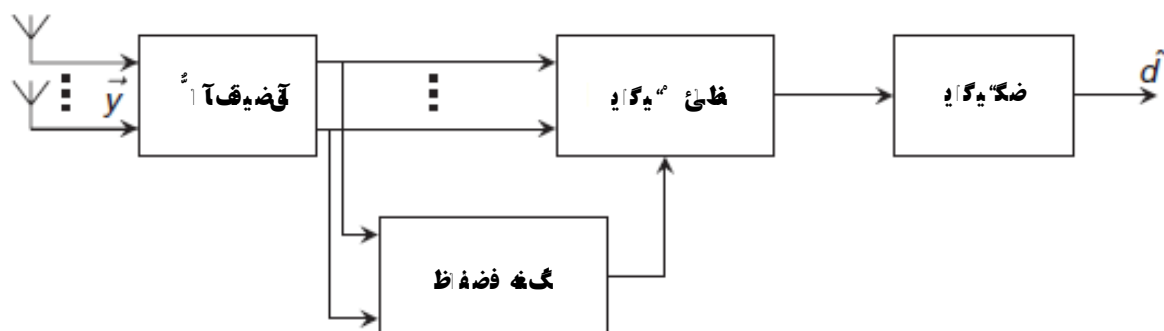
کدهای Turbo قبلاً در بسیاری از استانداردها از جمله mMTC، D2D و URLLC جایگزین کدهای LDPC^۱ شده‌اند. اما کدهای LDPC و کدهای قطبی^۲ به دلیل مزایای ذاتی مانند عملکرد عالی نرخ خطای بیت، رمزگذاری و رمزگشایی سریع و ... هنوز یک مدعی برای شبکه 5G محسوب می‌شوند. چالش‌هایی که بحث کدینگ شبکه 5G در آینده با آن روبرو خواهد بود عبارت‌اند از:

- طراحی طول کد کوتاه‌تر و رمزگشایی موازی
- به حداقل رساندن تأخیر رمزگشایی کانال
- نیاز به خطای رمزگشایی پایین
- نیاز به کدگذاری کارآمد کانال

با این توصیفات انتظار می‌رود در شبکه 5G کدهای LDPC، قطبی (باینری و غیرباینری)، Turbo، کانولوشنال (با tail biting) مهم‌ترین کاندیدها باشند.

۶-۳-۳- ملاحظات طراحی گیرنده

شکل ۳-۱۰ بلوک دیاگرام گیرنده دیجیتال مناسب با لایه فیزیکی انعطاف‌پذیر را نمایش می‌دهد.



شکل ۳-۱۰ بلوک دیاگرام گیرنده دیجیتال [۶۰]

برای برآورده کردن نیازمندی‌ها، هر بلوک باید به‌طور خاص طراحی شود و از ساختار سیگنال ارسالی بهره‌برداری کند. بلوک‌های اصلی عملکردی به شرح زیر هست که وظایف آن‌ها به‌طور خلاصه شرح داده شده است:

سنکرون‌سازی: گیرنده باید زمان و فرکانس حامل یک بسته داده دریافتی را تخمین بزند. حتی اگر دانش در مورد فرکانس حامل از قبل در دسترس باشد، ممکن است افست فرکانسی به دلیل وجود نوسانات در اسیلاتورهای محلی بین فرستنده و گیرنده رخ داده باشد. علاوه بر این، تحرک منجر به تغییر فرکانس (فرکانس

^۱ - Low Density Parity Check

^۲ - Polar Codes

داپلر) می‌شود که باید در گیرنده تخمین و اصلاح شود. هم‌زمان‌سازی برای تعیین نقطه شروع یک بسته داده لازم است به گونه‌ای انجام شود تا گیرنده بداند در چه زمانی فرایند رمزگشایی را شروع کند. هر نوع لغزش زمانی به‌ویژه به دلیل تأخیر در انتشار سیگنال از فرستنده به گیرنده ممکن است اتفاق بیفتد.

تخمین کانال: انتقال سیگنال از یک کانال بی‌سیم ممکن است سیگنال را تخریب کند لذا برای بازیابی اطلاعات، گیرنده باید اطلاعات وضعیت کانال (CSI) را تخمین بزند به گونه‌ای که اختلالات کانال به درستی جبران شود. فیدبک و انتشار چندمسیری دو عامل مهم اثرگذار بر روی سیگنال‌های بی‌سیم هستند که باید در گیرنده جبران شوند.

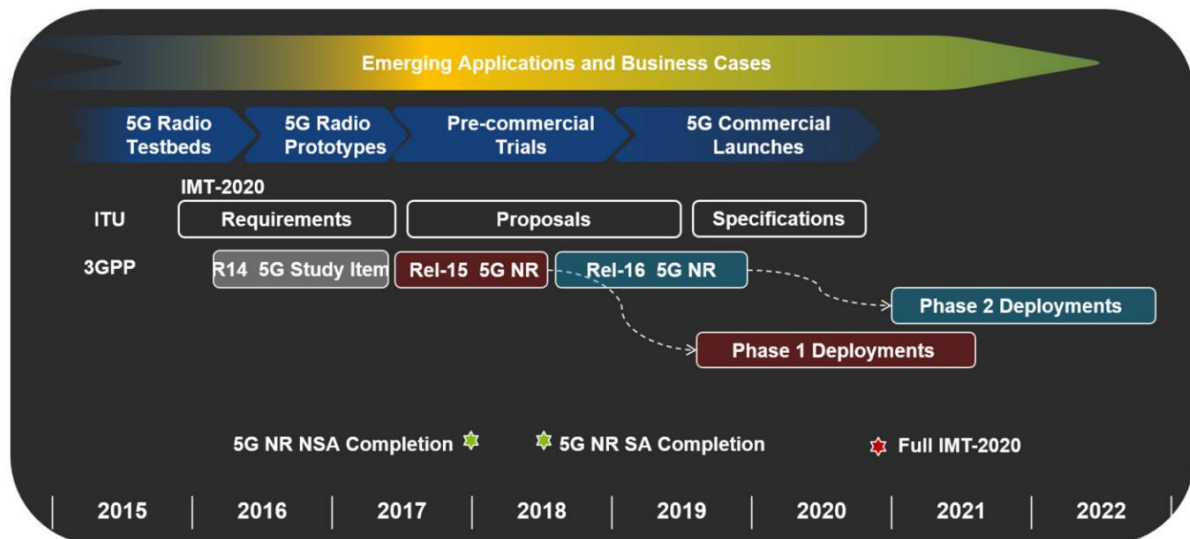
نگاشت و کد بردار: هنگامی که گیرنده اطلاعات وضعیت کانال (CSI) را در اختیار دارد، می‌تواند دنباله بیت را بازیابی کند. برای این منظور، یک نگاشت بردار^۱ اطلاعات اصلی را از سیگنال دریافتی در یک شکل موج استخراج می‌کند که نتیجه آن نه تنها اطلاعات هر بیت بلکه قابلیت اطمینان آن اطلاعات را نیز شامل می‌شود و در نهایت در کد بردار^۲ بر اساس یک تصمیم‌گیری سخت یا نرم توالی بیت‌ها تخمین زده می‌شود و بسته دریافتی به لایه‌های بالایی منتقل می‌شود.

۳-۳-۳- وضعیت استانداردسازی

اولین استاندارد در مورد لایه فیزیکی شبکه نسل پنجم استاندارد 3GPP NR Release 15 بود که در ژوئن ۲۰۱۸ کامل شد و استانداردهای بعدی به گونه‌ای توسعه یافتند که با این نسخه اولیه سازگار باشد. مطابق با شکل ۳-۱۱، نسخه ۱۵، شامل NR فاز ۱، و نسخه ۱۶ مطابق با NR فاز ۲ است. در NR فاز ۱، عناصر مشترکی مانند فناوری OFDM بین LTE و NR وجود دارد، منتهی برای اجرای واقعی نسخه کامل NR، که مستقل از شبکه LTE باشد نیاز است فناوری‌های ذکر شده که مربوط به شکل موج‌ها در لایه فیزیکی است پیاده‌سازی شود که البته هنوز در استاندارد به این فناوری‌ها اشاره‌ای نشده و ممکن است در مراحل و نسخه‌های آتی NR به این فناوری‌ها اشاره شود.

^۱ - Demapper

^۲ - Decoder



شکل ۱۱-۳ نمای جهانی شبکه نسل پنجم

۳-۴- سیستم چندورودی-چندخروجی حجیم^۱

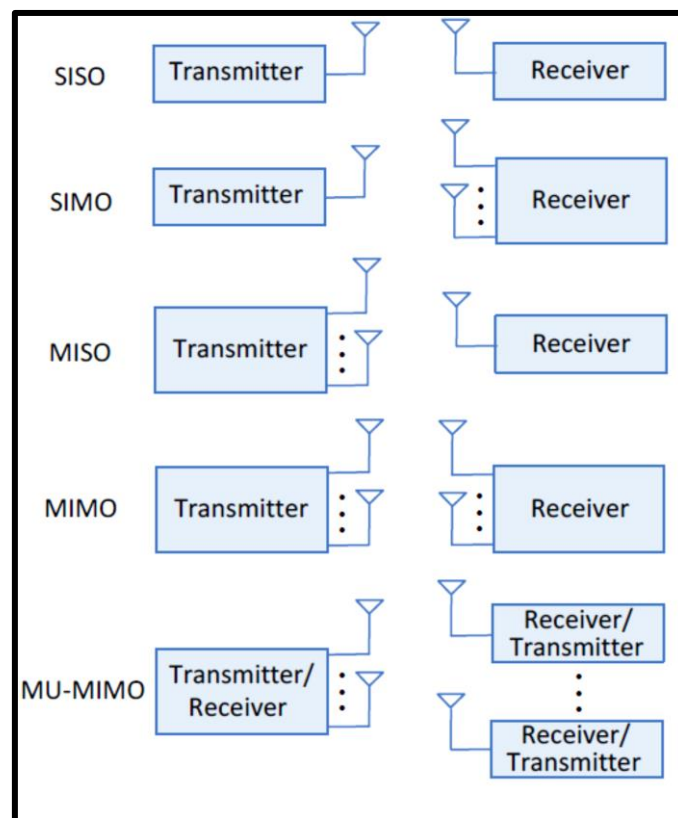
سه فناوری که می‌تواند "سرعت داده" موردنیاز را در شبکه 5G پشتیبانی کند عبارت‌اند از:

- استفاده از سیستم‌های چند ورودی - چند خروجی (MIMO)
- استفاده از طیف موج میلی‌متری (mmWave)
- افزایش راندمان طیفی، از طریق سیستم‌های چند ورودی - چند خروجی پیشرفته (Massive MIMO)

در این میان فناوری چند آنتنه یک عنصر کلیدی برای سیستم‌های ارتباطی بی‌سیم فعلی و آینده خواهد بود. به‌طور سنتی، تعداد آنتن‌هایی که برای سیستم‌های ارتباطی MIMO در نظر گرفته شده است، به تعداد نسبتاً کمی محدود می‌شود (مثلاً ۲۰ آنتن یا کمتر). با این حال، اخیراً نشان داده شده، که اگر تعداد آنتن‌ها در سیستم‌های ارتباطی چندکاربره MIMO در ایستگاه پایه به صدها یا حتی هزار آنتن افزایش یابد، ویژگی‌های مطلوبی به دست می‌آید و این امر باعث ایجاد سیستم‌های چند ورودی-چند خروجی حجیم (Massive MIMO) می‌شود. در نتیجه، تعداد زیادی از تحقیقات از سال ۲۰۱۰ تاکنون به سیستم‌های ارتباطی MIMO Massive اختصاص یافته است. روشن است که سیستم‌های ارتباطی MIMO در مقایسه با سیستم‌های سنتی تک ورودی-تک ورودی (2×1 SISO) به دستاوردهای قابل توجهی در طیف، توان و بهره‌وری انرژی دست یافته‌اند. در واقع، در شرایط ایده‌آل ظرفیت یک سیستم MIMO نقطه‌به‌نقطه با N_T آنتن در فرستنده و N_R آنتن در گیرنده به صورت خطی با $\min(N_T, N_R)$ ، که به آن بهره مالتی‌پلکسینگ می‌گویند، افزایش می‌یابد [۱۵، ۱۶].

^۱ -Massive Multiple Input-Multiple Output (MIMO)

^۲ - Single Input-Single Output



شکل ۱۲-۳ حالت‌های مختلف سیستم‌های چند آنتنه

بالین حال، سیستم‌های MIMO نقطه‌به‌نقطه در عمل چندین نقطه‌ضعف دارند. اول اینکه، تعداد آنتن‌هایی که یک پایانه تلفن همراه (به‌عنوان مثال، تلفن هوشمند) می‌تواند داشته باشد به علت حجم و اندازه، مصرف توان و هزینه محدود است، که این باعث خواهد شد در سمت تجهیزات کاربر مانند تلفن هوشمند نتوان بهره مالتی‌پلکسینگ مناسبی داشت. دوم اینکه، ممکن است در صورت تداخل شدید (مثلاً در لبه‌های سلولی)، شرایط کانال نامطلوب (به‌عنوان مثال، پراکندگی ناکافی) و فاصله کم آنتن‌ها مخصوصاً در تلفن همراه، بهره مالتی‌پلکسینگ در سیستم MIMO از بین برود. یک راه‌حل برای این چالش‌ها استفاده از سیستم‌های MIMO چندکاربره است که یک گره مرکزی با آنتن‌های متعدد (به‌عنوان مثال، یک ایستگاه پایه) به تعدادی از کاربران تلفن همراه با تعداد کمی از آنتن خدمت می‌رساند [۱۷-۱۹]. با این روش پیچیدگی پردازش سیگنال در سمت تلفن همراه، به‌خصوص در مورد پایانه‌های تک آنتن، کاهش می‌یابد. علاوه بر این، از آنجاکه کاربران به‌صورت مکانی در کل سلول توزیع می‌شوند، همبستگی بین زیرکانال‌ها کم و کانال‌های کاربران مختلف ممکن است مستقل فرض شود. البته استفاده از سیستم MIMO چندکاربره، ممکن است تداخل در لینک‌های فرسو (ایستگاه پایه به کاربران) و فراسو (کاربران به ایستگاه پایه) را افزایش دهد که باید با پردازش مناسب در فرستنده و گیرنده آن را کنترل نمود.

سیستم‌های Massive MIMO همچنین پتانسیل بهبود در بهره‌وری انرژی را دارند. نشان داده شده که اگر N_T بزرگ شود و سایر پارامترهای سیستم ثابت فرض شود توان ارسالی برای هر کاربر در سیستم‌های Massive MIMO چند کاربره می‌تواند متناسب با $1/N_T$ و $1/\sqrt{N_T}$ برای حالت آگاهی کامل و ناقص از وضعیت کانال (CSI^1) کاهش یابد [۲۰].

علاوه بر این، نگرانی اصلی سیستم‌های ارتباطی بی‌سیم آینده امنیت و حفظ حریم خصوصی است که می‌توان با استفاده از سیستم‌های Massive MIMO با تعداد زیاد درجه آزادی، از شبکه‌های بی‌سیم سلولی در برابر استراق سمع حفاظت کرد [۲۱، ۲۲].

به دلیل ویژگی‌های مطلوب Massive MIMO، انتظار می‌رود این فناوری یکی از فناوری‌های اصلی شبکه نسل پنجم باشد. با این حال، Massive MIMO هنوز چالش‌های باز مانند استفاده از قطعات سخت‌افزاری ارزان‌قیمت و الگوریتم‌های پردازش سریع و ... را دارد [۲۳].

۳-۴-۱- وضعیت استانداردسازی

به لحاظ استانداردسازی، فناوری MIMO و MU-MIMO از نسخه ۸ (Release-8) به بعد مطرح بوده و در آخرین به‌روزرسانی در NR Release-15 (فاز ۱ و فاز ۲) فناوری Massive MIMO نیز مطرح شده است.

۳-۵- موج میلی‌متری^۲

هدف اصلی سیستم‌های نسل پنجم، افزایش نرخ داده با ضریب افزایشی ۱۰۰۰ برابر در مقایسه با نسل چهارم است. یک روش به‌ظاهر ساده برای افزایش سرعت داده، افزایش پهنای باند مورد استفاده برای انتقال داده است. با این حال، دستاوردهایی در پهنای باند که می‌توانست با استفاده مجدد از باندهای فرکانسی زیر ۶ گیگاهرتز به‌طور سنتی کار کند بسیار محدود شده است. از این رو طبیعی است که در شبکه نسل پنجم به باندهای فرکانسی که تاکنون استفاده نشده و به اصطلاح فرکانس موج میلی‌متری (mmWave) با باند فرکانسی از ۳۰ گیگاهرتز تا ۳۰۰ گیگاهرتز است، توجه شود (شکل ۳-۱۳). در ابتدا، فرکانس‌های موج میلی‌متری عمدتاً به‌عنوان راه‌حلی برای مسافت‌های بسیار کوتاه در شبکه‌های بی‌سیم شخصی (WPAN^۳) و شبکه‌های بی‌سیم محلی (WLAN^۴) در نظر گرفته شد، که استاندارد WiGig در باند فرکانسی ۶۰ گیگاهرتزی نمونه بارز آن بود. همچنین شبکه‌های بی‌سیم ثابت در باند فرکانسی ۷۶-۷۱ گیگاهرتز، ۸۶-۸۱ گیگاهرتز و ۹۵-۹۲ گیگاهرتز نمونه‌های دیگر استفاده از امواج میلی‌متری بودند. بنابراین در ابتدا تصور این که از این امواج برای

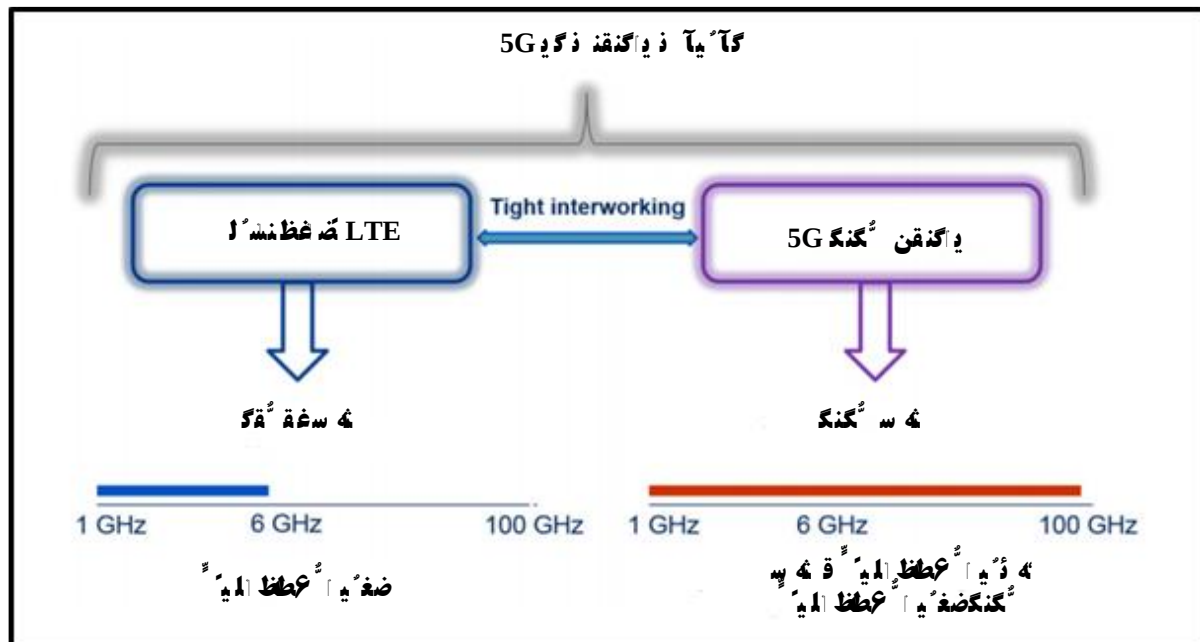
¹ - Channel State Information

² - Millimeter Wave

³ - Wireless Personal Area Network

⁴ - Wireless Local Area Network

مسافت‌های طولانی مانند شبکه‌های سلولی (به علت افت شدید محیط) استفاده شود رد شده بود. نگرش کلی نسبت به استفاده از فرکانس‌های موج میلی‌متری برای ارتباطات در چند سال گذشته به طرز چشم‌گیری تغییر کرده است [۲۴].



Region	Sub-6 GHz Spectrum						Total Bandwidth (MHz)	mmWave Spectrum			
	New Band		Existing Band		3GPP Band	Bandwidth (MHz)		F_{Low} (GHz)	F_{High} (GHz)	Bandwidth (GHz)	Total Bandwidth (GHz)
	F_{Low} (MHz)	F_{High} (MHz)	F_{Low} (MHz)	F_{High} (MHz)							
Korea	3400	3700				300	300	26.50	29.50	3.00	3.00
European Union	3400	3800	2570	2620	38	50	450	24.25	27.35	3.10	7.70
			3400	3800	42 + 43	400		31.80	33.40	1.60	
								40.50	43.50	3.00	
Japan	3600	4200	2496	2690	41	194	1494	27.50	29.50	2.00	2.00
	4400	4900	3400	3600	42	800					
						500					
United States	—	—	2496	2690	41	194	344	27.50	28.35	0.85	10.85
			3550	3700	48	150		37.00	38.60	1.60	
								38.60	40.00	1.40	
								64.00	71.00	7.00	
China	3300	3600	2300	2400	40	100	790	TBD			
	4400	4500	2555	2655	41B	100					
	4800	4990	3400	3600	42	300					
						100					
						190					

شکل ۱۳-۳ چشم‌اندازی از دسترسی رادیویی در شبکه نسل پنجم

از یک‌سو، با توجه به روند کاهش اندازه سلول و ظهور روش‌های کوتاه برد مانند ارتباطات دستگاه به دستگاه، مسافت انتقال مورد نیاز به‌طور قابل توجهی کاهش یافته است. از طرف دیگر، این تصور وجود دارد که افت محیط آن‌قدر هم جدی نباشد، چراکه استفاده از آنتن‌های آرایه‌ای بزرگ تا حد زیادی توانست شرایط انتشار را در مقایسه با فرکانس‌های پایین جبران کند [۲۵]. تنها مانع برای استفاده از موج میلی‌متری انسداد سیگنال‌های

mmWave، توسط موانعی همچون دیوارهای ساختمان و عدم وجود دیدمستقیم (LoS^1) برای ارتباط قابل اطمینان است. برای غلبه بر مشکل انسداد، طرح‌های ترکیبی با استفاده از فرکانس‌های زیر ۶ گیگاهرتز و mmWave برای ارتباط داخلی و خارجی ممکن است لازم باشد. موضوع مهم دیگری که چالش‌ها و فرصت‌های بسیاری دارد، ترکیب فناوری mmWave با Massive MIMO است [۲۶، ۲۷]. علیرغم این چالش‌ها، امروزه mmWave به عنوان یک فناوری اساسی برای دسترسی و بک‌هال^۲ سیستم‌های ارتباطی بی‌سیم شبکه نسل پنجم مورد توجه است [۲۸، ۲۹]. در سایت 3GPP، دو گزارش فنی (TR) در مورد کاربرد موج میلی‌متری در شبکه نسل پنجم گزارش شده است [۵۸].

۳-۶- ارتباطات دوطرفه^۳

این بخش به استفاده از ترانسیورهای دو طرفه که برای شبکه‌های ناهمگن مانند شبکه 5G در حال ظهور هستند، اشاره دارد. استفاده از قابلیت هم‌زمان ارسال و دریافت در همان باند فرکانس با قابلیت حذف خودتداخلی در این بخش اشاره شده است.

اگرچه فناوری‌های پیشرفته‌ای مانند C-RAN، NOMA و Massive MIMO قادر به جبران کمبود منابع سیستم هستند، اما هنوز از منابع طیفی بهره‌برداری کاملی نمی‌شود. دستگاه‌های ارتباطی بی‌سیم سنتی در حالت یک‌طرفه (HD^4) کار می‌کنند، که ارتباطات لینک فرسو (downlink) و لینک فراسو (uplink) به صورت متناوب در هر فرکانس یا بازه زمانی به طور متناوب از هم جدا می‌شوند، و باعث خواهد شد که بازده طیفی به مقدار زیادی از دست برود. به تازگی، ارتباطات بی‌سیم دوطرفه (FD) به عنوان یک روش برای شبکه نسل پنجم، نامزد شده است و توجه زیادی را هم از صنعت [۳۰، ۳۱] و هم دانشگاه [۳۲-۳۴] به خود جلب کرده است. در مقایسه با شبکه‌های ارتباطی HD موجود، سیستم‌های FD به طور هم‌زمان سیگنال‌های داده را در همان باند فرکانس ارسال و دریافت می‌کنند، که مزیت‌های زیادی دارد [۳۲]. اول این‌که، سیستم‌های FD می‌توانند استفاده بهتری از منابع زمان و فرکانس کنند به گونه‌ای که امکان دارد ظرفیت سیستم‌های FD در مقایسه با سیستم‌های HD دو برابر شود. دوم این‌که، در عمل، علاوه بر سیگنال‌های داده، سیگنال‌های بازخورد مانند اطلاعات کنترلی یا CSI نیز می‌توانند هم‌زمان منتقل شوند. بنابراین، سیستم‌های FD می‌توانند با

¹ -Line of Sight

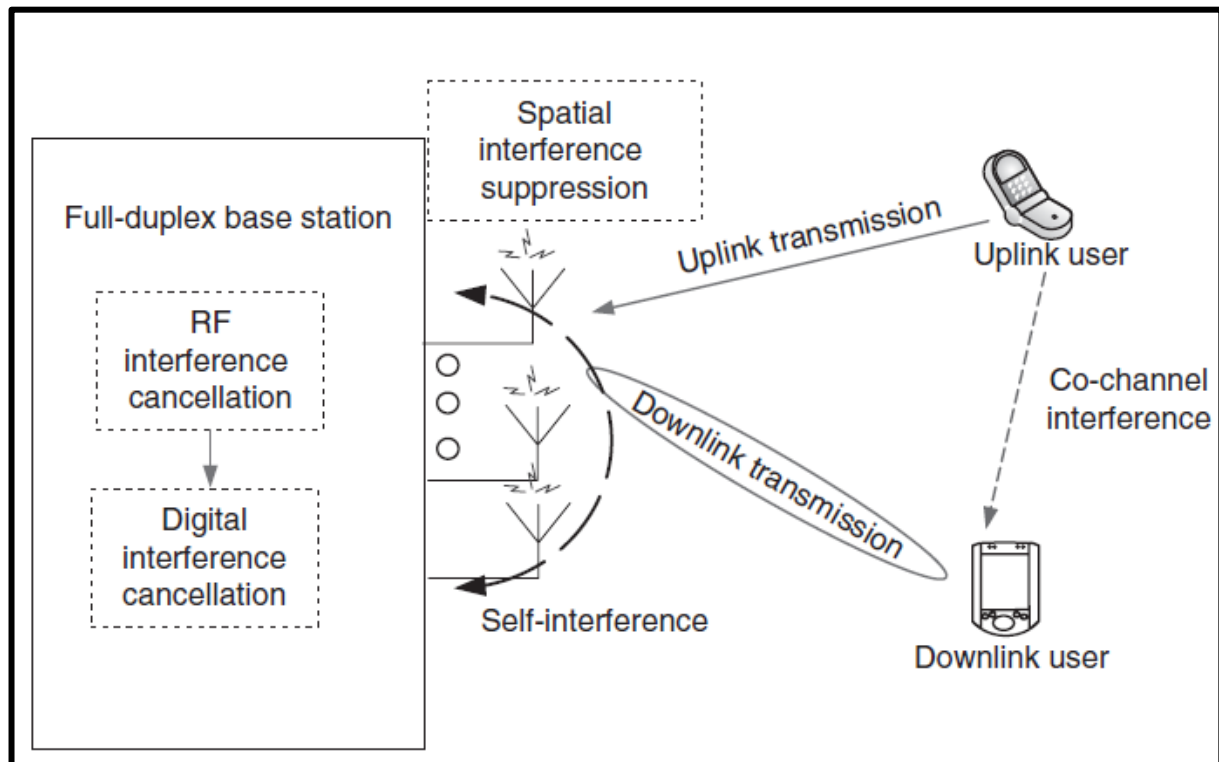
² Backhaul

³ -Full-duplex Communication

⁴ -Half-duplex

دریافت سیگنال‌های بازخورد در هنگام انتقال داده، تأخیر را کاهش دهند. سوم این‌که، سیستم‌های FD می‌توانند امنیت ارتباطات را بهبود بخشند.

باوجود مزایای احتمالی، عملکرد سیستم‌های ارتباطی FD با خود-تداخلی (SI^1) محدود می‌شود، که ناشی از نشت سیگنال از لینک فروسو (downlink) به سمت لینک فراسو (uplink) است (شکل ۳-۱۴).



شکل ۳-۱۴ یک سیستم ارتباطی FD که خود-تداخلی (SI) و تداخل کانال هم‌جوار (co-channel) باعث ایجاد اختلال در لینک فراسو و فروسو شده است

به‌راحتی، نسبت توان SI به توان سیگنال ورودی می‌تواند از ۱۰۰ dB تجاوز کند که این تفاوت بسیار زیاد ممکن است باعث اشباع مبدل آنالوگ به دیجیتال (ADC^2) در گیرنده FD شود که به‌شدت احتمال دریافت سیگنال را کاهش می‌دهد [۳۵].

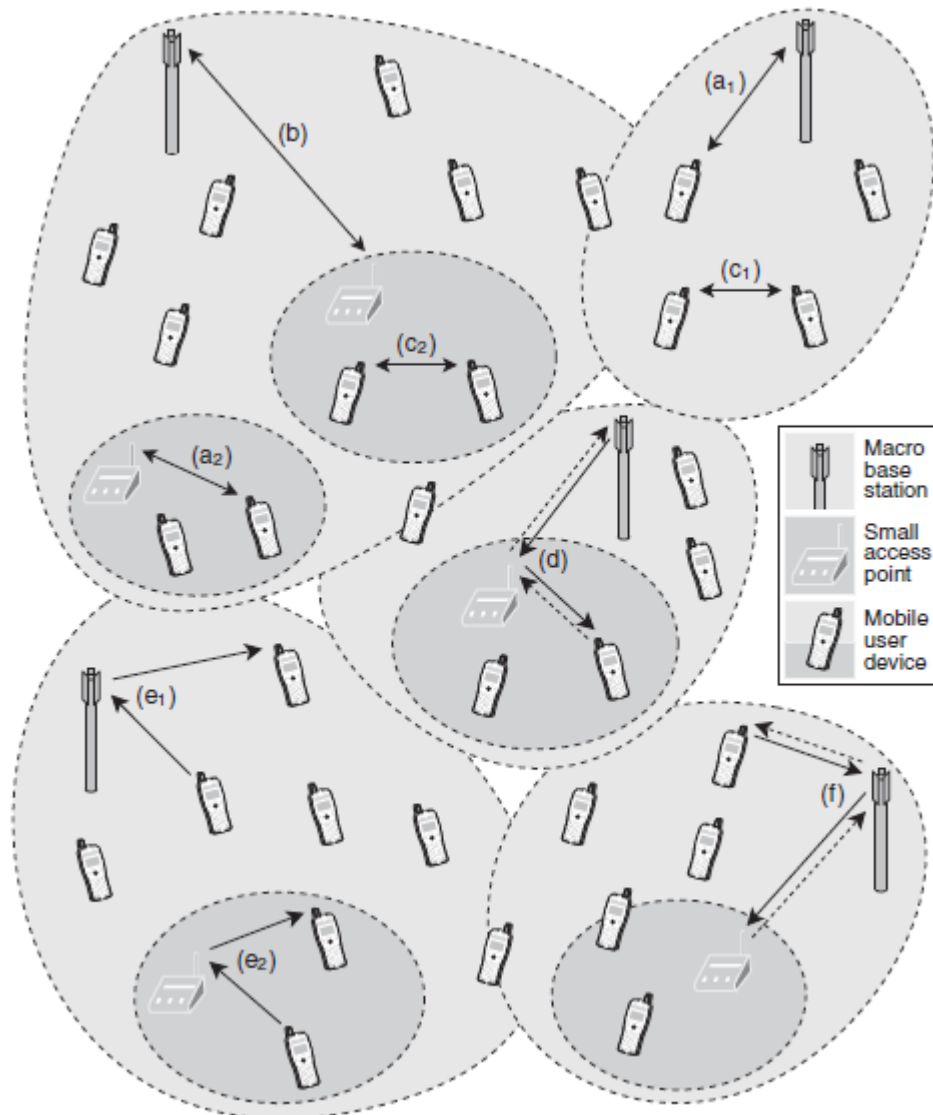
ازاین‌رو، ارتباطات FD اگرچه سال‌هاست مطرح بوده ولی غیرعملی تلقی می‌شد. خوشبختانه، تحقیقات اخیر نشان داده است که ارتباطات FD با استفاده از روش‌هایی مانند خنثی‌سازی مکانی SI یا ایزولاسیون بین آنتن‌های فرستنده و گیرنده قابل پیاده‌سازی خواهند بود [۳۴].

¹ -Self-Interference

² -Analog to Digital Converter

۳-۶-۱- سناریوی ارتباطات دوطرفه در شبکه 5G

سناریوهای قابل‌تصور که در آن ممکن است از فناوری FD در شبکه 5G استفاده شود، در شکل ۳-۱۵ نشان داده شده است. سیستم‌های در نظر گرفته شده شامل ایستگاه‌های پایه (BTS)، نقاط دسترسی به سلول‌های کوچک (AP^1) و کاربران تلفن همراه (MU^2) هستند که در یک شبکه چندتایی ناهمگن واقع شده است.



شکل ۳-۱۵: سناریوی استفاده از ارتباط دوطرفه در شبکه 5G

این سناریوها شامل الف) ارتباط بین یک MU با BTS یا AP ب) ارتباط بین BTS و AP و ج) ارتباط بین دو MU درون یک سلول خواهد بود. همچنین سناریوی چهارمی شامل د) ارتباط بین BTS و MU از طریق ارتباط

¹ -Access Point

² -Mobile User

مشارکتی رله AP با راهبرد^۱ DF می‌باشد. این ارتباطات هم در لینک رو به بالا و هم لینک رو به پایین قابل تعریف می‌باشد.

۲-۶-۳- وضعیت استانداردسازی

شاید خیلی دور از ذهن و یا خوش بینانه باشد که انتظار داشته باشیم دستگاه‌های MU مانند تلفن‌های هوشمند و یا حتی لپ‌تاپ‌ها بتوانند در مدت زمان کوتاه باقی‌مانده تا زمان راه‌اندازی شبکه 5G، بتوانند عملکرد FD کارآمد داشته باشند. فناوری FD عمدتاً برای فرستنده-گیرنده‌های مبتنی بر زیرساخت، مانند ایستگاه‌های پایه، نقاط دسترسی و رله‌ها مناسب است، که می‌توانند گران‌تر و بسیار بزرگ‌تر نسبت به دستگاه‌های تلفن باشند. بر همین اساس می‌توان نتیجه گرفت که سناریوهای (ب) و (د) امیدوارکننده‌ترین سناریوها برای تصویب در شبکه 5G باشند.

بنابراین به نظر می‌رسد که فناوری FD حداقل در مرحله اول در استانداردهای جهانی تجارت 5G تصویب نمی‌شود. دلیل این امر این است که تاکنون در هیچ سند قابل توجهی در RAN WG1^۲ موسسه استانداردسازی 3GPP مورد بحث قرار نگرفته است. در جلسه آوریل ۲۰۱۶، کارگروه RAN WG1 در کره جنوبی نیز فرایند استانداردسازی لایه فیزیکی به فناوری‌های FDD و TDD اکتفا نموده و در مورد FD بحثی نشده است. آخرین وضعیت این فناوری که به صورت جدی در این کارگروه مورد بررسی قرار گرفت در نیمه دوم سال ۲۰۱۸ بوده که مباحثی همچون تکنیک‌های دسترسی چندگانه، شماره شناسایی نماد، ساختارهای فریم، کدگذاری کانال، مدولاسیون و غیره بوده و قرار شد در 3GPP Release 15 به زودی تکمیل شود.

۷-۳- مدیریت منابع رادیویی^۳، تقلیل تداخل^۴ و ذخیره‌سازی^۵

دسترسی به پهنای باند بیشتر، راندمان طیفی بالاتر و سایت‌های سلولی متراکم، کلیدهای دستیابی به افزایش ظرفیت هزار برابری در شبکه نسل پنجم محسوب می‌شود [۵]. از آنجاکه تراکم فضایی می‌تواند بازده طیفی را افزایش دهد، لذا اخیراً سلول‌های کوچک توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند [۴]. اما، افزایش ظرفیت سلول‌های کوچک تداخل بین سلولی و سایر سناریوهای تداخلی را به شدت افزایش می‌دهد. بنابراین برای افزایش ظرفیت و گسترش پوشش به طور هم‌زمان، سازمان استانداردسازی 3GPP بر روی شبکه‌های ناهمگن (HetNets^۶) متمرکز شده است، جایی که ماکروسل‌ها و سلول‌های کوچک برای همزیستی در همان منطقه

^۱ -Decode-and-Forward

^۲ - the radio access network layer 1 working group

^۳ Radio Resource Management

^۴ Interference Mitigation

^۵ Caching

^۶ heterogeneous networks

پوشش هماهنگ می‌شوند. برای این منظور، از روش‌های هماهنگ‌سازی تداخل بین سلولی¹ (eICIC) برای پشتیبانی از دو عملکرد شبکه‌های ناهمگن یعنی گستردگی پوشش و تقسیم منابع استفاده می‌شود. یعنی با اختصاص پایانه‌های بیشتر و استفاده از زیر فریم‌ها برای کاهش تداخل، به این دو هدف دست می‌یابند. هرچند به نظر می‌رسد که ظرفیت ماکروسل‌ها، به دلیل افزایش ظرفیت سلول‌های کوچک، از دست خواهد رفت ولی همچنان ظرفیت کلی سیستم در ناحیه پوشش یک ماکروسل بهبود می‌یابد [۳۹].

الگوریتم‌های تخصیص منابع برای شبکه‌های ناهمگن برای مقابله با دو موضوع مهم پیشنهاد شده است: (۱) تعیین میزان منابع رادیویی یک ماکروسل که باید به سلول‌های کوچک اختصاص داده شود

(۲) تعیین قانون جفت‌شدن پایانه‌های کاربری با سلول‌های کوچک

روش‌های حذف تداخل برای موارد مذکور از طریق مدیریت منابع رادیویی (RRM) برای چندین سلول و به‌صورت متمرکز یا غیرمتمرکز قابل انجام است [۴۰، ۴۱]. در شبکه سلولی نسل پنجم، روش‌های RRM غیرمتمرکز به‌طور جدی مورد مطالعه قرار گرفته است، مخصوصاً برای فناوری‌های انتقال سبز (GTT²) که هدف از آن تعادل بین بازده انرژی و بازده طیفی است. در GTT با تمرکز بر طراحی لایه‌های فیزیکی و کنترل دسترسی رسانه (MAC³) در شبکه‌های بی‌سیم بازدهی انرژی را افزایش داده به‌گونه‌ای که بازده طیفی از دست نرود.

روش ذخیره‌سازی بی‌سیم به نام ذخیره فیزیکی^۴ (PHY) [۴۲، ۴۳]، زمانی اتفاق می‌افتد که چندین ایستگاه پایه همسایه دارای محتوای یکسان مورد نیاز کاربران مختلف هستند. در این هنگام، ایستگاه‌های پایه می‌توانند از فرصت حافظه نهان فیزیکی برای خدمت‌رسانی به کاربران استفاده کنند. در صورت استفاده از این روش برای زمانی که اطلاعات وضعیت کانال (CSI) در فرستنده (CSIT^۵) در دسترس باشد، تداخل بین کاربران مختلف می‌تواند کاهش یابد و بهره مالتی‌پلکسینگ فضایی افزایش می‌یابد. از سوی دیگر، هنگامی که CSIT در دسترس نباشد، حافظه پنهانی PHY هنوز هم می‌تواند با بهره‌گیری از دایورسیتی فضایی مشارکتی^۶، قابلیت اطمینان را بهبود ببخشد.

¹ Enhanced Inter-Cell Interference Coordination

² Green Transmission Technology

³ -Media Access Control

⁴ - PHY caching

⁵ -Channel State Information Transmitter

⁶ -cooperative spatial diversity

۸-۳- ارتباطات استحصال انرژی^۱

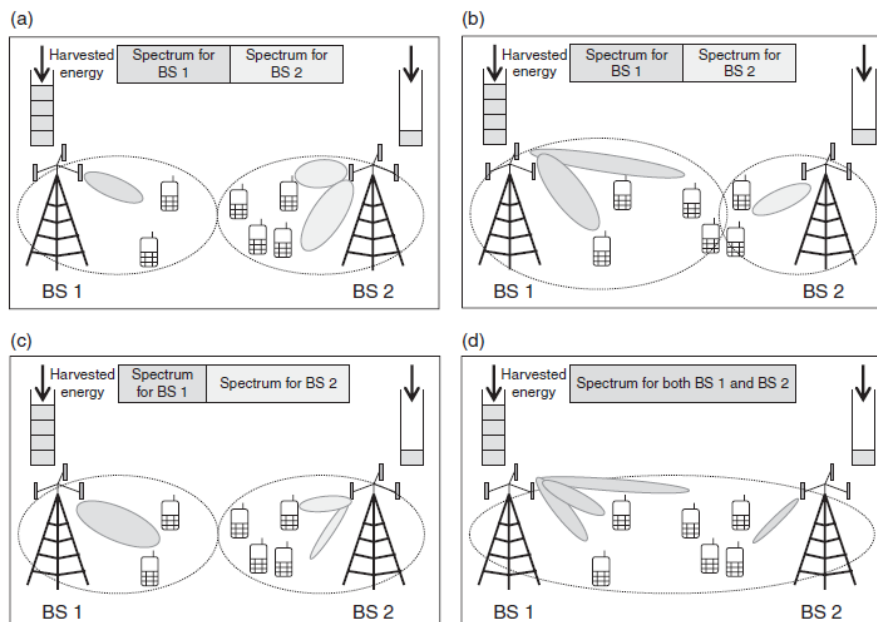
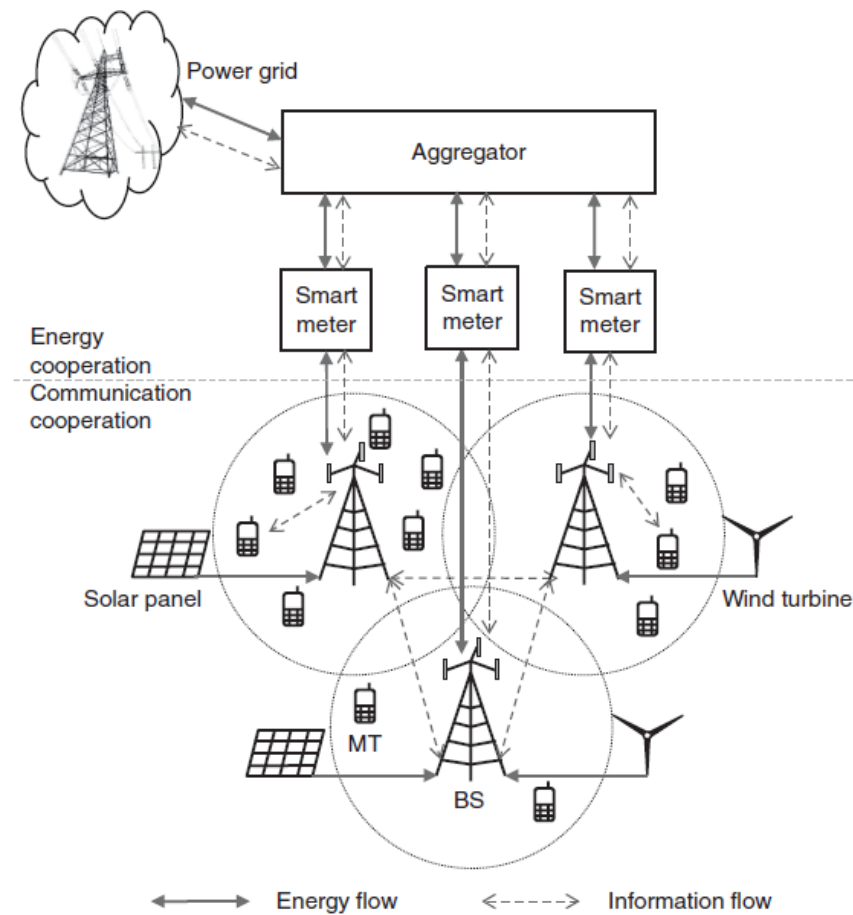
در سال‌های اخیر، به دلیل نگرانی‌های زیست‌محیطی، علاقه زیادی در زمینه ارتباطات سبز شکل گرفته است. شبکه‌های سلولی در سراسر جهان تقریباً ۶۰ میلیارد کیلووات ساعت انرژی در سال مصرف می‌کنند. ۸۰ درصد برق استفاده‌شده در شبکه‌های سلولی توسط ایستگاه‌های پایه مصرف می‌شود و بیش از صد میلیون تن دی‌اکسید کربن (CO₂) در سال ساطع می‌شود [۴۴]. اگر اقدامی برای کاهش این مصرف انرژی صورت نگیرد، پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۲۰ این رقم دو برابر شود. علاوه بر این، بر اساس قیمت انرژی هزینه‌های انرژی سیستم‌های بی‌سیم سلولی بار مالی زیادی برای ارائه‌دهندگان سرویس‌ها خواهد داشت. در نتیجه، طراحی ارتباطات با کارایی انرژی مصرفی به یک نیاز مهم برای سیستم‌های نسل پنجم تبدیل شده است. لذا در برخی شرایط، استحصال انرژی راه‌حل مناسبی است که دستگاه‌های ارتباطی بی‌سیم با انرژی محدود می‌توانند انرژی مصرفی خود را از منابع انرژی محیط پیرامون مانند منابع تجدیدپذیر (خورشید، باد و زمین گرمایی) یا منابع الکترومغناطیسی (RF)، فشار، دما و ... استحصال کنند. برداشت انرژی از منابع "بدون هزینه" می‌تواند هزینه‌های انرژی ارائه‌دهندگان سرویس‌ها را در درازمدت به‌طور قابل‌توجهی کاهش دهد. البته اضافه شدن استحصال انرژی در دستگاه‌های ارتباطی بی‌سیم بسیاری از چالش‌های جدید در معماری سیستم و طراحی الگوریتم تخصیص منابع را ایجاد خواهد کرد.

به‌طور کلی، راه‌حل‌های صرفه‌جویی در هزینه را می‌توان به دو طبقه تقسیم کرد، که به ترتیب تأمین انرژی و تقاضای ارتباطی BTS‌ها را مدیریت می‌کنند. در سمت تأمین انرژی، یک راه‌حل معمول استفاده از دستگاه‌های برداشت انرژی (پنل‌های خورشیدی و توربین‌های بادی) در BTS‌ها است که می‌تواند انرژی تجدیدپذیر ارزان و پاک را برای کاهش یا حتی جایگزین کردن انرژی خریداری شده از شبکه برق استحصال کند. در سمت تقاضا، روش‌های مختلفی برای شبکه‌های سلولی در لایه‌های مختلف پروتکل‌های ارتباطی ارائه شده است تا مصرف انرژی را کاهش دهد [۶۱]. مخابرات مشارکتی (بارگذاری ترافیک، اشتراک‌گذاری طیف و چند نقطه‌ای هماهنگ (CoMP^۲)) بسیار جذاب است. این روش‌ها به BTS اجازه می‌دهد تا منابع بی‌سیم را به اشتراک بگذارند و بارهای ترافیکی بین آن‌ها را تغییر دهند تا در انرژی صرفه‌جویی کنند. بنابراین روش همکاری مشترک تأمین انرژی و ارتباطات جدید رویکرد خواهد داشت :

- مشارکت انرژی در سمت تأمین انرژی
- مشارکت ارتباطات در سمت تقاضا
- مشارکت مشترک در هر دو سمت

^۱ -Energy Harvesting Communications

^۲ - Coordinated Multi-Point

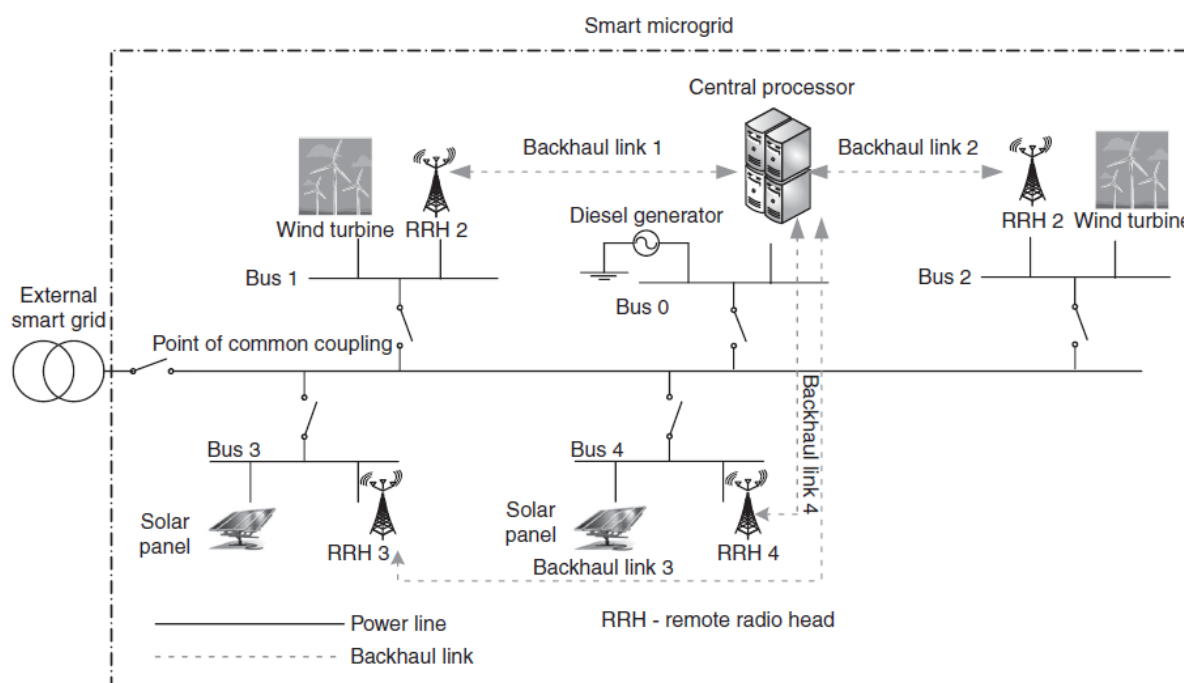


شکل ۱۶-۳ استحصال انرژی در سمت تأمین انرژی و تقاضای ارتباطات (a) طراحی متعارف (b) بارگذاری ترافیک (c) اشتراک‌گذاری طیف

CoMP(d)

در عمل، انرژی‌های تجدید پذیر دائمی اما متناوب هستند و اگر انرژی یک فرستنده بی‌سیم فقط توسط یک منبع تجدید پذیر تأمین شود، ممکن است نتوان عملکرد پایدار را حفظ و یک QoS خاص را برای کاربران نهایی تضمین کنیم. در نتیجه، روش‌های پیشرفته پردازش سیگنال برای تحقق ارتباطات استحصال انرژی پیشنهاد شده است. منابع انرژی ترکیبی، تبادل انرژی بین فرستنده‌ها را از طریق شبکه هوشمند تسهیل می‌کنند [۴۵].

شکل ۱۷-۳ نمونه‌ای از چنین سیستمی را در $C-RAN^1$ که در فصل هفتم این گزارش به‌طور مبسوطی ارائه شده است نشان می‌دهد. در این شبکه، چندین RRH^2 در مجاورت هم مجهز به منابع انرژی ترکیبی هستند که از طریق خطوط برق به یک میکروگرید هوشمند متصل شده‌اند و تجارت انرژی دوطرفه و انتقال مشارکتی را فراهم کرده‌اند.



شکل ۱۷-۳ نمونه‌ای از تجارت انرژی و انتقال مشارکتی در یک سیستم ارتباطی استحصال انرژی ترکیبی

با تجارت دوطرفه انرژی، RRH ها مازاد انرژی تجدید پذیر را می‌توانند ذخیره کنند یا آن را به شبکه بفروشند تا سود کسب کنند، در حالی که RRH ها با کسری انرژی مواجه شدند نیز می‌توانند انرژی بیشتری را از شبکه یا RRH های دیگر خریداری کنند.

¹ -Cloud-RAN

² - Remote Radio Head

۹-۳- ارتباطات نور مرئی (VLC^۱)

سیستم‌های ارتباطی بی‌سیم که در باندهای RF کار می‌کنند در سراسر جهان مستقر شده‌اند. با این حال، طیف فرکانس RF محدود است و در حال حاضر تراکم ترافیک به‌صورت نمایی در حال افزایش است. از این رو پیش‌بینی می‌شود که به تدریج عرضه طیف فرکانس RF متناسب با تقاضای ترافیک، محدود شده و برای کمک به ارتباطات مبتنی بر RF، به فناوری‌های ارتباطی مکمل نیاز باشد. عملاً، پهنای باند در دسترس نور مرئی ۱۰,۰۰۰ برابر بزرگ‌تر از باند RF است. در نتیجه، استفاده از ارتباطات نور مرئی (VLC) یک راه حل مناسب برای کمبود طیف فرکانسی در باند RF است. VLC برای انتقال داده از دیود نوری (LED) استفاده می‌کند. به عبارت دیگر، از یک LED می‌توان به‌طور هم‌زمان برای روشنایی و ارتباط استفاده کرد. سرعت انتقال بالا، امنیت، مصرف کم و ... مزایای استفاده از فناوری VLC هست. LiFi زیرمجموعه‌ای از VLC است که دارای ارتباطات پرسرعت، دوطرفه و کاملاً شبکه‌ای است. به عنوان مثال، برای دستیابی به ارتباط با چندین گیرنده VLC در یک محیط داخلی، یک ساختار شبکه سلولی متشکل از چند عدد سلول نوری کوچک پیشنهاد شده است [۴۶]. با این حال، وقتی چندین ایستگاه پایه نوری به‌طور متراکم مستقر می‌شوند، تداخل هم‌زمان کانال به سرعت افزایش می‌یابد و لازم است تا تأثیر تداخل هم‌زمان کانال بر سرعت داده و احتمال قطع^۲ بررسی شود. پیش‌نویس اولیه‌ای با عنوان ITU-R WP1A برای استفاده از این فناوری در شبکه‌های پهن باند تاکنون پیشنهاد شده است [۵۵].

۱۰-۳- جمع‌بندی

در این فصل به فناوری‌های شبکه دسترسی رادیویی (RAN) اشاره شد. بر همین اساس فناوری‌های شبکه دسترسی در دو بخش بررسی شدند. دسته اول فناوری‌ها که باعث بهبود بازده طیفی و انرژی می‌شوند که شامل فناوری‌های چندورودی-چندخروجی حجیم، ارتباطات دوطرفه، سیگنالینگ، مدولاسیون و کدکننده‌های نوین، استحصال انرژی و ... هست و دسته دوم فناوری‌ها که طیف فرکانسی جدید ارائه می‌کنند و شامل باند فرکانسی موج میلی‌متری، باند فرکانسی بدون مجوز، اشتراک‌گذاری طیف فرکانسی، بارگذاری داده و ... می‌باشند. وضعیت استانداردسازی هر فناوری بررسی و نتایج آن در جدول ۳-۳ ارائه شده است.

^۱ -Visible Light Communiacion

^۲ -Outage probability

جدول ۳-۳ جمع‌بندی فناوری‌های شبکه دسترسی رادیویی

فناوری‌های لایه دسترسی رادیویی (RAN)		
استاندارد	عملکرد	فناوری
Rel. 15,16	Spectral and energy efficiency	NOMA
Rel.15, Phase I,II	Spectral and energy efficiency	Waveform Schemes
Rel.15, Phase I,II	Spectral and energy efficiency	Massive MIMO
Rel. 15,16,17	New Spectrum	Millimeter Wave
-	Spectral and energy efficiency	Full-duplex
-	Spectral and energy efficiency	Radio Resource Management
-	Spectral and energy efficiency	Interference Mitigation
-	Spectral and energy efficiency	Caching
-	Spectral and energy efficiency	Energy Harvesting
ITU-R WP1A	New Spectrum	Visible Light Communication

۱۱-۳- مراجع

- [1] Cisco Systems, "Cisco visual networking index: Global mobile data traffic forecast Update, 2015–2020," Feb. 2016. Available at www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/mobile-white-paper-c11-520862.pdf.
- [2] J. Andrews, S. Buzzi, W. Choi, S. Hanly, A. Lozano, A. Soong, and J. Zhang, "What will 5G be?" *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 32, no. 6, pp. 1065–1082, Jun. 2014.
- [3] F. Boccardi, R. Heath, A. Lozano, T. Marzetta, and P. Popovski, "Five disruptive technology directions for 5G," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 52, no. 2, pp. 74–80, Feb. 2014.
- [4] N. Bhushan, J. Li, D. Malladi, and R. Gilmore, "Network densification: The dominant theme for wireless evolution into 5G," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 52, no. 2, pp. 82–89, Feb. 2014.
- [5] A. Osseiran, F. Boccardi, V. Braun, K. Kusume, P. Marsch, M. Maternia, O. Queseth, M. Schellmann, H. Schotten, H. Taoka, H. Tullberg, M. A. Uusitalo, B. Timus, and M. Fallgren, "Scenarios for 5G mobile and wireless communications: The vision of the METIS project," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 52, no. 5, pp. 26–35, May 2014.
- [6] Ericsson, "5G use cases," 2015. Available at www.ericsson.com/res/docs/2015/5g-use-cases.pdf.
- [7] T. Cover and J. Thomas, *Elements of Information Theory*, Wiley, 2006.
- [8] Y. Saito, Y. Kishiyama, A. Benjebbour, T. Nakamura, A. Li, and K. Higuchi, "Non-orthogonal multiple access (NOMA) for cellular future radio access," in *Proc. IEEE Vehicular Technology Conf.*, Jun. 2013.
- [9] Z. Ding, Z. Yang, P. Fan, and H. V. Poor, "On the performance of non-orthogonal multiple access in 5G systems with randomly deployed users," *IEEE Signal Process. Lett.*, vol. 21, no. 12, pp. 1501–1505, Dec. 2014.
- [10] 3rd Generation Partnership Project (3GPP), "Study on downlink multiuser superposition transmission (MUST) for LTE," TR 36.859 V0.1.0, Apr. 2015.
- [11] L. Dai, B. Wang, Y. Yuan, S. Han, C.-L. I, and Z. Wang, "Non-orthogonal multiple access for 5G: Solutions, challenges, opportunities, and future research trends," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 53, no. 9, pp. 74–81, Sep. 2015.
- [12] Y. Tao, L. Liu, S. Liu, and Z. Zhang, "A survey: Several technologies of non-orthogonal transmission for 5G," *China Commun.*, vol. 12, no. 10, pp. 1–15, Oct. 2015.
- [13] H. Nikopour and H. Baligh, "Sparse code multiple access," in *Proc. of IEEE Conf. on Personal Indoor and Mobile Radio Commun. (PIMRC)*, Sep. 2013.
- [14] G. Fettweis, M. Krondorf, and S. Bittner, "GFDM – Generalized frequency division multiplexing," in *Proc. of IEEE Vehicular Technology Conf. (VTC-Spring)*, Apr. 2009.
- [15] G. J. Foschini and M. J. Gans, "On limits of wireless communications in a fading environment when using multiple antennas," *Wireless Personal Commun.*, vol. 6, no. 3, pp. 311–335, Mar. 1998.
- [16] E. Telatar, "Capacity of multi-antenna Gaussian channels," *Eur. Trans. Telecommun.*, vol. 10, no. 6, pp. 585–595, Nov.–Dec. 1999.
- [17] G. Caire and S. Shamai, "On the achievable throughput of a multi-antenna Gaussian broadcast channel," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 49, no. 7, pp. 1691–1706, Jul. 2003.

- [18] S. Vishwanath, N. Jindal, and A. Goldsmith, "Duality, achievable rates, and sum-rate capacity of Gaussian MIMO broadcast channels," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 49, no.10, pp. 2658–2668, Oct. 2003.
- [19] D. Gesbert, M. Kountouris, R. Heath, C. Chae and T. Salzer, "Shifting the MIMO paradigm," *IEEE Signal Process. Mag.*, vol. 24, no. 5, pp. 36–46, Sep. 2007.
- [20] H. Q. Ngo, E. G. Larsson, and T. L. Marzetta, "Energy and spectral efficiency of very large multiuser MIMO systems," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 61, no. 4, pp. 1436–1449, Apr.2013.
- [21] J. Zhu, R. Schober, and V. Bhargava, "Secure transmission in multicell massive MIMO systems," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 13, no. 9, pp. 4766–4781, Sep. 2014.
- [22] Y. Wu, R. Schober, D. W. K. Ng, E. Lo, C. Xiao, and G. Caire, "Secure massive MIMO transmission with an active eavesdropper," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 62, no. 7, pp. 3880–3900, Jul. 2016.
- [23] F. Boccardi, R. Heath, A. Lozano, T. Marzetta, and P. Popovski, "Five disruptive technology directions for 5G," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 52, no. 2, pp. 74–80, Feb. 2014.
- [24] T. Rappaport, S. Sun, R. Mayzus, H. Zhao, Y. Azar, K. Wang, G. Wong, J. Schulz, M. Samimi, and F. Gutierrez, "Millimeter wave mobile communications for 5G cellular: It will work!," *IEEE Access*, vol. 1, pp. 335–349, May 2013.
- [25] T. Rappaport, F. Gutierrez, E. Ben-Dor, J. Murdock, Y. Qiao, and J. Tamir, "Broadband millimeter-wave propagation measurements and models using adaptive-beam antennas for outdoor urban cellular communications," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 61, no. 4, pp. 1850–1859, Jun. 2013.
- [26] A. Adhikary, E. Safadi, M. Samimi, R. Wang, G. Caire, T. Rappaport, and A. Molisch, "Joint spatial division and multiplexing for mm-wave channels," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 32, no. 6, pp. 1239–1255, Jun. 2014.
- [27] L. Swindlehurst, E. Ayanoglu, P. Heydari, and F. Capolino, "Millimeter-wave massive MIMO: The next wireless revolution?" *IEEE Commun. Mag.*, vol. 52, no. 9, pp. 56–62, Sep. 2014.
- [28] C. Dehos, J. Gonzalez, A. De Domenico, D. Ktenas, and L. Dussot, "Millimeter-wave access and backhauling: The solution to the exponential data traffic increase in 5G mobile communications systems?" *IEEE Commun. Mag.*, vol. 52, no. 9, pp. 88–95, Sep. 2014.
- [29] S. Hur, T. Kim, D. Love, J. Krogmeier, T. Thomas, and A. Ghosh, "Millimeter wave beamforming for wireless backhaul and access in small cell networks," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 61, no. 10, pp. 4391–4403, Oct. 2013.
- [30] 3GPP, "Full duplex configuration of Un and Uu subframes for type I relay," 3GPP TSG RAN WG1 R1-100139, Tech. Rep., Jan. 2010.
- [31] 3GPP, "Text proposal on inband full duplex relay for TR 36.814," 3GPP TSG RAN WG1 R1-101659, Tech. Rep., Feb. 2010.
- [32] D. Kim, H. Lee, and D. Hong, "A survey of in-band full-duplex transmission: From the perspective of PHY and MAC layers," *IEEE Commun. Surv. Tutor.*, vol. 17, no. 4, pp. 2017–2046, Fourth Quarter 2015.

- [33] H. Ju, E. Oh, and D. Hong, "Catching resource-devouring worms in next-generation wireless relay systems: Two-way relay and full-duplex relay," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 47, no. 9, pp. 58–65, Sep. 2009.
- [34] T. Riihonen, S. Werner, and R. Wichman, "Optimized gain control for single-frequency relaying with loop interference," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 8, no. 6, pp. 2801–2806, Jun. 2009.
- [35] B. Day, A. Margetts, D. Bliss, and P. Schniter, "Full-duplex bidirectional MIMO: Achievable rates under limited dynamic range," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 60, no. 7, pp. 3702–3713, Jul. 2012.
- [36] Qualcomm, "LTE-U/LAA, MuLTEfire and Wi-Fi: Making best use of unlicensed spectrum," Sep. 2015. Available at www.qualcomm.com/documents/making-best-use-unlicensed-spectrum-presentation.
- [37] 3GPP RP-140808, "Review of regulatory requirements for unlicensed spectrum," Jun. 2014.
- [38] S. Sen, C. Joe-Wong, S. Ha, and M. Chiang, *Smart Data Pricing*, Wiley, 2014.
- [39] S. Deb, P. Monogioudis, J. Miernik, and J. P. Seymour, "Algorithms for enhanced inter-cell interference coordination (eICIC) in LTE HetNets," *IEEE/ACM Trans. Networking*, vol. 22, no. 1, pp. 137–150, Feb. 2014.
- [40] Nokia Solutions and Networks, "Multi-cell radio resource management: Centralized or decentralized?" NSN White Paper, Jan. 2014.
- [41] D. Wübben, P. Rost, J. Bartelt, M. Lalam, V. Savin, M. Gorgoglione, A. Dekorsy, and G. Fettweis, "Benefits and impact of cloud computing on 5G signal processing," *IEEE Signal Process. Mag.*, vol. 31, no. 6, pp. 35–44, Nov. 2014.
- [42] A. Liu and V. K. N. Lau, "Exploiting base station caching in MIMO cellular networks: Opportunistic cooperation for video streaming," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 63, no. 1, pp. 57–69, Jan. 2015.
- [43] W. Han, A. Liu, and V. Lau, "Degrees of freedom in cached MIMO relay networks," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 63, no. 15, pp. 3986–3997, Aug. 2015.
- [44] G. P. Fettweis and E. Zimmermann, "ICT energy consumption – Trends and challenges," in *Proc. of International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications*, Sep. 2008.
- [45] J. Xu and R. Zhang, "CoMP meets smart grid: A new communication and energy cooperation paradigm," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 64, no. 6, pp. 2476–2488, Jun. 2015.
- [46] C. Chen, D. Tsonev, and H. Haas, "Joint transmission in indoor visible light communication downlink cellular networks," in *Proc. of IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps)*, Dec. 2013.
- [47] 5G Infrastructure Association, "The 5G infrastructure public private partnership: The next generation of communication networks and services," Feb. 2015. Available at <https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2015/02/5G-Vision-Brochure-v1.pdf>.
- [48] L. Dai, et. al, "Non -orthogonal multiple access for 5G: Solutions, challenges, opportunities, and future research trends," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 53, no. 9, Sep. 2015, pp. 74–81.

- [49] Z. Ding et al., “A survey on non -orthogonal multiple access for 5G networks: research challenges and future trends,” IEEE JSAC, vol. 35, no. 10, Oct. 2017, pp. 2181 -95.
- [50] 3GPP RP -170829, New Study Item proposal, Study on non -orthogonal multiple access for NR, ZTE, CATT, Intel, Samsung, March 2017
- [51] Available on: <https://www.3gpp.org/DynaReport/WI-List.htm>
- [52] 3GPP TS 22.261, 3rd generation partnership project: technical specification group services and system aspects; service requirements for the 5G systems; stage 1; (release 16), V16.2.0, 2017
- [53] Available on: <https://www.3gpp.org/DynaReport/TDocExMtg--S1-74--31723.htm>
- [54] Lin, X.; Andrews, J.G.; Ghosh, A.; Ratasuk, R. An overview of 3GPP device-to-device proximity services. IEEE Commun. Mag. 2014, 52, 40–48
- [55] Available on: https://www.3gpp.org/ftp/tsg_sa/TSG_SA/TS GS_75/TdocsByAgenda.htm
- [56] Zhiguo Ding ; Yuanwei Liu ; Jinho Choi ; Qi Sun ; Maged El Kashlan ; I. Chih-Lin ; H. Vincent Poor, “Application of Non-Orthogonal Multiple Access in LTE and 5G Networks”, IEEE Communications Magazine, Volume: 55 , Issue: 2 , February 2017
- [57] Y. Saito, Y. Kishiyama, A. Benjebbour, T. Nakamura, A. Li, and K. Higuchi, “Non-orthogonal multiple access (NOMA) for cellular future radio access,” in Proc. IEEE Veh. Tech. Conf., Dresden, Germany, Jun. 2013.
- [58] Y. Hayashi, Y. Kishiyama, and K. Higuchi, “Investigations on power allocation among beams in non-orthogonal access with random beamforming and intra-beam (SIC) for cellular (MIMO) downlink,” in Proc. of IEEE Vehicular Technology Conf. (VTC Fall), Sep. 2013.
- [59] Q. Sun, S. Han, C. L. I, and Z. Pan, “On the ergodic capacity of MIMO NOMA systems,” IEEE Wireless Commun. Lett., vol. 4, no. 4, pp. 405–408, Aug. 2015.
- [60] Ersan Kabalci · Yasin Kabalci, “Smart Grids and Their Communication Systems”, Energy Systems in Electrical Engineering, Springer, 2019

فصل ۴- فناوری شبکه مبتنی بر نرم‌افزار (SDN)

ایده اصلی شبکه مبتنی بر نرم‌افزار از سال ۱۹۹۶ و برای ایجاد مدیریت کاربر روی ارسال و دریافت در گره‌های شبکه مطرح شد. یکی از چالش‌هایی که فناوری اطلاعات و ارتباطات^۱ (ICT) امروزه با آن روبروست مدیریت شبکه‌هایی است که حجم انتقال اطلاعات در آن‌ها روزبه‌روز در حال افزایش است. یک شبکه از تعداد زیادی کاربر یا گره انتهایی، مسیریاب^۲ و سوئیچ تشکیل شده است که با افزایش تعداد کاربران، داده‌های کنترلی نیز در شبکه زیاد می‌شود. برای این که شبکه بتواند قابلیت اطمینان، پایداری، بازدهی بالایی داشته باشد باید بتواند به‌صورت آنلاین و با تأخیر بسیار کمی اجزاء شبکه را موردبررسی قرار داده و کنترل کند. به همین دلیل انتقال سریع داده‌های کنترلی از اهمیت بالایی برخوردار است. راه‌حلی که شبکه مبتنی بر نرم‌افزار پیشنهاد می‌کند جدا کردن لایه کنترل از لایه داده می‌باشد. در شبکه‌های مبتنی بر IP مسیریاب‌ها مجهز به لایه‌های کنترلی و داده‌ای هستند که به ترتیب مسئولیت مسیر و انتقال داده را بر عهده دارند اما در شبکه‌های مبتنی بر نرم‌افزار لایه کنترل از مسیریاب جدا شده و در سرویس‌دهنده مرکزی به نام کنترل‌کننده^۳ قرار می‌گیرد. در این نوع شبکه‌ها با اضافه کردن واحدهای نرم‌افزاری مختلف به کنترل‌کننده می‌توان رفتار شبکه را موردبررسی قرار داد و آن را مدیریت کرد[۱].

همانطور که قبلاً نیز اشاره شد این فناوری به عنوان یکی از ستونهای اصلی شبکه نسل پنجم، عنوان می‌شود که از نشانگرهای عملکردی کلیدی (KPIهای) مختلف در موارد کاربردی متعدد به طور مؤثری پشتیبانی می‌کند.

۴-۱- استانداردسازی شبکه مبتنی بر نرم‌افزار

مقارن با استانداردسازی پروتکل OpenFlow در سال ۲۰۰۸، فعالیت‌هایی در مورد فناوری مبتنی بر نرم‌افزار دوباره آغاز شد. سازمان شبکه آزاد ONF^۴ در سال ۲۰۱۱ برای کار بر روی شبکه مبتنی بر نرم‌افزار تأسیس شد و اولین معماری شبکه مبتنی بر نرم‌افزار با جزییات در سال ۲۰۱۴ منتشر گردید و در سال ۲۰۱۶ به‌روزرسانی و توسعه داده شد که به درک بهتر وظایف و عملکرد کنترل‌کننده شبکه مبتنی بر نرم‌افزار و ارتباط آن با سایر بخش‌های شبکه می‌پرداخت. معماری شبکه مبتنی بر نرم‌افزار در گزارش‌های فنی ONF TR-502 و ONF TR-521 ارائه شده است و بر پایه سه اصل ذیل می‌باشد[۲]:

^۱ Information and Communication Technology

^۲ Router

^۳ Controller

^۴ Open Network Foundation

۱. جداسازی سطح کنترلی از پردازش و انتقال ترافیک

۲. کنترل مرکزی به صورت منطقی

۳. سرویس‌های شبکه قابل برنامه‌ریزی

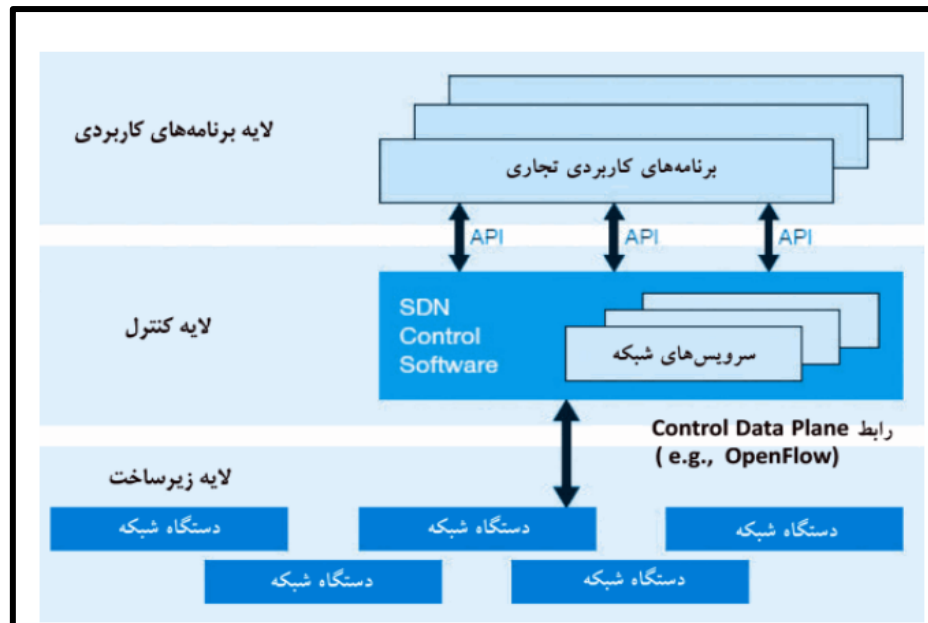
استانداردسازی پروتکل OpenFlow و همچنین توسعه برخی کنترل‌کننده‌های متن‌باز شبکه مبتنی بر نرم‌افزار مانند ONOS بر عهده بنیاد ONF می‌باشد. استاندارد OpenFlow توسط بنیاد شبکه آزاد (ONF) تنظیم شده است. اولین نسخه از آن در سال ۲۰۰۸ و در دانشگاه استنفورد تهیه شده و نسخه ۱.۳ آن در سال ۲۰۱۲ توسط ONF ارائه شده است. حدود پنج سال از ارائه آخرین نسخه OpenFlow می‌گذرد و در این مدت، سازندگانی که از فناوری شبکه مبتنی بر نرم‌افزار استفاده کرده‌اند در مورد واسط جنوبی (واسط بین دستگاه‌های انتقال و کنترل‌کننده) تنها به OpenFlow اکتفا نکرده‌اند و از پروتکل‌های دیگری نیز استفاده کرده‌اند تا از سخت‌افزارهایی که قابلیت ارسال بر اساس OpenFlow را ندارند نیز استفاده کنند. پروتکل OpenFlow پروتکل استاندارد و معمول واسط جنوبی در شبکه مبتنی بر نرم‌افزار می‌باشد. هرچند OpenFlow مزایای بسیاری دارد، فعلاً با مشکلاتی نظیر امنیت و مقیاس‌پذیری نیز مواجه است. همچنین مهم‌ترین مشکل این است که سازندگان تجهیزات باید سوئیچ‌های ویژه برای پشتیبانی از OpenFlow طراحی کنند. باوجود این که بسیاری از سازندگان، تجهیزات مبتنی بر OpenFlow را تولید کرده‌اند، بسیاری نیز از پروتکل‌های دیگری مانند MPLS و NETCONF برای واسط جنوبی شبکه مبتنی بر نرم‌افزار استفاده می‌کنند.

۲-۴- معماری و اجزای شبکه مبتنی بر نرم‌افزار

در شکل ۱-۴ نمای کلی از معماری شبکه مبتنی بر نرم‌افزار نشان داده شده است که از سه لایه زیرساخت، لایه کنترل و لایه برنامه‌های کاربردی تشکیل شده است و در آن واسط‌های شمالی^۱ و جنوبی^۲ وظیفه برقراری ارتباط بین لایه‌ها را بر عهده دارند. واسط شمالی رابط بین برنامه‌های کاربردی شبکه و کنترل‌کننده‌ها است و واسط جنوبی رابط بین دستگاه‌های انتقال و کنترل‌کننده می‌باشد که از طریق پروتکل استاندارد مانند OpenFlow نحوه تعامل بین سطح داده و کنترل انجام می‌شود. به منظور تحقق بخشیدن به ایده شبکه مبتنی بر نرم‌افزار، دو عامل اساسی موردنیاز بود. اولاً باید یک معماری منطقی مشترک بین تمامی سوئیچ‌ها، مسیریاب‌ها و دیگر تجهیزات شبکه وجود می‌داشت و ثانیاً یک پروتکل امن بین شبکه مبتنی بر نرم‌افزار و تجهیزات شبکه موردنیاز بود. برای ایجاد این مفهوم پروتکل‌های زیادی از جمله IETF, Ethan, Ipsilon و OpenFlow مطرح شدند [۳، ۱].

¹ Northbound Application Programming Interface

² Southbound Application Programming Interface



شکل ۱-۴ نمای کلی از معماری شبکه مبتنی بر نرم‌افزار [۳]

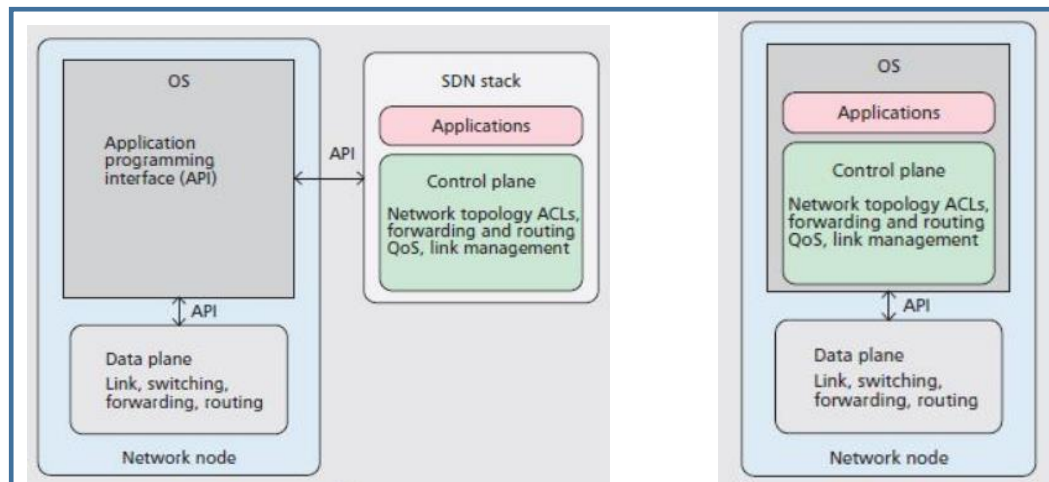
در ادامه، هر سه لایه موجود در معماری شبکه مبتنی بر نرم‌افزار به تفکیک ارائه خواهد شد.

۴-۲-۱- لایه زیرساخت

لایه زیرساخت شامل دستگاه‌های شبکه مانند سوئیچ، مسیریاب و سوئیچ مجازی^۱، نقاط دسترسی^۲ و غیره است که این دستگاه‌ها مسئول جمع‌آوری وضعیت شبکه، ذخیره آن در دستگاه‌های محلی و ارسال آن به کنترل‌کننده‌ها هستند. همچنین آن‌ها بسته‌های داده را طبق قوانینی که توسط کنترل‌کننده ارائه می‌شود، پردازش می‌کنند. تجهیزات شبکه می‌توانند از طریق خطوط انتقال سیمی، امواج رادیویی و فیبر نوری به یکدیگر متصل شوند.

^۱ Virtual Switch

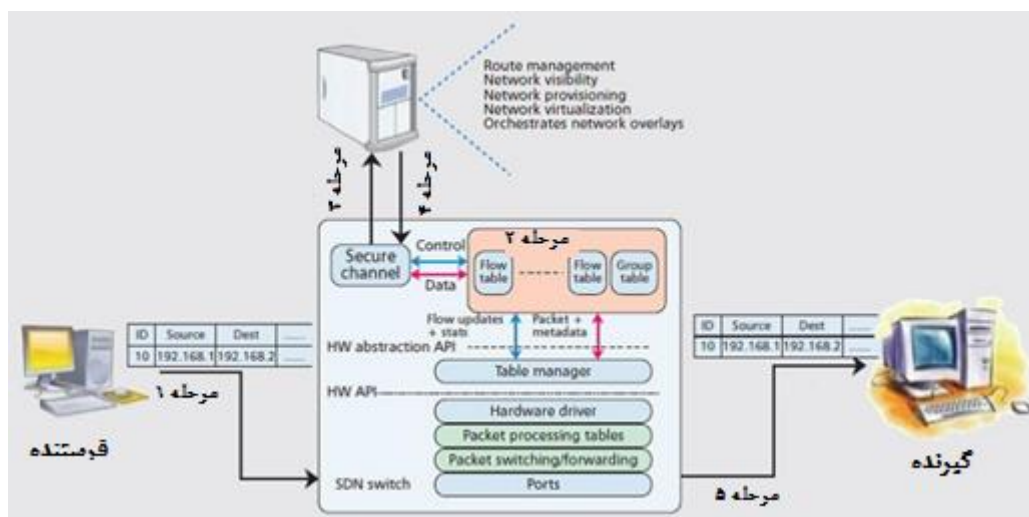
^۲ Access Point



شکل ۲-۴ نمای کلی از تجهیزات شبکه سنتی (سمت راست) و شبکه SDN (سمت چپ) [۳]

در شبکه‌های سنتی همان‌طور که در نیز شکل ۴-۲ نشان داده شده است لایه کنترل و داده در یک گره شبکه قرار دارند. وظیفه لایه کنترل، پیکربندی گره‌ها و برنامه‌ریزی مسیرها برای عبور جریان‌های داده می‌باشد. سپس با استفاده از این اطلاعات کنترلی ارسال داده در سطح سخت‌افزار انجام می‌شود. در روش سنتی وقتی که مدیریت جریان تنظیم شود، تنها راه برای تنظیم مجدد، ایجاد تغییر در پیکربندی دستگاه‌های سخت‌افزاری است. این موضوع برای مدیران شبکه عاملی بسیار محدودکننده است زیرا آنان تمایل به تغییر مشخصات شبکه در قبال تغییر ترافیک شبکه دارند. اما در روش شبکه مبتنی بر نرم‌افزار، کنترل جریان از سطح سخت‌افزاری در گره‌های شبکه خارج شده و به صورت متمرکز و جداگانه توسط یک کنترل‌کننده بر عهده گرفته می‌شود. سوییچ‌های شبکه مبتنی بر نرم‌افزار توسط یک سیستم عامل شبکه مدیریت می‌شوند که اطلاعات را توسط واسطه‌های برنامه‌ریزی کاربردی^۱ (API) جمع‌آوری می‌کند و به وسیله آن‌ها لایه داده را ایجاد می‌نماید. سپس یک مدل از پیکره‌بندی شبکه را در اختیار کنترل‌کننده شبکه مبتنی بر نرم‌افزار قرار می‌دهد. بنابراین کنترل‌کننده می‌تواند از تمامی اطلاعات شبکه به منظور بهینه‌سازی جریان داده و تأمین نیازهای کاربر استفاده کند. به عنوان مثال می‌توان پهنای باند شبکه را به صورت پویا به لایه داده تخصیص داد.

¹ Application Programming Interface



شکل ۳-۴ اجزای سوئیچ باز در شبکه مبتنی بر نرم‌افزار [۳]

همان‌طور که در شکل ۳-۴ نشان داده شده است سوئیچ‌ها در شبکه مبتنی بر نرم‌افزار سخت‌افزارهایی هستند که فقط برای انتقال بسته استفاده می‌شوند و از طریق ارتباطی باز مانند OpenFlow با کنترل‌کننده در ارتباط هستند. این سوئیچ‌ها از سه قسمت تشکیل شده‌اند:

- یک یا چند جدول جریان که برای نگهداری مسیر ارسال بسته‌ها به کار می‌روند.
- یک کانال امن که سوئیچ را به کنترل‌کننده متصل می‌کند و تبادل بسته و دستورات بین سوئیچ و کنترل‌کننده انجام می‌شود.
- پروتکل OpenFlow که یک پروتکل باز و استاندارد می‌باشد و واسطه بین کنترل‌کننده و سوئیچ است.

در شکل ۳-۴ وقتی که اولین بسته از یک جریان جدید وارد سوئیچ می‌شود (گام ۱) سوئیچ ابتدا به دنبال یک دستورالعمل برای بسته دریافتی در حافظه شبکه مبتنی بر نرم‌افزار می‌گردد (گام ۲) اگر دستوری منطبق با بسته دریافتی پیدا کند، با کنترل‌کننده ارتباط برقرار کرده و آن را اجرا می‌کند (گام ۳ و ۴) و سپس بسته‌ها را به گیرنده ارسال می‌نماید (گام ۵) [۱ و ۳].

۴-۲-۲-۴-لایه‌ی کنترل

این لایه میان کاربردها و سطح داده قرار دارد که با آن‌ها به ترتیب توسط واسطه شمالی و واسطه جنوبی ارتباط برقرار می‌کند. کنترل‌کننده دارای یک سیستم عامل شبکه می‌باشد که کنترل سخت‌افزار را برعهده گرفته و هم‌چنین مدیریت خودکار شبکه را تسهیل می‌کند. این سیستم عامل، یک واسطه قابل برنامه‌ریزی متمرکز و

یکپارچه را برای کل شبکه فراهم می‌سازد. کنترل‌کننده مسئول مدیریت جریان‌های ترافیک بوده و برای مسیریابی و ارسال جریان‌ها و دور انداختن بسته‌ها تصمیم می‌گیرد. دو مؤلفه‌ی لایه‌ی کنترل عبارت‌اند از:

- کاربردها که شامل تعدادی نرم‌افزار مختلف برای وظایف مختلف از اندازه‌گیری تا نظارت شبکه است،

- سیستم‌عامل که به‌عنوان کنترل‌کننده شبکه مبتنی بر نرم‌افزار عمل می‌کند.

یک شبکه می‌تواند بیش از یک کنترل‌کننده داشته باشند. برای مثال هرکدام می‌توانند مسئول کنترل بخشی از شبکه باشند. در این صورت یک کنترل‌کننده اصلی مسئول کنترل و هماهنگی میان این کنترل‌کننده خواهد بود. واسط شمالی، رابط بین کاربردهای شبکه مبتنی بر نرم‌افزار و کنترل‌کننده است که یک واسط برنامه‌ریزی کاربردی برای کنترل و مدیریت کاربردها فراهم می‌کند.

واسط برنامه‌ریزی کاربردی، واسطی است که توسط یک نرم‌افزار (مانند سیستم‌عامل شبکه) ارائه می‌شود و توانایی ایجاد تغییرات و جمع‌آوری اطلاعات روی مجموعه‌ای از منابع موجود را فراهم می‌کند. برخلاف واسط جنوبی، برای واسط شمالی استاندارد وجود ندارد. البته از واسط‌های مشهور REST¹ در این زمینه بسیار استفاده شده است. این واسط، بر پایه فناوری REST که دارای سبک معماری استفاده از سرویس‌های وب برای ارتباط هست می‌باشد.

۴-۲-۳- لایه‌ی کاربرد

این لایه وظیفه‌ی کنترل نرم‌افزارهای مرتبط تجاری و کاربردهای امنیت را بر عهده دارد. مجازی‌سازی شبکه^۲، سیستم‌های جلوگیری نفوذ^۳ (IPS)، سیستم‌های تشخیص نفوذ^۴ (IDS)، پیاده‌سازی فایروال و مدیریت جابجایی برخی مثال‌های کنترل کاربردها در این لایه است.

با استفاده از کنترل متمرکز در شبکه مبتنی بر نرم‌افزار، همه‌ی المان‌های شبکه مانند مسیریاب، سوئیچ و فایروال به‌صورت نرم‌افزاری قابل پیکربندی مجدد در زمان کوتاه‌تر هستند. این ویژگی به شبکه کمک می‌کند تا پاسخ فوری به تغییرات الگوی ترافیک بدهد و مسیر جریان‌ها را برای بهبود عملکرد، بهره‌وری انرژی و امنیت بهتر به‌صورت پویا سازمان‌دهی کند. در شبکه‌های مرسوم سنتی تغییرات شبکه وابسته و نیازمند به سازندگان تجهیزات شبکه است. جدا بودن لایه‌های شبکه مبتنی بر نرم‌افزار مشخصه‌ی مهمی است که موجب از بین رفتن وابستگی نرم‌افزار و سخت‌افزار هر یک از المان‌های شبکه می‌شود. در نتیجه تغییرات موردنیاز المان‌ها به

¹ REpresentational State Transfer

² Network Virtualization

³ Intrusion Prevention System

⁴ Intrusion Detection System

دلیل ظهور سرویس‌های جدید و متنوع به سازندگان وابسته نخواهد بود. این موضوع مجازی‌سازی در شبکه‌های مبتنی بر شبکه مبتنی بر نرم‌افزار را تسهیل می‌کند، که به این ترتیب امکان به اشتراک‌گذاری زیرساخت فیزیکی میان چند کاربر و چند اپراتور به وجود می‌آید [۴].

۳-۴- مزایای شبکه مبتنی بر نرم‌افزار

مزایای استفاده از شبکه مبتنی بر نرم‌افزار در یک شبکه را می‌توان به‌طور کلی در موارد زیر خلاصه نمود [۵].

• مدیریت خلاقانه

استفاده از شبکه مبتنی بر نرم‌افزار راه را برای کاربردهای جدید و خلاقانه برای مدیران شبکه باز می‌کند. کنترل دائمی پیکره‌بندی شبکه با استفاده از این روش ممکن می‌شود و می‌توان کنترل دسترسی در کل شبکه، مدیریت انرژی، و غیره را در هر زمان به‌صورت لحظه‌ای مدیریت کرد. علاوه بر این، قابلیت برنامه‌ریزی شبکه مبتنی بر نرم‌افزار امکان ارتباط مداوم را در همه سطوح فراهم می‌آورد.

• کاهش هزینه‌های نیروی انسانی و مصرفی

تا قبل از ورود شبکه مبتنی بر نرم‌افزار، عموماً نصب و راه‌اندازی شبکه نیازمند تخصص و مهارت بالا و همچنین دقت عمل بالایی برای جلوگیری از خطای انسانی بود. هنگامی که برقراری ارتباط بین گره‌های شبکه پیچیده می‌شود به راهکاری جامع‌تر و اصولی‌تر برای حل مشکلات شبکه نیاز است. این کار با استفاده از روش‌های موجود برنامه‌ریزی و مدیریت که روی اکثر سیستم‌های شبکه فعلی قابل اجراست کاری بسیار سخت است. به‌علاوه هزینه‌های نصب و استفاده از سیستم‌های پیچیده و دارای چندین فناوری مختلف، در سال‌های اخیر سیر صعودی داشته است. همچنین با افزایش هزینه نیروی انسانی و هزینه‌های مصرفی شبکه باید به دنبال راهکاری تازه برای کاهش هزینه‌های مدیریتی بود که قابل استفاده در سیستم‌های چند دامنه‌ای باشد.

• عملکرد پویا و آنی

به علت استفاده روزافزون از محیط‌های پویا و مجازی در مراکز داده، ترافیک اطلاعات غیرقابل پیش‌بینی‌تر شده است. بنابراین کنترل دستی این سیستم‌ها عملاً غیرممکن می‌باشد. این سیستم‌ها از ضعف در پاسخگویی به نیازهای پویای شبکه رنج می‌برند. شبکه مبتنی بر نرم‌افزار معماری نوینی را برای این سیستم‌های پویا طراحی کرده است که می‌تواند در لحظه تغییرات موردنیاز شبکه را اعمال کند.

• پایداری و قابلیت اطمینان بالا

پایداری بالا یکی از عوامل اصلی در اطمینان از عملکرد مناسب و مداوم شبکه است. زیرساخت شبکه باید قادر به تشخیص سریع هرگونه ناهماهنگی در مسیر باشد و بتواند به‌سرعت در هنگام بروز خطا مسیر جایگزین را

انتخاب کند و به سرعت مسیر معیوب را رفع عیب و راه‌اندازی مجدد نماید. زیرساخت شبکه مبتنی بر نرم‌افزار با پایداری بالا، به صورت لحظه‌ای تمامی اجزای شبکه را بررسی می‌کند و در صورت تشخیص عیب در هر نقطه از شبکه مانند مسیر داده، افت کیفیت لینک‌ها، عدم تعادل در ترافیک و غیره تمامی تغییرات را به صورت از پیش برنامه‌ریزی شده و در همان لحظه انجام می‌دهد تا همواره پایداری و کیفیت شبکه تضمین شده باشد.

• مسیر یابی هوشمند

محاسبه مسیر یکی از مهم‌ترین عوامل برای مهندسی ترافیک شبکه است. با استفاده از شبکه مبتنی بر نرم‌افزار مسیر صحیح به سرعت شناسایی می‌گردد و ترافیک از بهینه‌ترین مسیر عبور داده می‌شود. با استفاده از این معماری امکان استفاده از الگوریتم‌های جدید مسیریابی و سوییچ به صورت لحظه‌ای در شبکه وجود دارد.

۴-۴- معایب شبکه مبتنی بر نرم‌افزار

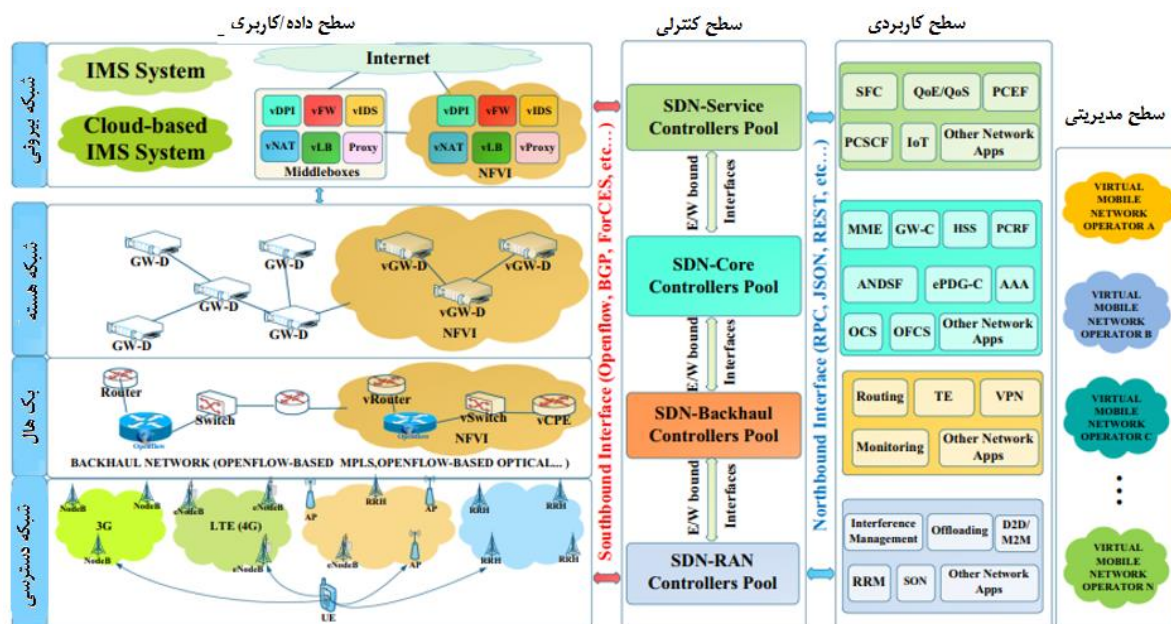
یک شبکه مبتنی بر شبکه مبتنی بر نرم‌افزار نیاز به یک سری کنترل‌کننده دارد و در بقیه ادوات نیز باید سطح کنترلی تغییر کند و ادوات ساده‌تری طراحی شوند. در کل نیاز است تا طراحی همه ادوات شبکه به گونه‌ای تغییر کنند که این نیازمند یک صرف هزینه و زمان است. یک سری از چالش‌های فنی نیز وجود دارد مانند امنیت شبکه‌های مبتنی بر نرم‌افزار، نحوه محاسبه کیفیت شبکه (QoS)^۱، بهینه‌سازی تعادل بار شبکه و مقیاس‌پذیری که برای هر یک راه‌حل‌هایی نیز ارائه شده است [۵].

۴-۵- شبکه مبتنی بر نرم‌افزار در شبکه موبایل

با ورود فناوری شبکه مبتنی بر نرم‌افزار و مجازی‌سازی به شبکه موبایل، معماری جدیدی برای شبکه موبایل معرفی شده است. شبکه موبایل مبتنی بر مجازی‌سازی و SDN که به SDVMN^۲ مشهور هست در شکل ۴-۴ نمای کلی از معماری شبکه موبایل مجهز شده به فناوری SDN و مجازی‌سازی ارائه شده است. در این شکل، نحوه استفاده از فناوری SDN و مجازی‌سازی در شبکه موبایل ارائه شده است.

^۱ Quality of Service

^۲ SDN and Virtualization-Based Mobile Network



شکل ۴-۴ نمای کلی از معماری شبکه موبایل مجهز شده به فناوری SDN و مجازی‌سازی

در شبکه دسترسی رادیویی ناهمگن، فناوری‌های دسترسی متفاوتی مانند وای فای، GSM، UMTS و LTE بکار گرفته می‌شود. این شبکه‌های دسترسی می‌توانند قابل برنامه‌نویسی باشند به نحوی که مجموعه‌ای از کنترل‌کننده‌های شبکه دسترسی رادیویی مبتنی بر نرم‌افزار بتوانند بر آن‌ها نظارت داشته باشند.

در شبکه بک‌هال که اتصال بین شبکه دسترسی و شبکه هسته را برقرار می‌سازد غالباً از تجهیزات MPLS یا تجهیزات نوری استفاده می‌شود. با به‌کارگیری مفهوم شبکه مبتنی بر نرم‌افزار می‌توان از تجهیزات با قابلیت برنامه‌نویسی استفاده نمود؛ این تجهیزات می‌توانند به سوییچ‌های مجازی یا مسیریاب‌های مجازی که بر روی ماشین مجازی در یک سیستم رایانش ابری محقق شده است نیز تخصیص داده شوند.

در شبکه هسته نیز استفاده از فناوری شبکه مبتنی بر نرم‌افزار، به ساده‌سازی درگاه‌ها می‌انجامد؛ این درگاه‌ها که به GW-D مشهور می‌باشند می‌توانند به صورت مجازی باشند و برنامه‌نویسی آن‌ها از طریق کنترل‌کننده‌های هسته و توسط واسط‌های برنامه‌نویسی باز انجام شود. این درگاه‌ها، شبکه‌های بیرونی و شبکه موبایل را محقق می‌سازند. از مزایای استفاده از این نوع درگاه‌ها می‌توان به مقیاس‌پذیر شدن و ضمانت در دسترس بودن خدمات برای کاربران اشاره کرد.

شبکه بیرونی در شکل مذکور می‌تواند اینترنت یا سیستم IMS باشد که سرویس را برای کاربران مهیا می‌سازد. دیتای کاربر قبل از جاری شدن به سمت اینترنت باید از مجموعه‌ای از جعبه‌های میانی^۱ که در پشت واسط SGI-LAN می‌باشند می‌گذرد. این جعبه‌های میانی، تضمین امنیت یا بهینه‌سازی اجرا و تسهیل دسترسی از

¹ middlebox

راه دور را محقق می‌سازند. دیوارهای آتش، متعادل‌کننده‌های بار و بهینه‌سازهای WAN نمونه‌هایی از این موارد هستند [۷].

از دید شبکه دسترسی رادیویی، در نسل پنجم موبایل، نرم‌افزاری شدن شبکه باعث هماهنگ‌سازی استفاده از منابع رادیویی و مدیریت کارآمد به اشتراک‌گذاری طیف فرکانسی خواهد شد. افزایش پیچیدگی در شبکه دسترسی رادیویی نسل پنجم، نیاز به طراحی جدید شبکه را ایجاد می‌کند. از آنجایی که در شبکه نسل پنجم از باندهای فرکانسی جدید و دسترسی طیفی منعطف استفاده خواهد شد شبکه دسترسی رادیویی مبتنی بر نرم‌افزار می‌تواند با استفاده از مکانیسم‌های آگاهی از طیف، جابجایی طیف و پیاده‌سازی مؤثر استراتژی‌های به اشتراک‌گذاری طیف در شبکه، طیف را به‌صورت کارآمدی مدیریت نماید. شبکه مبتنی بر نرم‌افزار می‌تواند نقش مهمی در مدیریت پیچیدگی در شبکه دسترسی نسل پنجم باشد. به دلیل وجود عملیات مدیریت منابع رادیویی بین سلول‌ها، لایه دسترسی پیچیدگی زیادی دارد. افزایش تراکم سلول‌های کوچک باعث ارتقا دسترسی‌پذیری کاربران می‌شود لکن سناریوی تداخلی پیچیده‌تری را نیز موجب می‌شود، همین‌طور لایه دسترسی برای پشتیبانی از قابلیت‌هایی چون CoMP یا MIMO و یا در حالت کلی پردازش سیگنال‌های هماهنگ شده می‌تواند به مقدار زیادی به هماهنگ‌سازی عملیات در سطح شبکه متکی باشد.

پیچیدگی در شبکه دسترسی رادیویی ناهمگن می‌تواند از عملیات جدول‌بندی پویای منابع بی‌سیم ناشی شود. در مورد عملیات تخصیص فرکانس منعطف شبکه LTE (موبایل نسل چهارم)، جدول‌بندی زمانی و فرکانس به‌هم‌پیوسته، روشی لازم برای ایجاد منابع رادیویی و تقلیل تداخل بین سلولی به حساب می‌آید لکن این روش برای ماکروسل‌ها تعبیه‌شده است و قابل بسط به سلول‌های کوچک متراکم نیست. شبکه مبتنی بر نرم‌افزار در شبکه دسترسی رادیویی می‌تواند طرح‌های هماهنگ‌سازی منعطف‌تری را به همراه آورد و مجازی‌سازی منابع رادیویی در سطح شبکه می‌تواند هماهنگ‌سازی گره، تحرک پذیری بین سلول‌ها، فراهم‌سازی منابع را ارتقا دهد [۸].

از دید شبکه بک‌ها، از آنجایی که پیاده‌سازی شبکه بک‌ها بسیار هزینه‌بر است، تجهیزات بک‌ها مجهز به فناوری SDN و مجازی‌سازی می‌توانند منجر به کاهش هزینه پیاده‌سازی شوند. برش زیرساخت شبکه بک‌ها باعث می‌شود منابع شبکه را بتوان بین چند اپراتور به اشتراک گذاشت و در شرایط ازدحام یا ترافیک سنگین، ترافیک داده از یک اپراتور به اپراتور دیگر را به‌راحتی تغییر مسیر داد.

در قسمت هسته شبکه، استفاده از شبکه مبتنی بر نرم‌افزار، باعث ساده شدن فرآیند مدیریت شبکه و پیکره‌بندی راحت‌تر شبکه می‌شود. استفاده از کنترل‌کننده مرکزی منجر به کنترل دقیق‌تر کیفیت خدمات منطبق بر نیازمندی‌های سرویس و ویژگی‌های مشترکین خواهد شد.

در بخش شبکه بیرونی نیز استفاده از فناوری SDN منجر به کنترل ترافیک از طریق مجموعه‌ای از جعبه‌های میانی خواهد شد که انعطاف بیشتری در ارائه سرویس از شبکه موبایل برای اینترنت را به همراه خواهد داشت [۷].

۴-۶- جمع‌بندی

برای این که شبکه بتواند قابلیت اطمینان، پایداری، بازدهی بالایی داشته باشد باید بتواند به صورت آنلاین و با تأخیر بسیار کمی اجزاء شبکه را مورد بررسی قرار داده و کنترل کند. به همین دلیل انتقال سریع داده‌های کنترلی از اهمیت بالایی برخوردار است. با رشد روزافزون ترافیک کاربران و افزایش حجم داده‌های کنترلی، پیاده‌سازی فناوری شبکه مبتنی بر نرم‌افزار در شبکه امری اجتناب‌ناپذیر است. در این فصل مزایا و معایب فناوری در کنار معماری و استانداردسازی آن مورد بررسی قرار گرفته است. مدیریت خلاقانه شبکه، کنترل لحظه‌ای و پویای شبکه، دستیابی به قابلیت اطمینان و پایداری بالا در شبکه همگی از مزایای استفاده از این فناوری می‌باشند. از معایب اصلی شبکه مبتنی بر نرم‌افزار می‌توان به سختی پیاده‌سازی سخت‌افزارهای سازگار جدید، هزینه مضاعف آن‌ها و همچنین کنار گذاشتن تجهیزات موجود، اشاره کرد.

در زمینه استانداردسازی، پروتکل OpenFlow پروتکل استاندارد و معمول واسط جنوبی در شبکه مبتنی بر نرم‌افزار می‌باشد. هرچند OpenFlow مزایای بسیاری دارد، فعلاً با مشکلاتی نظیر امنیت و مقیاس‌پذیری نیز مواجه است. همچنین مهم‌ترین مشکل این است که سازندگان تجهیزات باید سوئیچ‌های ویژه برای پشتیبانی از OpenFlow طراحی کنند. با وجود این که بسیاری از سازندگان، تجهیزات مبتنی بر OpenFlow را تولید کرده‌اند، بسیاری نیز از پروتکل‌های دیگری مانند MPLS و NETCONF برای واسط جنوبی شبکه مبتنی بر نرم‌افزار استفاده می‌کنند. در مورد واسط شمالی هنوز پروتکل استاندارد وجود ندارد. علاوه بر این، فناوری شبکه مبتنی بر نرم‌افزار، به جز در مراکز داده هنوز به بلوغ کافی نرسیده است و پیاده‌سازی فناوری‌هایی مانند برش انتها به انتها در شبکه نیازمند بلوغ نسبی فناوری شبکه مبتنی بر نرم‌افزار در قسمت‌های مختلف شبکه دسترسی رادیویی، انتقال و هسته دارد.

۴-۷- مراجع

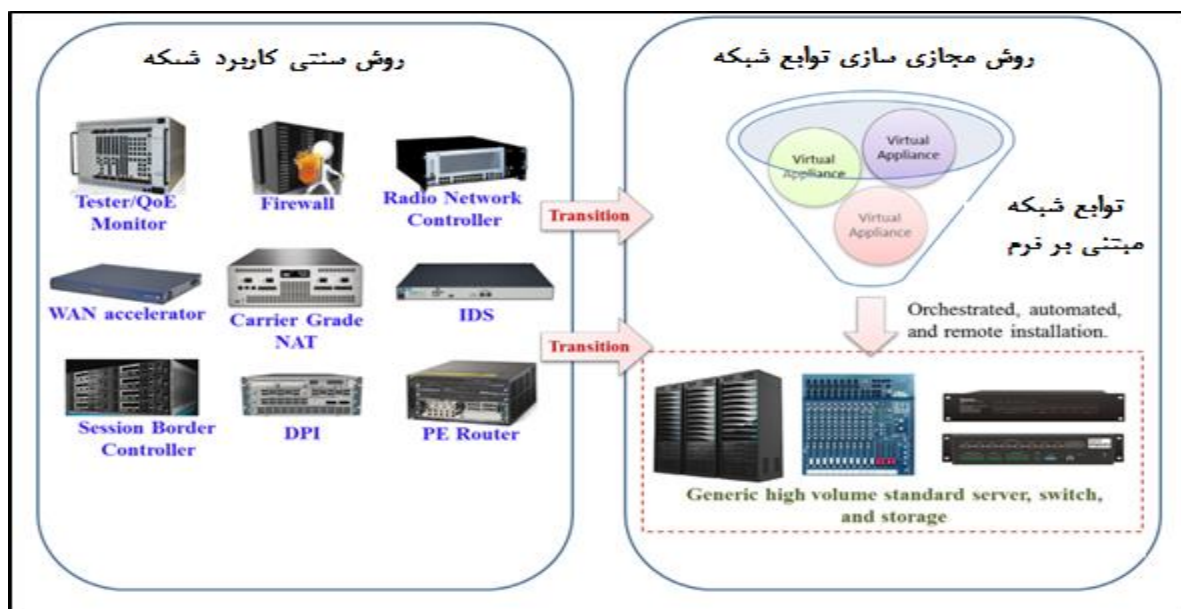
- [1] گزارش مرحله دوم پروژه "آینده پژوهی - شناسایی فناوری‌های نوظهور ICT برای حل چالش‌های ساختارهای نوین صنعت برق"، گروه فناوری اطلاعات و ارتباطات، پژوهشگاه نیرو، ۱۳۹۸
- [2] Schaller, S. and Hood, D., "Software defined networking architecture standardization. Computer standards & interfaces", 54, pp.197-202, 2017
- [3] S. badotra and J. Singh, "A Review Paper on Software Defined Networking", International Journal of Advanced Research in Computer Science, vol. 8, no. 3, pp. 29-36, 2017.

- [4] D. B. Rawat and S. R. Reddy, "Software defined networking architecture, security and energy efficiency: A survey", IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 19, no. 1, pp. 325-346, 2017.
- [5] <https://enegar.com/software-defined-network/معرفی-شبکه-برپایه-نرم-افزار>
- [6] Z. Lu, C. Sun, J. Cheng, Y. Li, Y. Li, and X. Wen, "SDN-Enabled Communication Network Framework for Energy Internet", Journal of Computer Networks and Communications, vol. 2017, Article ID 8213854, 13 pages, 2017.
- [7] Nguyen, Van-Giang, Truong-Xuan Do, and YoungHan Kim. "SDN and virtualization-based LTE mobile network architectures: A comprehensive survey.", Wireless Personal Communications 86.3 (2016): 1401-1438.
- [8] Trivisonno, Riccardo, et al. "Towards zero latency software defined 5G networks." 2015 IEEE International Conference on Communication Workshop (ICCW). IEEE, 2015.

فصل ۵- فناوری مجازی‌سازی توابع شبکه (NFV)

این فناوری یک روش جدید برای طراحی، به‌کارگیری و مدیریت سرویس‌های شبکه با استفاده از جداسازی تجهیزات فیزیکی شبکه از عملکرد و توابعی است که روی آن‌ها اجرا می‌شود. این کار باعث می‌شود سخت‌افزارهای متمرکز مخصوص شبکه با نرم‌افزارهایی که بر روی پردازشگرهای عمومی یا ماشین‌های مجازی اجرا می‌شوند، جایگزین شوند. به این ترتیب بسیاری از هزینه‌های عملیاتی^۱ و سرمایه‌ای^۲ کاهش می‌یابد. شکل ۵-۱، جایگزینی عملکرد تجهیزات از سخت‌افزارهای شبکه به شبکه مجهز به فناوری مجازی‌سازی توابع شبکه نشان داده شده است. درواقع، این فناوری به کمک فناوری‌های مجازی‌سازی و همچنین سخت‌افزارهایی با قابلیت برنامه‌پذیری^۳ تجاری (مانند سخت‌افزارهای ذخیره‌سازی، سوئیچ‌ها و سرورها)، امکان این را ایجاد می‌کند که مجازی‌سازی توابع شبکه با تفکیک اجزای نرم‌افزاری توابع شبکه از سخت‌افزار انجام شود. به این توابع، توابع مجازی شبکه^۴ (VNFs) گفته می‌شود.

باوجودی که این فناوری، با هدف کاهش زمان عرضه سرویس‌های جدید و منعطف‌تر کردن فراهم‌آوری سرویس‌های شبکه به بازار پیشنهاد شده است لکن چالش‌های زیادی مانند تضمین عملکرد شبکه برای تجهیزات مجازی، ایجاد و انتقال پویای توابع شبکه و همچنین زنجیره‌سازی توابع برای اپراتورها را نیز به دنبال دارد [۲۰،۱].



شکل ۵-۱ جایگزینی عملکرد تجهیزات از سخت‌افزار آن‌ها توسط شبکه مجهز به فناوری مجازی‌سازی توابع شبکه [۳]

¹ Operating Expense (OPEX)

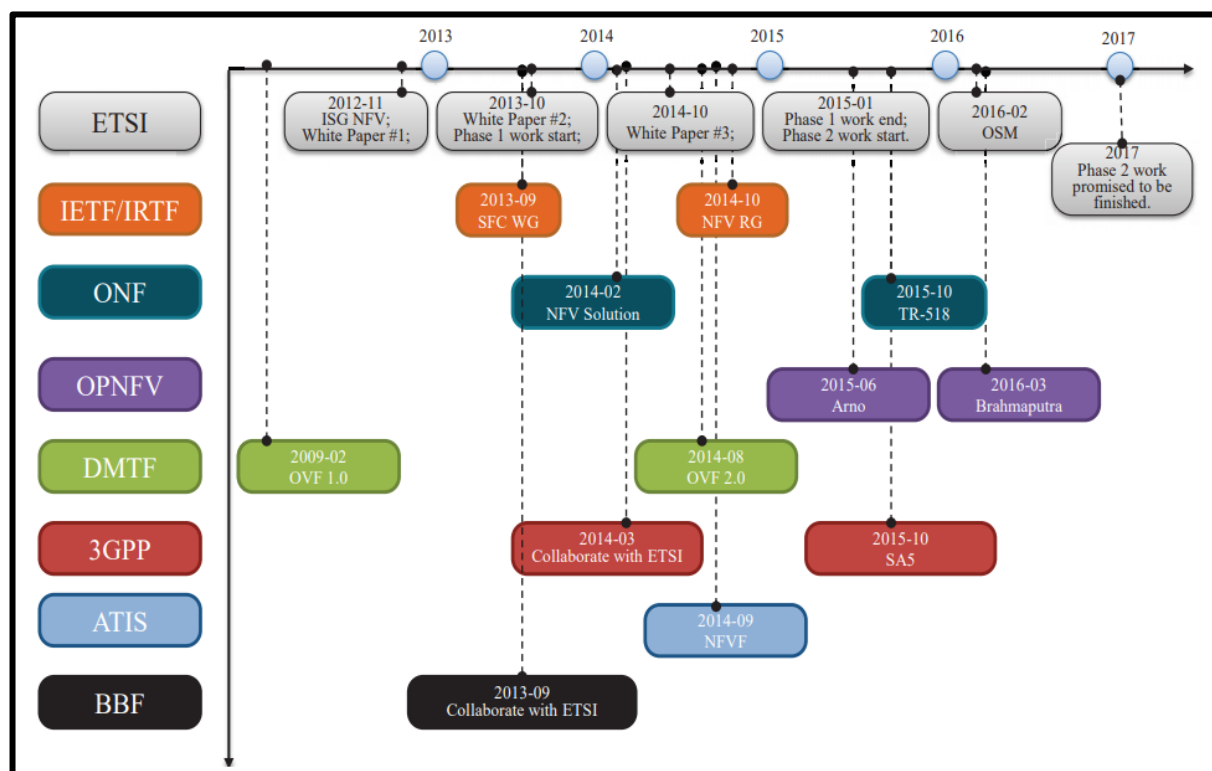
² Capital Expense (CAPEX)

³ Programmability

⁴ Virtual Network Functions

۵-۱- استانداردسازی فناوری مجازی‌سازی توابع شبکه

فعالیت‌های متعددی در حوزه استانداردسازی این فناوری انجام شده است که در شکل ۵-۲ به آن اشاره شده است. همان‌طور که در شکل مشخص است همگی فعالیت‌ها در راستای هماهنگی با مؤسسه استانداردسازی ETSI می‌باشد و معماری اصلی توسط کارگروه NfV ISG ETSI ارائه شده است. همان‌طور که از شکل ۵-۲ مشخص است مؤسسات ONF، OPNFV، DMTF، 3GPP، ATIS و BBF همگی در استانداردسازی این فناوری تأثیرگذار یا تأثیرپذیر بوده‌اند. به‌طور مثال مؤسسه ONF که تمرکز اصلی آن بر روی شبکه مبتنی بر نرم‌افزار و پروتکل openflow می‌باشد به دلیل اینکه فناوری مجازی‌سازی توابع شبکه به‌طور حتم روی شبکه‌بندی‌های آتی تأثیر خواهد گذاشت نگاهی بر این فناوری داشته است و راه‌حلهایی برای نحوه فعال‌سازی این فناوری در شبکه مبتنی بر نرم‌افزار ارائه نموده است. نمونه دیگر، پروژه OPNFV می‌باشد که یکی از اهداف آن، سهولت توسعه سرویس‌ها و محصولات مجازی‌سازی توابع شبکه می‌باشد. این پروژه با تجمیع کردن فعالیت‌های سایر پروژه‌های منبع-آزاد^۱ و سازندگان تجهیزات و بدنه‌های استاندارد بر ایجاد پلتفرم مجازی‌سازی توابع شبکه استاندارد و باز برای صنایع تمرکز دارد [۲].



شکل ۵-۲ فعالیت‌های استانداردسازی SDOهای مختلف و رخدادهای اصلی فناوری مجازی‌سازی توابع شبکه [۲]

¹ open-source

۲-۵- معماری و اجزای مجازی‌سازی توابع شبکه

این فناوری در کارگروه NFV ISG^۱ مؤسسه استانداردسازی مخابرات اروپا (ETSI) استانداردسازی شده است طبق معماری ETSI، مجازی‌سازی توابع شبکه شامل سه عنصر اصلی می‌باشد:

- زیرساخت مجازی‌سازی توابع شبکه^۲ (NFVI)
- مدیریت و هماهنگ‌سازی مجازی‌سازی توابع شبکه^۳ (MANO)
- توابع مجازی شبکه (VNFs)

معماری یک شبکه مجهز به فناوری مجازی‌سازی توابع شبکه در شکل ۳-۵ نشان داده شده است. قسمت زیرساخت مجازی‌سازی توابع شبکه^۴ (NFVI) مربوط به سطح داده می‌باشد که داده‌ها را ارسال کرده و منابع را برای اجرای سرویس‌های شبکه فراهم می‌نماید. این قسمت از سه بخش تشکیل شده است که عبارت‌اند از منابع سخت‌افزاری، منابع مجازی، ابزار مجازی‌سازی^۵.

بخش مدیریت و هماهنگ‌کننده شبکه^۶ (MANO) مربوط به سطح کنترل است که ارتباط‌ها را بین توابع شبکه مجازی مختلف و منابع هماهنگ‌کننده^۷ در NFVI ایجاد می‌کند.

بخش توابع مجازی شبکه مربوط به سطح کاربرد است که از توابع مجازی شبکه به‌عنوان برنامه‌های کاربردی استفاده می‌نماید. در ادامه هر یک از این بخش‌ها با جزئیات بیشتر ارائه شده است.

¹ NFV Industry Specification Group

² Network Function Virtualization Infrastructure

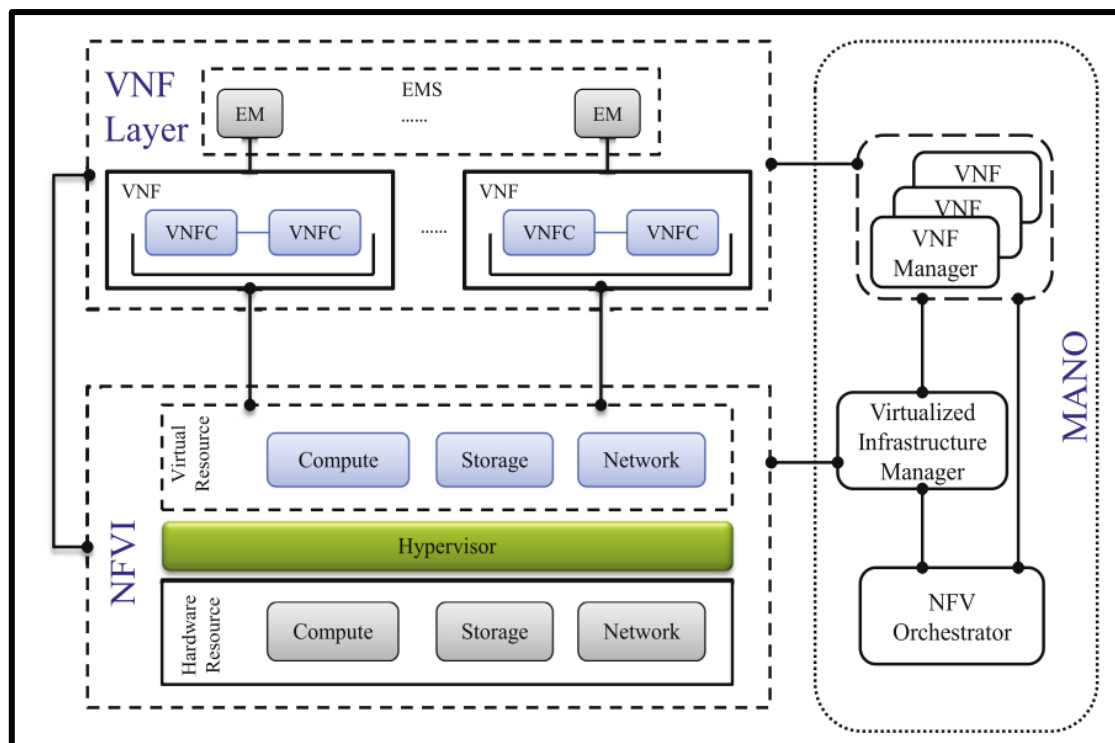
³ Network Function Virtualization Management and Orchestration

⁴ Network Function Virtualization Interface

⁵ Hypervisor

⁶ Management and Network Orchestration

⁷ Orchestrating



شکل ۳-۵ معماری شبکه مجهز به فناوری مجازی‌سازی توابع شبکه [۲]

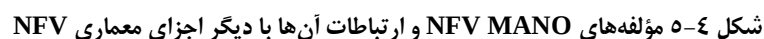
۱-۲-۵- مدیریت و هماهنگ‌سازی شبکه (MANO)

وظایف MANO شامل مکانیسم مجازی‌سازی، هماهنگ‌کننده منابع سخت‌افزار، مدیریت چرخه عمر نمونه‌های VNF، مدیریت واسطه‌های میان ماژول‌ها و ... می‌باشد. همه مسئولیت‌ها بین سه بلوک تقسیم شده است. سه بلوک اجرایی مدیریت زیرساخت مجازی شده (VIM^1)، هماهنگ‌کننده NFV ($NFVO^2$) و مدیریت توابع شبکه مجازی ($VNFM^3$) (گاهاً کنترل‌کننده شبکه مبتنی بر نرم‌افزار به‌عنوان بلوک چهارم MANO قید می‌شود) [۴].

¹ Virtualized Infrastructure Manager

² NFV Orchestrator

³ VNF Manager



عملیات هماهنگی منابع برای اطمینان از کافی بودن منابع محاسباتی، ذخیره‌سازی و شبکه‌ای برای تأمین یک سرویس شبکه اهمیت دارد. برای رسیدن به این هدف، بلوک NFVO می‌تواند با بلوک VIM و یا به‌صورت مستقیم با منابع NFVI بسته به نیازمندی‌ها و معماری آن‌ها تعامل کند. همچنین این بلوک باید توانایی همکاری، اعتبارسنجی، آزادسازی و درگیر کردن منابع NFVI مستقل از بلوک مدیریت زیرساخت مجازی شده را داشته باشد. بلوک NFVO نظارت بر به اشتراک‌گذاری منابع NFVI، توسط نمونه‌های VNF را نیز بر عهده دارد.

عملیات هماهنگی سرویس شبکه، وظیفه مدیریت و همکاری با دیگر مؤلفه‌ها برای ساختن سرویس‌های انتها به انتها را به عهده دارد که می‌توانند شامل VNF‌هایی از دامنه‌های مختلف VNFM باشند. عملیات هماهنگی سرویس شبکه این کار را در مراحل زیر انجام می‌دهد:

- این مؤلفه سرویس‌های انتها به انتها را بین VNF‌های متفاوت ایجاد می‌کند. این عمل توسط همکاری NFVO با VNFM‌های مربوطه صورت می‌گیرد و نیاز نیست تا به صورت مستقیم با VNF‌ها تعامل شود. برای مثال، ایجاد یک سرویس بین VNF‌های ایستگاه پایه^۱ یک سازنده و VNF‌های گره هسته سازنده دیگر، توسط هماهنگ‌سازی سرویس شبکه قابل انجام است.
- این مؤلفه توانایی مقداردهی اولیه و راه‌اندازی VNFM‌ها را نیز دارد.
- این مؤلفه مدیریت پیکره‌بندی نمونه‌های سرویس‌های شبکه (معروف به گراف‌های ارسال VNF^۲) را بر عهده دارد.

همان‌طور که در شکل ۴-۵ نشان داده شده است MANO علاوه بر سه بلوک مذکور، از چهار مخزن داده^۳ مشتمل بر کاتالوگ NS، کاتالوگ VNF، منابع NFVI و نمونه‌های NFV تشکیل شده است. این چهار مخزن داده‌ی وابسته به NFVO، اطلاعات موردنیاز برای عملیات مدیریت و هماهنگ‌سازی را نگهداری می‌کنند[۴]:

- **کاتالوگ سرویس‌های شبکه (NS Catalog^۴):** حاوی لیست سرویس‌های قابل استفاده شبکه می‌باشد. یک الگوی پیاده‌سازی برای یک سرویس شبکه به صورت تعدادی VNF و توضیحات اتصال آن‌ها به وسیله لینک‌های مجازی برای استفاده در آینده در NS Catalog قرار دارد.
- **کاتالوگ VNF:** پایگاه داده تمام توصیفگرهای VNF قابل استفاده است. یک توصیفگر VNF (VNFD^۵) یک VNF را در قالب پیاده‌سازی و رفتار عملیاتی آن توصیف می‌کند. این کاتالوگ توسط VNFM در فرایند راه‌اندازی اولیه و مدیریت چرخه عمر یک نمونه VNF به کار می‌رود. همچنین NFVO نیز از اطلاعات تأمین‌شده توصیفگر VNF برای مدیریت و هماهنگ‌سازی سرویس‌های شبکه و منابع مجازی روی NFVI استفاده می‌کند.
- **مخزن نمونه‌های NFV:** فهرستی حاوی جزئیات در مورد نمونه سرویس‌های شبکه و نمونه‌های VNF مربوط به آن‌ها می‌باشد.
- **مخزن منابع NFVI:** فهرست منابع NFVI هست که برای بهره‌برداری از سرویس‌های NFV برپاشده‌اند.

¹ Base Station

² VNF Forwarding Graph

³ Data Repository

⁴ Network Services Catalog

⁵ VNF Descriptor

۵-۲-۲- زیرساخت مجازی‌سازی توابع شبکه (NFVI)

لایه زیرساخت NFV (NFVI) شامل سخت‌افزار و همچنین نرم‌افزار مجازی‌سازی‌ای است که VNFها روی آن اجرا می‌شوند. این لایه صرفاً مسیری برای داده‌ها فراهم می‌کند و کاری به زمان‌بندی، هماهنگ‌سازی، تأمین، نظارت، تضمین سرویس و هوشمندسازی ندارد [۴].

پس از تبدیل توابع PNF^۱ شبکه به نرم‌افزار (همان VNFها)، آن‌ها نیاز به منابعی دارند که روی آن‌ها اجرا شوند. NFVI شامل منابع محاسباتی، شبکه‌ای و ذخیره‌سازی فیزیکی و مجازی است که VNFها می‌توانند از حداکثر توان این منابع استفاده کنند.

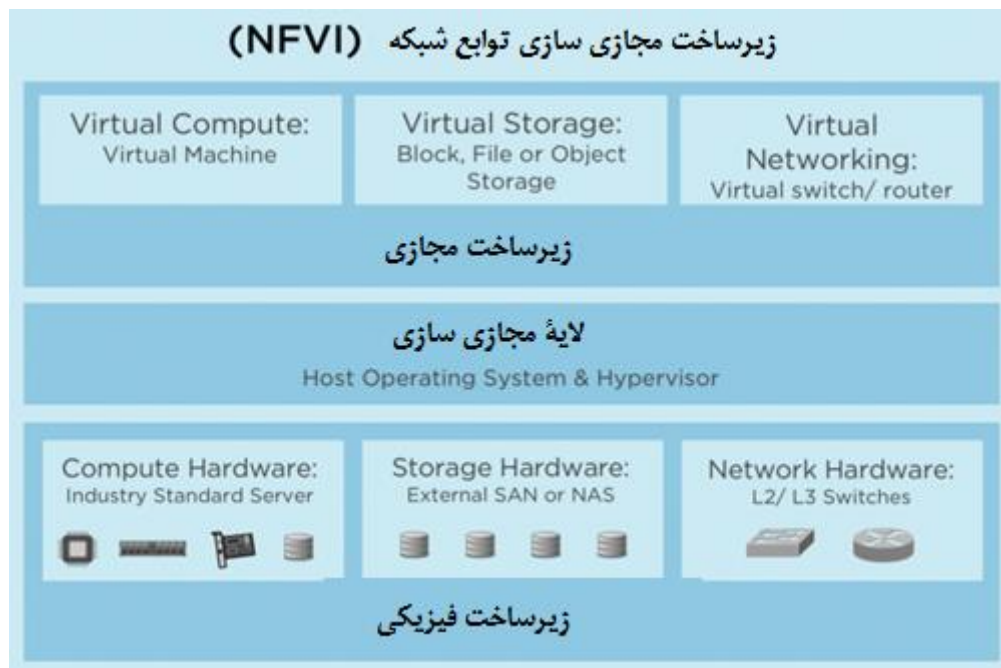
لایه NFVI با دو مؤلفه‌ی چارچوب NFV تعامل خواهد داشت: VNFها و مدیر زیرساخت مجازی (VIM)^۲. نرم‌افزار VNF روی NFVI اجرا می‌شود. VIM، مسئولیت تأمین و مدیریت زیرساخت مجازی را بر عهده دارد. این بدین معناست که واسطه بین VNF و NFVI (Vn-Nf) شامل یک مسیر داده است که ترافیک شبکه از آن می‌گذرد، درحالی‌که واسطه بین NFVI و VIM (Nf-Vi) شامل یک مسیر کنترلی است که تنها برای مدیریت و نه برای هر ترافیک شبکه‌ای از آن استفاده می‌شود.

شکل ۵-۵، اجزای مختلف زیرساخت NFV را نشان می‌دهد. NFVI خود از سه لایه مجزای زیرساخت فیزیکی، لایه مجازی‌سازی و زیرساخت مجازی تشکیل شده است.

زیرساخت فیزیکی، شامل سخت‌افزارهای محاسباتی، ذخیره‌سازی و منابع شبکه‌ای می‌باشد. منابع مجازی از همین منابع فیزیکی تغذیه می‌کنند. سوئیچ‌های ارزان‌قیمت، سرورها و ابزار ذخیره‌سازی همگی بخشی از این دسته می‌باشند.

^۱ Physical Network Functions

^۲ Virtualized Infrastructure Manager



شکل ۵-۵ معماری داخلی NFVI [۴]

لایه مجازی‌سازی NFVI روی سخت‌افزار اجرا می‌شود و یک پلتفرم نرم‌افزاری است که معمولاً شامل یک Hypervisor می‌باشد.

Hypervisorها منابع سخت‌افزارهای فیزیکی را تفکیک می‌کنند و این منابع را به صورت مجازی به برنامه‌های کاربردی تخصیص می‌دهند. سه کارکرد اساسی Hypervisor به شرح زیر است:

- تفکیک منابع ماشین فیزیکی،
- ایزوله کردن ماشین‌های مجازی از یکدیگر (به کمک CPU)،
- شبیه‌سازی کردن تمامی ابزار جانبی مانند کارت‌های کنترل‌کننده واسط شبکه^۱.

Hypervisorهای اصلی استفاده‌شده در NFV، VMware vSphere و KVM^۲ هستند.

زیرساخت مجازی از ماشین‌های مجازی، ذخیره‌سازی مجازی و شبکه مجازی تشکیل شده است.

ماشین‌های مجازی توسط Hypervisor ساخته می‌شوند. Hypervisorها، واسط‌های برنامه‌ریزی کاربردی برای ساخت، نابودسازی، مهاجرت و مدیریت ماشین‌های مجازی عرضه می‌کنند. برای مثال در KVM، کتابخانه libvirt این کار را بر عهده دارد و در vSphere یک مدیر ماشین مجازی به نام vCenter این کار را انجام می‌دهد. ماشین‌های مجازی VNFها را میزبانی می‌کنند و درواقع هسته سرویس‌های شبکه‌ای در NFV می‌باشند.

^۱ Network Interface Controller (NIC)

^۲ Kernel-based Virtual Machine

ذخیره‌سازی مجازی فایل یا بلوک، توسط نرم‌افزار ¹SAN، ²NAS یا ³SDS انجام می‌شود و ماشین مجازی صرفاً توسط یک ⁴LUN یا اشتراک فایل شناخته خواهد شد. لایه مجازی‌سازی نیز می‌تواند برخی عملیات مانند تهیه پشتیبان، تکرار داده‌ها، تهیه Snapshot از وضعیت کنونی سیستم و اشتراک ماشین‌های مجازی را اضافه کند.

شبکه مجازی^۵، شامل یک سوئیچ یا مسیریاب مجازی است که چهار کارکرد زیر را داشته باشد:

(۱) تعویض بین ماشین‌های مجازی در یک گره فیزیکی بدون این که به یک سوئیچ فیزیکی خارجی

نیاز باشد. از این رویکرد برای ساخت زنجیره‌های سرویس استفاده می‌شود،

(۲) تأمین سرویس‌های شبکه‌ای هم‌پوشان^۶ به‌طوری که شبکه‌های عرضه‌شده به ماشین‌های مجازی

با استفاده از فضای آدرس خود و پیکره‌بندی‌های متفاوت از شبکه فیزیکی زیرین، کاملاً انتزاعی

شده باشند،

(۳) تأمین سرویس‌های امنیتی مانند اعمال فهرست‌های کنترل دسترسی^۷،

(۴) فعال‌سازی اتصال دروازه‌ای به اینترنت.

فناوری‌های مجازی‌سازی شبکه بسیاری در NFV استفاده شده‌اند؛ فناوری‌های OVS، DVR، vRouter، FD.io نمونه‌هایی از این می‌باشند.

۵-۲-۳- توابع مجازی شبکه (VNFها)

توابع مجازی شبکه (VNFs) شامل VNFها و مدیریت المان برای هر یک از VNFها می‌باشد [۵].

VNF به پیاده‌سازی یک تابع شبکه‌ای سنتی به‌صورت مجازی گفته می‌شود. جدول ۱-۵ شامل برخی توابع می‌باشد که می‌توانند به‌صورت مجازی پیاده‌سازی شوند.

جدول ۱-۵ برخی توابع شبکه با قابلیت مجازی شدن.

توابع	عنصر شبکه
درگاه‌های شبکه پهن باند، برگردان نشانی شبکه (NAT)، مسیریاب‌ها	عناصر ارسال

¹ Storage Area Network

² Network-attached Storage

³ Software-defined Storage

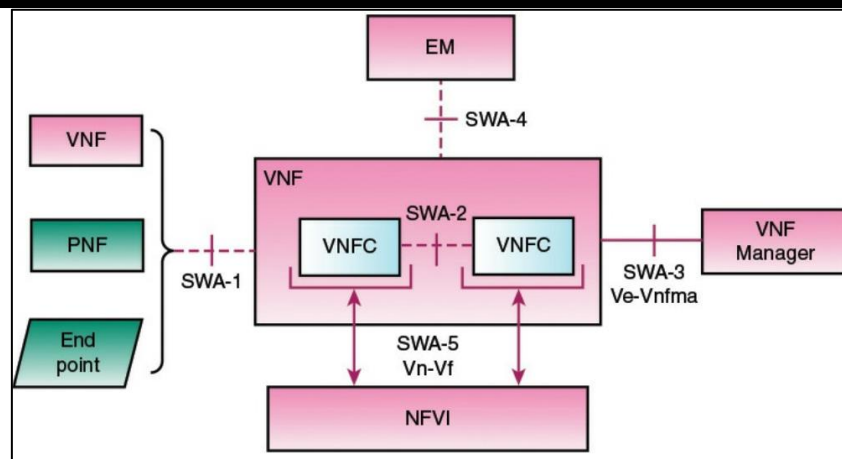
⁴ Logical Unit Number

⁵ Virtual Network

⁶ Overlay Networking Services

⁷ Access Control List (ACL)

گره‌های شبکه موبایل	H ¹ LR، HSS دروازه، گره پشتیبانی از پروتکل GPRS، کنترل‌کننده شبکه رادیویی، توابع مختلف nodeB
تجهیزات مشترکین	مسیریاب‌های خانگی
عناصر دروازه تونل	دروازه‌های شبکه اختصاصی مجازی با استفاده از SSL یا IPSec
پردازش ترافیک	بازرسی کامل بسته‌ها (DPI ²)، ارزیابی تجربه کاربر ³ (QoE)
تضمین	تضمین سرویس، نظارت بر موافقت‌نامه سطح سرویس‌ها (SLA)، آزمون و تشخیص
سیگنالینگ	مؤلفه‌های کنترل‌کننده مرزی نشست (SBC ⁴) و زیرسامانه چندرسانه‌ای IP (IMS)
توابع سطح کنترلی/ دستیابی	سرورهای AAA ⁵ (احراز هویت، کسب اجازه و صورت‌حساب)، پلتفرم‌های کنترل سیاست‌گذاری و هزینه، سرورهای پروتکل پیکربندی پویای میزبان ⁶ (DHCP)
بهینه‌سازی کاربرد	شبکه‌های انتقال محتوا ⁷ (CDN)، سرورهای حافظه نهان، تعادل‌کننده‌های بار، شتاب‌دهنده‌ها
امنیت	فایروال‌ها، ضدویروس‌ها، سامانه تشخیص نفوذ ⁸ (IDS)، حفاظت از هرزنامه



شکل ۵-۶ دید عملیاتی یک VNF به همراه ارتباطات آن [۵]

یک VNF متشکل از یک یا چند مؤلفه‌ی VNF (VNFC⁹) می‌باشد. VNFC‌های یک VNF به صورت داخلی به هم متصل شده‌اند. این ساختار داخلی برای VNF‌های دیگر یا کاربران VNF‌ها آشکار نیست. واسطه‌های مربوط به VNF‌ها در شکل ۵-۶ نمایش داده شده‌اند.

¹ Home Location Register

² Deep Packet Inspection

³ Quality of Experience

⁴ Session Border Controller

⁵ Authentication, Authorization and Accounting Servers

⁶ Dynamic Host Configuration Protocol

⁷ Content Delivery Networks

⁸ Intrusion Detection System

⁹ VNF Component

یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های VNF ها انعطاف‌پذیری بالا است که به زبان ساده همان توانایی Scale up/down یا Scale out/in می‌باشد. Scale up به گسترش توانایی سیستم با افزودن ماشین فیزیکی بیشتر گفته می‌شود. Scale out نیز گسترش توانایی یک ماشین فیزیکی یا مجازی با ارتقای نرم‌افزاری یا سخت‌افزاری آن است. یک VNF با مقیاس‌پذیری یک یا چند VNFC خود مقیاس‌پذیر می‌شود. Scale out/in با استفاده از افزودن/حذف کردن نمونه‌های VNFC متعلق به VNF مربوطه اتفاق می‌افتد. Scale up/down نیز با افزودن/حذف کردن منابع به نمونه‌های VNFC موجود متعلق به VNF در حال مقیاس‌پذیری حاصل می‌شود.

مدیریت همان (EM)^۱، مسئولیت عملیات مدیریتی خرابی، پیکربندی، صورت‌حساب، کارایی و امنیت (FCAPS)^۲ برای VNF را بر عهده دارد. این عملیات مسئولیت VNFM نیز می‌باشد، ولی EM برخلاف VNFM می‌تواند با استفاده از یک واسط اختصاصی این کار را انجام دهد. EM از طریق نقطه مرجع استاندارد^۳ Ve-Vnfm-em با VNFM تبادل اطلاعات می‌کند. EM شاید از مجازی‌سازی باخبر باشد و برای اجرای عملیاتی که نیاز به تبادل اطلاعات با توجه به منابع NFVI تخصیص داده شده به VNF دارد، با VNFM همکاری کند. برخی توابع EM عبارت‌اند از:

- پیکربندی توابع شبکه‌ای فراهم‌شده توسط VNF،
- مدیریت خرابی توابع شبکه‌ای فراهم‌شده توسط VNF،
- عملیات صورت‌حساب میزان استفاده از توابع VNF،
- جمع‌آوری نتایج ارزیابی کارایی برای توابع فراهم‌شده توسط VNF،
- مدیریت امنیت توابع VNF.

۵-۲-۴- سیستم پشتیبانی عملیاتی/تجاری (OSS/BSS)^۴

OSS/BSS ترکیب دیگر توابع پشتیبانی عملیاتی و تجاری اپراتورها است که در چارچوب معماری فعلی NFV تعریف نشده‌اند، ولی می‌توانند اطلاعاتی را با بلوک‌های عملیاتی چارچوب معماری NFV MANO به اشتراک بگذارند. توابع OSS/BSS، مدیریت و هماهنگ‌سازی سیستم‌های قدیمی و همچنین راه‌اندازی اولیه سرویس‌ها و واحدهای مربوط به معماری MANO در زمان مهاجرت به سمت معماری NFV را بر عهده دارند. OSS/BSS مسئول عملیات مختلفی مانند ثبت سفارش، اجرا و تضمین سرویس، تیکت‌های پشتیبانی، صدور صورت‌حساب و پشتیبانی از راه دور می‌باشد.

¹ Element Management

² Fault, Configuration, Accounting, Performance and Security

³ Open Reference Point

⁴ Operational/Business Support System

OSS/BSS موجود در شبکه می‌تواند با افزودن توابع اضافه‌ای که برای مثال در یک پیاده‌سازی خاص NFV MANO وجود ندارند، به MANO موجود ارزش افزوده بدهد. این عمل با استفاده از نقطه مرجع استاندارد Os-Ma بین MANO و OSS/BSS موجود صورت می‌گیرد[۵].

۳-۵- مزایای فناوری مجازی‌سازی توابع شبکه

مزایای استفاده از فناوری مجازی‌سازی توابع شبکه عبارت‌اند از [۲،۱]:

• استفاده کارآمد از منابع

سرورهایی که برای انجام کار به خصوصی در نظر گرفته شده‌اند، به‌طور معمول تنها از ظرفیت معینی از توانایی‌هایی خود استفاده می‌کنند. بدون استفاده از فناوری مجازی‌سازی، یک شرکت ممکن است پنج کامپیوتر را برای اجرای پنج سرویس مختلف مانند سرور ایمیل، فایل سرور، دو سرور برای وب و یک سرور برای بانک اطلاعاتی خریداری کند. هر سرویس ممکن است به‌ندرت بیش از ۱۰ تا ۲۰ درصد از توان پردازشی و حافظه اصلی کامپیوتر را طلب کند. اما زمانی که از فناوری مجازی‌سازی استفاده می‌کنید یک کامپیوتر می‌تواند به بهترین شکل از پنج سرویس یادشده پشتیبانی کند.

• صرفه‌جویی در هزینه‌ها و انرژی

سازمان‌ها سعی می‌کنند با خرید تجهیزات کم و ماشین‌های ارزان‌قیمت به صرفه‌جویی اقتصادی بپردازند. سازمان‌ها همچنین به دنبال کاهش مصرف برق هستند، هرچه تعداد سامانه‌های کامپیوتری کمتر باشد، به همان نسبت انرژی کمتری مصرف‌شده و در نتیجه به تجهیزات تهویه مطبوع کمتر و ارزان‌قیمت‌تری برای خنک‌سازی مراکز داده نیاز است.

• ایزوله سازی

در یک محیط مجازی، ایزوله بودن هر ماشین مهمان به معنای آن است که اگر برای یک ماشین مشکلی پیش آید، بر روند کاری سایر مهمان‌ها (کامپیوترهای مهمان) تأثیر نخواهد گذاشت و ماشین‌های مهمان بدون مشکل به کار خود ادامه خواهند داد.

• پشتیبان‌گیری آسان، بازیابی و تکرار

نرم‌افزار مجازی‌ساز به مدیران شبکه اجازه می‌دهد تا تصویرهای^۱ پشتیبان از یک دستگاه مهمان ذخیره کنند. تصویرها می‌توانند در آینده برای ساخت مجدد ماشین‌های دیگری روی همان میزبان یا میزبان دیگری استفاده شوند. این ویژگی اجازه می‌دهد نسخه‌های پشتیبان ساده‌ای که به سرعت قابل بازیابی هستند ایجاد شود.

۴-۵- معایب فناوری مجازی‌سازی توابع شبکه

معایب فناوری مجازی‌سازی توابع شبکه عبارت‌اند از [۲، ۱]:

• کاهش کارایی به واسطه فقدان منابع فیزیکی کافی

هنگامی که ماشین‌های مجازی برای منابع فیزیکی محدود تعریف شوند، یک ماشین مجازی می‌تواند به شکل انحصاری منابع را مصرف کرده و روی عملکرد سایر ماشین‌های مجازی تأثیر منفی بگذارد. به لحاظ تئوری، مدیریت دقیق و تخصیص درست منابع باید بتواند از بروز چنین مشکلی پیشگیری کند. اما در دنیای واقعی، غیرمنطقی است که سعی کنیم یک برنامه کاربردی حیاتی مانند یک سامانه کنترل زمان بلادرنگ یک کارخانه که در خط مونتاژ از آن استفاده می‌شود یا یک سامانه پزشکی اورژانس بیمارستان را مجبور کنیم تا منابع را به اشتراک قرار دهند و عملاً باعث بروز یک ریسک بزرگ شویم.

• افزایش پیچیدگی

اگرچه مجازی‌سازی تعداد ماشین‌های فیزیکی را کاهش می‌دهد، اما به همان نسبت پیچیدگی‌ها را افزایش داده و کار مدیران شبکه را چند برابر می‌کند. به طور مثال، مدیر شبکه‌ای که از سرورها و سوئیچ‌های مجازی استفاده می‌کند، باید مفهوم نرم‌افزار مجازی‌سازی را به درستی درک کرده باشد. علاوه بر این، مدیریت آدرس‌دهی و سوییچ کردن میان ماشین‌های مجازی به مراتب پیچیده‌تر از کار با ماشین‌های فیزیکی است. در نهایت، با توجه به این که ماشین‌های مجازی به سادگی تنظیم می‌شوند، ممکن است به عنوان بخشی از یک آزمایش در نظر گرفته شده و پس از اتمام آزمایش به دست فراموشی سپرده شوند. در نتیجه، ماشین‌های اضافی ممکن است فضای ارزشمند هارددیسک سرور را اشغال، منابع را مصرف و بدون دلیل خاصی مدیریت شبکه‌ها را پیچیده‌تر کنند. در نقطه مقابل، سرورهای فیزیکی رها شده ممکن است تنها فضای یک رک^۲ را اشغال کنند.

• افزایش هزینه‌های صدور مجوز

از آنجایی که هر نمونه از یک نرم‌افزار تجاری نیازمند مجوز خاص خود است، هر ماشین مجازی که از چنین نرم‌افزاری استفاده کند هزینه‌های مضاعفی به همراه خواهد داشت. در برخی موارد، هزینه اضافه شده، بازده

¹ Image

² Rack

کمی را به ارمغان می‌آورد. به‌طور مثال، یک توسعه‌دهنده نرم‌افزار ممکن است بخواهد چهار نمونه از ویندوز سرور را روی یک کامپیوتر ایجاد کند تا نرم‌افزار جدید خود را به چهار روش مختلف و بر مبنای چهار تنظیم مختلف آزمایش کند. با توجه به قوانین محکم کپی‌رایت در بیشتر کشورهای جهان و به‌ویژه برای محصولات مایکروسافت همچون ویندوز سرور، توسعه‌دهندگان مجبور خواهند شد چهار مجوز برای ویندوز سرور خریداری کنند.

• نقطه شکست

اگر دستگاه میزبان دچار مشکلی شود، همه دستگاه‌های مهمانی که روی آن قرار گرفته‌اند با مشکل روبرو خواهند شد. همان‌گونه که قبلاً ذکر شد، یک سازمان که ماشین‌های مجازی را برای سرور ایمیل، فایل سرور، سرورهای وب و سرور پایگاه داده روی یک کامپیوتر فیزیکی ایجاد می‌کند، ممکن است در زمان خرابی ماشین میزبان همه سرویس‌های خود را به یک‌باره از دست بدهد. مدیران هوشمند شبکه‌ها در چنین شرایطی از فن‌هایی همچون خوشه‌بندی و انتقال خودکار برای جلوگیری از به وجود آمدن این پیشامدها استفاده می‌کنند.

۵-۵- فناوری مجازی‌سازی توابع شبکه در شبکه موبایل نسل پنجم

فناوری مجازی‌سازی توابع شبکه نقش کلیدی در شبکه نسل پنجم ایفا می‌کند؛ برش شبکه به‌واسطه این فناوری محقق می‌باشد و معماری شبکه مجازی، ایجاد چند شبکه مجازی را بر بستر زیرساخت فیزیکی ممکن می‌سازد. شبکه‌های مجازی برای مطابقت با نیاز کاربردهای متنوع، سرویس‌ها، مشتریان یا اپراتورها می‌توانند پیکره‌بندی شوند. همچنین این فناوری، بهره‌گیری از فناوری ابرهای توزیع‌شده را محقق می‌سازد که به ایجاد شبکه‌هایی منعطف با قابلیت برنامه‌پذیری کمک می‌کند.

با بهره‌گیری از فناوری مجازی‌سازی می‌توان در یک شبکه فیزیکی، چندین شبکه مجازی به وجود آورد و از شبکه‌های دسترسی رادیویی متفاوت یا انواع مختلف سرویس برای مشتریان مختلف پشتیبانی نمود. برش‌های شبکه در سطح کاربری و سطح کنترلی از هم تفکیک می‌باشند و تجارب کاربران همانند زمانی که از شبکه‌های فیزیکی مختلفی استفاده شود متفاوت می‌باشد. برش شبکه به دلیل ارائه موارد کاربردی و سرویس‌های متنوع، نقش بسیار مهمی را در شبکه‌های نسل پنجم ایفا می‌کند؛ ازجمله مزایایی که برش شبکه خواهد داشت امکان ارائه سرویس با پهنای باند بالا و تأخیر کم، تحرک‌پذیری، امنیت، پایداری و در دسترس‌پذیری بالا می‌باشد؛ برش شبکه، قابلیت اطمینان بالایی را برای تخصیص سرعت انتقال داده، ظرفیت و سطح پوشش‌دهی به کاربران در اختیار اپراتورها قرار می‌دهد.

با فناوری ابرهای توزیع‌شده می‌توان چندین مرکز داده را در قالب یک مرکز داده مجازی واحد در نظر گرفت. با استفاده از فناوری مجازی‌سازی در شبکه نسل پنجم می‌توان علاوه بر جداسازی عملکرد از تجهیزات

سخت‌افزاری، از محیط رایانش ابری توزیع‌شده بهره برد؛ ترکیب فناوری ابری توزیع‌شده با توابع مجازی شبکه باعث خواهد شد این توابع مجازی براساس عملکرد پیاده‌سازی شوند و بهینه‌سازی، مدیریت و نگهداری شبکه برای اپراتورها راحت‌تر شود. شبکه موبایل نسل پنجم به‌واسطه فناوری مجازی‌سازی، اپراتورها را قادر می‌سازد تا شبکه خود را به‌صورت زمان-واقعی پروگرام نمایند و سرویس‌های جدید را خیلی سریع با توجه به نیازمندی موردنظر و نه براساس پیکره‌بندی مسیریابی، ایجاد نمایند. همچنین فناوری مجازی‌سازی توابع شبکه، چابکی عملیاتی و هزینه سرمایه‌ای (CapEX) را در شبکه دسترسی رادیویی ارتقا می‌دهد و با مهاجرت شبکه موبایل از ساختار فیزیکی به مجازی، چابکی کسب‌وکاری و تاب‌آوری عملیاتی بهبود خواهند داشت [6].

۶-۵- جمع‌بندی

فناوری مجازی‌سازی توابع شبکه، یک روش جدید برای طراحی، به‌کارگیری و مدیریت سرویس‌های شبکه با استفاده از جداسازی تجهیزات فیزیکی شبکه از عملکرد و توابعی است که روی آن‌ها اجرا می‌شود. این کار باعث می‌شود سخت‌افزارهای متمرکز مخصوص شبکه با نرم‌افزارهایی که بر روی پردازشگرهای عمومی یا ماشین‌های مجازی اجرا می‌شوند، جایگزین شوند. به این ترتیب بسیاری از هزینه‌های عملیاتی و سرمایه‌ای کاهش می‌یابد. باوجود مزایای متعدد این فناوری مشتمل بر استفاده کارآمد از منابع و صرفه‌جویی در هزینه و انرژی، استفاده از این فناوری، پیچیدگی شبکه را افزایش خواهد داد. این فناوری هنوز به بلوغ کافی نرسیده است و فعالیت‌های استانداردسازی در زمینه سازگار پذیری و به اشتراک گذاشتن تجارب پیاده‌سازی و آزمایش در شرایطی که از تجهیزات چند سازنده مختلف استفاده می‌شود همچنان ادامه دارد.

۷-۵- مراجع

- [۱] گزارش مرحله دوم پروژه "آینده‌پژوهی - شناسایی فناوری‌های نوظهور ICT برای حل چالش‌های ساختارهای نوین صنعت برق"، گروه فناوری اطلاعات و ارتباطات، پژوهشگاه نیرو، ۱۳۹۸
- [2] Yi, Bo, et al. "A comprehensive survey of network function virtualization." *Computer Networks* 133 (2018): 212-262.
- [3] B. Yi, X. Wang, K. Li, S. k. Das, M. Huang, "A comprehensive survey of network function virtualization", *Computer Networks*, vol. 133, pp. 212-262, 2018.
- [4] "2017 NFV Report Series Part 1: Foundations of NFV: NFV Infrastructure and VIM", SDxCentral, December 2017.
Available: <https://www.sdxcentral.com/reports/nfv-infrastructure-vim-download-2017>
- [5] W. Stallings, *Foundations of modern networking: SDN, NFV, QoE, IoT, and Cloud*. Addison-Wesley Professional, 2015.
- [6] <https://www.sdxcentral.com/5g/definitions/5g-nfv/>

فصل ۶- فناوری رایانش لبه سیار

فناوری رایانش لبه سیار فناوری‌ای است که در آن سرویس رایانش ابری به لبه شبکه در کنار ایستگاه‌های پایه شبکه سلولی آورده می‌شود. فناوری رایانش لبه قابل پیاده‌سازی بر روی شبکه‌های بی‌سیم سیار در مجاورت کاربران است.

رایانش لبه سیار قابلیت ارائه مجموعه‌ای از سرویس‌های نوین ارائه‌شده توسط ارائه‌دهندگان سرویس و سازندگان را دارد. این یک ویژگی مهم در معماری شبکه نسل پنجم است که در آن، مجموعه‌ای از سرویس‌ها و فناوری‌های نوین با تأخیر حداقل مورد نیاز است. در این فصل، به معرفی فناوری رایانش لبه سیار و مزایای این فناوری پرداخته خواهد شد؛ همچنین در ادامه به معماری و پیاده‌سازی این فناوری در شبکه سلولی و استانداردسازی این فناوری اشاره شده است [۱].

۶-۱- معرفی فناوری رایانش لبه سیار

رایانش ابری سیار^۱ (MCC)، فناوری است که با تجمیع رایانش ابری و رایانش موبایل قابلیت‌های قابل توجهی به تلفن‌های همراه بخشیده است و آن‌ها را با منابع ذخیره‌سازی و رایانشی که در یک ابر متمرکز موجود است نیرومند می‌سازد.

رایانش ابری سیار با چالش‌های قابل توجهی مانند تأخیر زیاد و مشکلات امنیتی و ناحیه تحت پوشش محدود با توجه به تأخیر ارسال داده‌ها مواجه است. پاسخ به این چالش‌ها برای پیاده‌سازی این فناوری در نسل‌های بعدی مخابرات سلولی دشوار است، بعلاوه رایانش ابری سیار برای کاربردهای زمان حقیقی و تضمین کیفیت سرویس^۲ نامناسب است.

از طرفی اخیراً رایانش لبه بخصوص رایانش لبه سیار^۳ یا به اختصار MEC در شبکه مخابرات سلولی مورد توجه بسیاری قرار گرفته است. هدف اصلی رایانش لبه سیار، پاسخ به چالش‌های سیستم‌های رایانش ابری سیار است. رایانش لبه سیار قادر است مزایای رایانش ابری مثل قابلیت ذخیره‌سازی و پردازش را به لبه شبکه دسترسی رادیویی (RAN) منتقل کند. این ویژگی منجر به قدرت پردازشی و ذخیره‌سازی بالا و بهره‌وری انرژی و قابلیت تحرک و پشتیبانی بر اساس محتوا برای کاربران می‌شود.

¹ Mobile Cloud Computing

² Quality of Service

³ Mobile Edge Computing

۶-۱-۱- مرور فناوری رایانش لبه سیار

عبارت رایانش لبه سیار توسط موسسه استانداردسازی مخابرات اروپایی^۱ یا ETSI و گروه مشخصات صنعتی^۲ (ISG) استانداردسازی شده است. بر اساس سند منتشرشده توسط ETSI رایانش لبه سیار به صورت زیر تعریف می‌شود:

" رایانش لبه سیار، یک محیط برای استفاده از قابلیت‌های رایانش ابری در لبه شبکه سلولی و درون شبکه دسترسی رادیویی در همسایگی کاربران ایجاد می‌کند."

به کارگیری رایانش لبه سیار در ایستگاه‌های پایه، قابلیت پردازشی سیستم را افزایش می‌دهد و محدودیت‌های سیستم را کاهش می‌دهد. کاربردهای رایانش لبه سیار غالباً در شبکه دسترسی رادیویی^۳ تعریف می‌شود. شبکه دسترسی رادیویی یک بخش از زیرساخت شبکه سلولی است که ارتباط بین دستگاه‌های تلفن همراه و ایستگاه‌های بی‌سیم متصل به هسته شبکه را میسر می‌کند. اخیراً فناوری شبکه دسترسی رادیویی ابری^۴ یا به اختصار CRAN توسط چندین اپراتور مطرح شده است که در آن منابع پردازشی ایستگاه‌های پایه در یک واحد متمرکز تجمع می‌شود و از مزایای رایانش ابری استفاده می‌شود که باعث کاهش هزینه‌ها و ارائه سرویس‌های بهتر می‌شود ولی با چالش‌هایی مثل تأخیر و پهنای باند محدود لینک انتقال جلویی^۵ همراه است. در معماری مطرح شده برای رایانش لبه سیار، سرور رایانش لبه در لایه‌ای بین ابر متمرکز پردازش داده و دستگاه‌های تلفن همراه قرار دارد. بنابراین این معماری دارای سه لایه است: ابر و رایانش لبه و تلفن‌های همراه. سرورهای رایانش لبه می‌توانند در ایستگاه‌های پایه و نقاط دسترسی Wi-Fi و ایستگاه‌های پایه فمتو و پیکو و یا در مکان‌های عمومی بکار گرفته شوند. بر اساس سند ETSI رایانش لبه سیار با ویژگی‌های زیر قابل توصیف است:

۱. ساختار رایانش لبه از بقیه شبکه مجزا است. این ویژگی خطر آسیب‌پذیری این فناوری را کاهش می‌دهد و در سناریو مخابره ماشین به ماشین بسیار حائز اهمیت است.
۲. مجاورت: با به کارگیری در نزدیک‌ترین موقعیت قابلیت تحلیل داده‌های حجیم و همین‌طور قابلیت پردازش سریع برای برخی سرویس‌ها مثل واقعیت مجازی را داراست.
۳. تأخیر کم: با به کارگیری در نزدیک‌ترین موقعیت نسبت به کاربران و مجزا کردن انتقال داده برخی سرویس‌ها از هسته، شبکه تجربه تأخیر حداقلی و سرعت بالا را به کاربران می‌بخشد.

¹ European Telecommunication Standard Institute

² Industry Specification Group

³ Radio Access Network

⁴ Cloud Radio Access Network

⁵ Fronthaul link

۴. آگاهی از موقعیت: با دریافت اطلاعات کاربران در لبه شبکه دسترسی و اشتراک اطلاعات با بقیه سرورهای رایانش لبه سیار قادر به تشخیص موقعیت دستگاه‌هاست.
۵. آگاهی از وضعیت شبکه: برنامه‌هایی قابل اجرا بر روی سرور رایانش لبه سیار، با تهیه اطلاعات از وضعیت شبکه به اپراتورها و بخش‌های صنعتی این امکان را می‌دهد تا وضعیت شبکه را پیش‌بینی کنند تا بهترین تصمیم را برای سرویس‌دهی به کاربران بگیرند.

۲-۱-۶- مرور فناوری‌های مرتبط

برخی مفاهیم و عبارات مرتبط با رایانش لبه سیار در این قسمت بررسی می‌گردد و تفاوت‌های آن‌ها مشخص می‌شود:

- رایانش ابری سیار (MCC): همان‌طور که اشاره شد این فناوری از تجمیع رایانش ابری و رایانش موبایل استفاده می‌کند. تأکید و هدف رایانش ابری بر استفاده از مجازی‌سازی منابع به صورت ابر متمرکز برای سرویس‌دهی به کاربران است. به عنوان مثال می‌توان به رایانش ابری به عنوان زیرساخت در آمازون و مایکروسافت اشاره کرد. از سوی دیگر رایانش ابری سیار بر اشتراک منابع مثل سرور یا ذخیره‌سازی یا پردازش و رایانش در محیط متحرک و موبایل تأکید دارد.
- ابرک^۱: یک مرکز داده کوچک که در مکان‌های عمومی پر رفت‌وآمد مثل مراکز خرید بکار گرفته می‌شود. تأکید این فناوری روی نزدیک کردن فناوری رایانش ابری به کاربران و کاهش تأخیر است ابرک می‌تواند فناوری‌هایی مثل Wi-Fi را مجهز کند درعین حال به دسترسی مطمئن و پایدار به اینترنت وابسته است.
- رایانش مه‌گون^۲: این فناوری در سال ۲۰۱۲ توسط Cisco برای استفاده از سرویس‌های ابری در لبه شبکه معرفی شد. این فناوری و رایانش لبه سیار غالباً معادل در نظر گرفته می‌شوند ولی تفاوت‌هایی باهم دارند به عنوان مثال در رایانش مه‌گون، هوشمندی شبکه در سطح گره‌ها و درگاه‌های اینترنت اشیا است ولی در رایانش لبه سیار، هوشمندی و قابلیت‌های پردازشی در سطح شبکه دسترسی قرار گرفته است به همین دلیل پیاده‌سازی رایانش لبه سیار در شبکه‌های سلولی مثل شبکه نسل پنجم مورد استقبال قرار گرفته است.

۳-۱-۶- مزایای رایانش لبه سیار

مزیت‌های رایانش لبه سیار بر اساس ارائه‌دهنده آن قابل دسته‌بندی است:

¹ Cloudlet

² Fog Computing

- اپراتورهای تلفن همراه می‌توانند به یک سازنده یا ارائه‌دهنده سرویس‌ها، اجازه دسترسی به منابع شبکه دسترسی رادیویی را به صورت منعطف بدهند این سرویس‌ها می‌توانند بر اساس پهنای باند مصرفی یا حجم ذخیره‌سازی درآمدزایی داشته باشند.
- ارائه‌دهندگان سرویس می‌توانند از خدمات ابر به عنوان زیرساخت مجهز به سیستم رایانش لبه سیار بهره برد که دارای تأخیر بسیار کمتر از سیستم معمولی است و قابلیت پیاده‌سازی سرویس‌های زمان حقیقی را دارند.
- کاربران نیز می‌توانند از سرویس‌هایی با تأخیر پایین و پهنای باند بالا و کیفیت QoS مطلوب‌تر بهره ببرند و تجربه بهتری داشته باشند.

۶-۲- معماری و پیاده‌سازی رایانش لبه سیار

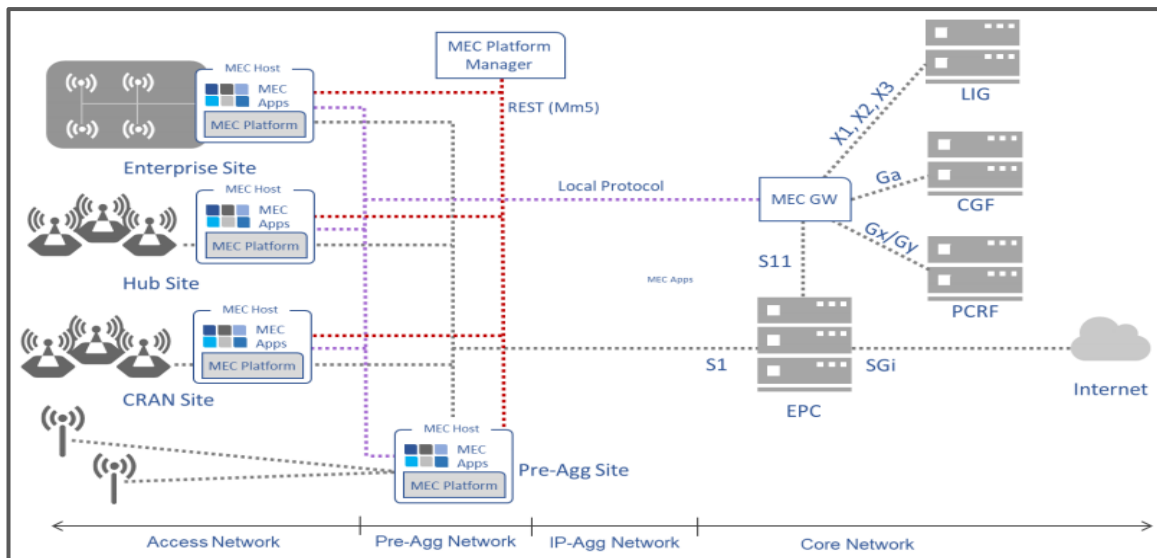
۶-۲-۱- پیاده‌سازی رایانش لبه سیار در شبکه‌های نسل چهارم [۲]

با شروع تحقیقات بر روی فناوری رایانش لبه سیار، این فناوری یکی از ویژگی‌های شبکه نسل پنجم شناخته می‌شد. با این حال به دلیل موفقیت شبکه‌های نسل چهارم و همه‌گیر شدن آن، بخشی از سازندگان صنعتی که به دنبال استفاده از مزایای رایانش لبه سیار در شبکه نسل چهارم بودند شروع به ارائه طرح‌هایی برای پیاده‌سازی رایانش لبه سیار در شبکه‌های نسل چهارم دادند. به دنبال آن ETSI نیز پیاده‌سازی این فناوری را در نسل چهارم بررسی و مستنداتی ارائه داد. بر اساس نقطه‌ای که میزبان^۱ رایانش لبه سیار در معماری شبکه نسل چهارم نصب می‌شود سناریوهای مختلفی برای پیاده‌سازی رایانش لبه سیار مطرح می‌شود که به طور خلاصه توضیح داده خواهد شد:

- پیاده‌سازی بین هسته و شبکه^۲: منظور از این عبارت شامل شدن همه سناریوهایی است که در آن سرور MEC در نقطه‌ای بین ایستگاه پایه و هسته شبکه نصب می‌شود. این روش به سادگی قابل پیاده‌سازی است به طور مثال برای سناریو تجاری که لازم است ترافیک داخلی به سرویس‌های محلی منتقل شود یا هنگام پیاده‌سازی توأم فناوری رایانش لبه سیار (MEC) و CRAN. در شکل ۱-۶ این روش نمایش داده شده است.

¹ Host

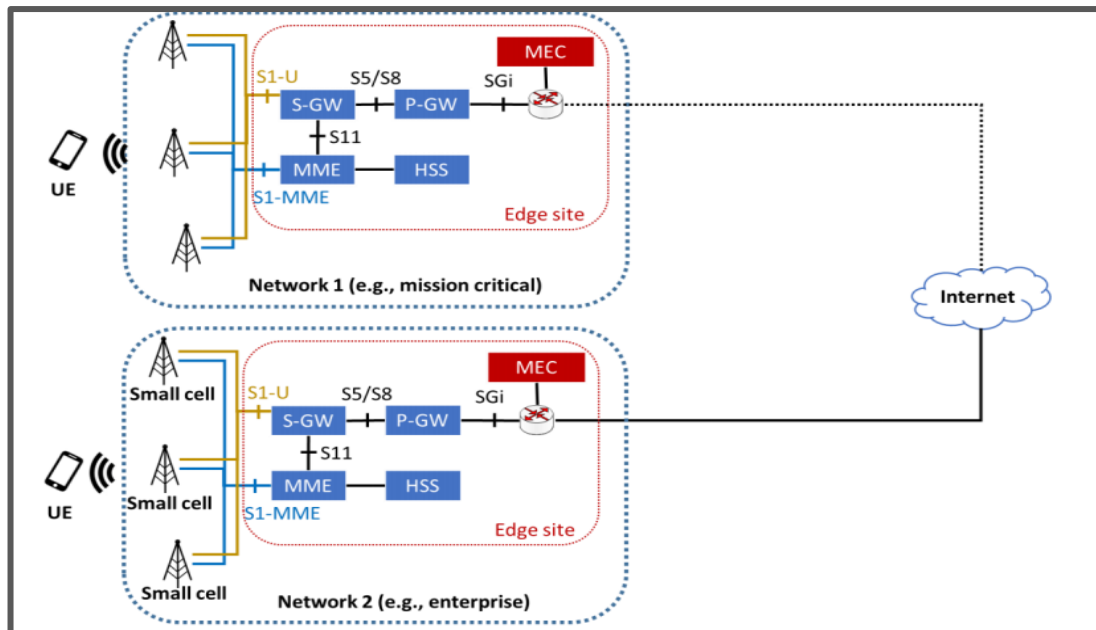
^۲ این روش در مرجع با نام "Bump in the Wire" نامگذاری شده است.



شکل ۱-۶ روش پیاده‌سازی بین هسته و سایر بخش‌های شبکه

- هسته شبکه توزیع شده: برخلاف روش قبلی در این روش همه بخش‌های هسته در میزبان رایانش لبه سیار قرار می‌گیرد و لایه داده MEC با واسطه SGI متصل می‌شود. دو بخش DNS محلی سرور MEC و درگاه PGW در هسته شبکه، نقش مهمی را در این سناریو بر عهده‌دارند. به‌طور دقیق‌تر کاربر به هسته پراکنده شبکه که در کنار سرور MEC قرار گرفته متصل می‌شود. پس از آن درگاه PGW ارتباط با شبکه عمومی داده^۱ (PDN) را قطع می‌کند و IP به آن اختصاص می‌دهد همچنین اطلاعات DNS محلی را برای تصمیم‌گیری و رسیدن به IP برنامه MEC موردنظر مشخص می‌کند. در شکل ۲-۶ این روش نمایش داده شده است.
- واحد درگاه SGW یا PGW توزیع شده: این روش مشابه روش قبلی است با این تفاوت که فقط درگاه SGW یا PGW در سایت لبه بکار گرفته می‌شوند و بقیه واحدها مثل واحد کنترل تحرک‌پذیری در هسته شبکه قرار می‌گیرند.

¹ Public Data Network



شکل ۲-۶ روش هسته شبکه توزیع شده

۲-۲-۶- پیاده‌سازی رایانش لبه سیار در شبکه نسل پنجم [3]

در مشخصات مطرح‌شده برای شبکه نسل پنجم، مجموعه‌ای از عملکردهای جدیدی تعریف‌شده است که برای پیاده‌سازی یکپارچه رایانش لبه سیار ضروری هستند. این عملکردها عبارت‌اند از :

۱. مسیریابی و هدایت ترافیک. هسته شبکه نسل پنجم دارای ابزاری برای انتخاب ترافیک هدایت‌شده به برنامه‌ها درون شبکه داده محلی است.

۲. توانایی تابع برنامه برای تأثیرگذاری بر انتخاب تابع سطح کاربری (UPF) و مسیریابی ترافیک از طریق خط‌مشی کنترل عملکرد (PCF) یا غیرمستقیم از طریق تابع ارائه عملکرد شبکه (NEF) بر اساس خط‌مشی اپراتورها؛

۳. حالت تداوم سرویس و نشست برای کاربران مختلف و سناریوهای مختلف؛

۴. پشتیبانی از شبکه داده محلی توسط هسته شبکه نسل پنجم به‌وسیله پشتیبانی از اتصال به شبکه داده محلی زمانی که برنامه بکار گرفته‌شده است.

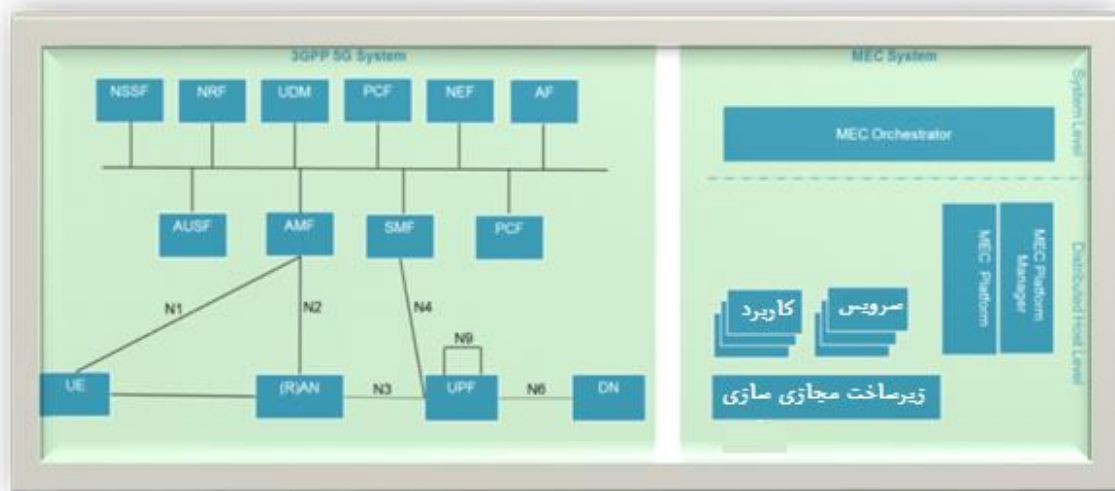
رایانش لبه سیار اخیراً در شبکه LTE از طریق روش‌های معرفی‌شده در قسمت قبل پیاده‌سازی شده است. ضروری است تا راهکارهای نوین فناوری رایانش لبه سیار (MEC) به‌عنوان افزونه به شبکه LTE اضافه شود تا سرویس‌های موردنظر در لبه شبکه را ارائه دهد. لکن در شبکه نسل پنجم، نقطه شروع متفاوت است زیرا رایانش لبه به‌عنوان یک فناوری کلیدی در پشتیبانی از سرویس‌های با تأخیر کم و همچنین پشتیبانی از سرویس‌های اینترنت اشیا در نظر گرفته می‌شود بنابراین شبکه نسل پنجم از ابتدا باید قادر به پشتیبانی از فناوری رایانش لبه سیار (MEC) باشد؛ بر اساس طراحی نهاد 3GPP، فناوری رایانش لبه سیار به‌عنوان تابع

برنامه (AF) دسته‌بندی می‌شود که می‌تواند اطلاعات مربوط به عملکرد شبکه را بر اساس خط‌مشی تعیین‌شده استفاده کند؛ به این معنی که سایر توابع شبکه می‌توانند از پیاده‌سازی سیستم رایانش لبه سیار پشتیبانی کنند و اطلاعات مورد نیاز سیستم رایانش لبه سیار، توسط سایر توابع شبکه براساس خط‌مشی از پیش تعیین‌شده‌ای در اختیارش قرار می‌گیرد.

۳-۲-۶- معماری مبتنی بر سرویس شبکه نسل پنجم [۵]

در معماری سیستم نسل پنجم که توسط 3GPP طراحی‌شده، سرویس‌ها و کاربردهای گوناگونی با نیازهای متفاوت قابل پشتیبانی است. پشتیبانی از این کاربردها با معماری کنونی در بخش‌های دسترسی و هسته شبکه ممکن نیست و نیاز به تغییرات بنیادی دارد. همان‌طور که در فصل دوم اشاره شد در مشخصات شبکه نسل پنجم، دو انتخاب برای معماری موجود است. یکی معماری سنتی و دیگری حالتی که عملکردهای هسته شبکه بر اساس سرویس درخواستی در تعامل با یکدیگرند که به آن، معماری سرویس‌محور (SBA) می‌گویند. در معماری سرویس‌محور، توابعی از شبکه در حال سرویس گرفتن هستند و توابعی دیگر در حال سرویس‌دهی می‌باشند. چارچوب شبکه کارکردهایی را برای اعتباربخشی به کاربران و درخواست‌ها تعیین می‌کند. چارچوب فناوری رایانش لبه سیار (MEC) نیز مشابه چارچوب معماری سرویس‌محور است که شامل کارکردهایی مثل ثبت کردن، اعتبارسنجی و صحت‌سنجی است. در شکل ۳-۶، معماری سیستم رایانش لبه سیار (MEC) و معماری سیستم نسل پنجم با SBA آورده شده است. در ادامه به بررسی پیاده‌سازی سیستم رایانش لبه سیار (MEC) در محیط شبکه نسل پنجم می‌پردازیم.

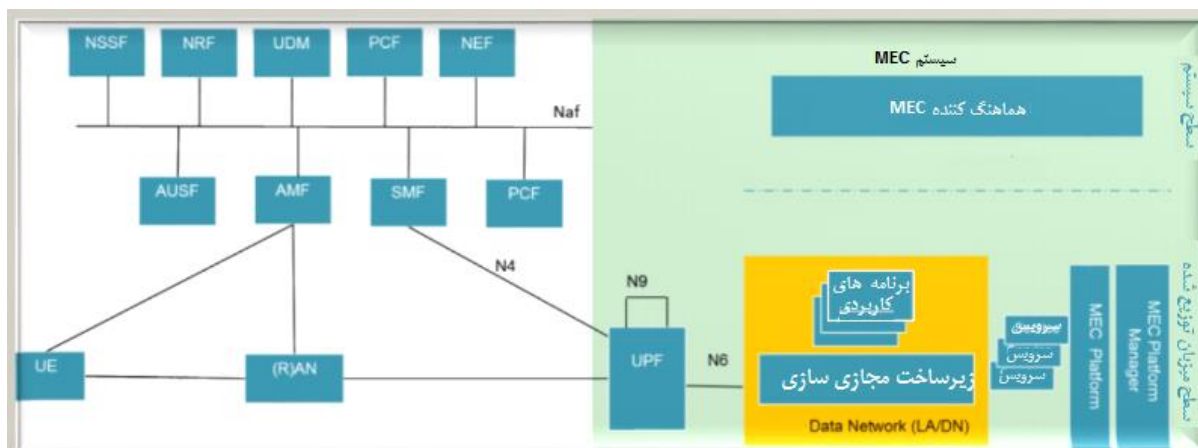
توابع شبکه و سرویس‌هایی که ارائه می‌دهند در واحد تابع مخزن شبکه (NRF) ثبت می‌شوند. یک تابع شبکه برای استفاده از سرویس (در صورت اعتبار درخواست) می‌تواند با تابع شبکه‌ای که تولیدکننده سرویس است تعامل کند. لیست تمام سرویس‌های ارائه‌شده در تابع مخزن شبکه (NRF) وجود دارد. از طرفی برخی سرویس‌ها فقط از طریق تابع ارائه عملکرد شبکه (NEF) قابل دسترسی است همچنین این واحد نقش مهمی در اعتبارسنجی به درخواست‌های خارج از سیستم دارد.



شکل ۳-۶ معماری نسل پنجم سرویس‌محور و معماری سیستم رایانش لبه سیار (MEC)

یکی از مفاهیم کلیدی در شبکه نسل پنجم مبحث برش شبکه است که اجازه تخصیص منابع از طریق توابع شبکه به سرویس‌های مختلف را می‌دهد. این واحد در شبکه نسل پنجم بنام تابع انتخاب نشست شبکه (NSSF) شناخته می‌شود که به کاربران در انتخاب واحدهای شبکه و در تخصیص تابع مدیریت دسترسی (AMF) کمک می‌کند. واحد دیگر در معماری شبکه نسل پنجم واحد قوانین و خط‌مشی (PCF) است. دسترسی به این تابع بر اساس معتبر بودن یا نبودن درخواست می‌تواند به‌صورت مستقیم یا از طریق واحد تابع ارائه عملکرد شبکه (NEF) باشد. همچنین این واحد، پاسخگوی درخواست یک AF مانند سرور رایانش لبه سیار (MEC) برای هدایت کردن ترافیک است. واحد مهم دیگر، تابع مدیریت یکپارچه داده (UDM) است که مسئول بسیاری از سرویس‌های مرتبط با کاربران است به‌طور مثال این تابع مسئول نگهداری اطلاعات هویتی کاربر است همچنین محدودیت‌های رومینگ در شبکه را مدیریت می‌کند همچنین تابع شبکه‌ای که به کاربر سرویس می‌دهد را از طریق تابع مدیریت نشست (SMF) ثبت می‌کند و غیره. واحد تابع مدیریت دسترسی (AMF) در سیستم نسل پنجم مسئول مدیریت تحرک و دسترسی در شبکه است. واحد تابع مدیریت نشست (SMF) نیز که مسئول مدیریت نشست در شبکه است مسئولیت‌های متفاوتی دارد به‌عنوان مثال سرویس DHCP و تخصیص IP و کنترل بر رومینگ و غیره.

واحد تابع سطح کاربری (UPF)، نقش اساسی در پیاده‌سازی رایانش لبه سیار در شبکه نسل پنجم دارد. از نگاه سیستم رایانش لبه سیار (MEC) این واحد به‌عنوان لایه کاربر توزیع شده و قابل تنظیم دیده می‌شود و در بعضی سناریوها به‌عنوان بخشی از ساختار رایانش لبه سیار دیده می‌شود. در شکل ۴-۶، به کارگیری رایانش لبه سیار در معماری سرویس‌محور شبکه نسل پنجم ارائه شده است.

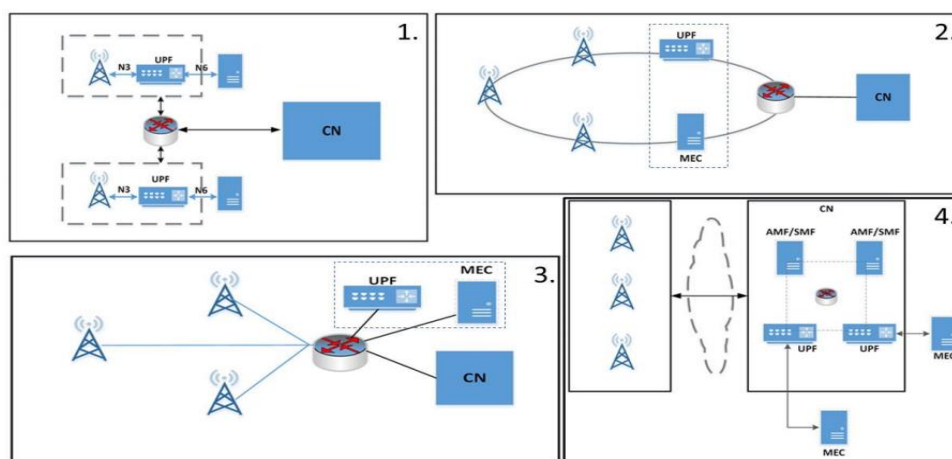


شکل ۴-۶ بکارگیری محاسبات لبه سیار در معماری SBA نسل پنجم

۴-۲-۶- سناریوهای به کارگیری رایانش لبه سیار

به طور منطقی سرورهای رایانش لبه سیار (MEC) می‌تواند در لبه شبکه داده بکار گرفته شود و واحد تابع سطح کاربری (UPF)، مسئول هدایت ترافیک لایه داده به برنامه MEC موردنظر است. موقعیت قرارگیری تابع سطح کاربری (UPF) بر اساس انتخاب اپراتور شبکه می‌تواند متغیر باشد. بر اساس سناریوهای به کارگیری فیزیکی فناوری رایانش لبه سیار (MEC) گزینه‌های مختلفی بر اساس عملکردها و مسائل امنیتی وجود دارد:

۱. سرور رایانش لبه سیار (MEC) و واحد تابع سطح کاربری (UPF) در ایستگاه پایه تجمیع شده
۲. سرور رایانش لبه سیار (MEC) با گره انتقال تجمیع شده
۳. سرور رایانش لبه سیار (MEC) و واحد تابع سطح کاربری (UPF) در نقطه تلاقی شبکه تجمیع شده
۴. سرور رایانش لبه سیار (MEC) با هسته شبکه تجمیع شده



شکل ۵-۶ پیاده سازی محاسبات لبه سیار

گزینه‌های بالا که در شکل ۵-۶ ارائه شده است با انعطاف مناسبی در سناریوهای مختلف از کنار ایستگاه پایه تا هسته شبکه قابل پیاده‌سازی هستند.

۳-۶- استانداردسازی رایانش لبه سیار

رایانش لبه به عنوان مدل تکامل یافته رایانش ابری میزبانی برنامه‌های کاربردی را از مراکز داده به لبه‌های شبکه چسبیده به مشتریان و مصرف‌کنندگان آورده است. رایانش لبه‌ای به عنوان یکی از شاخه‌های اصلی نشانگر عملکرد کلیدی^۱ (یا به اختصار KPI) در شبکه نسل پنجم شناخته می‌شود. این فناوری مانند سایر فناوری‌های مرتبط نیاز به استانداردسازی و مستندسازی برای به کارگیری در شبکه نسل پنجم مخابرات سلولی دارد. گروه ISG MEC^۲ در موسسه استاندارد مخابرات اروپا (ETSI)، مرکز تهیه گزارش‌های فنی و استانداردهای مربوط به رایانش لبه است. ISG شامل شرکت‌هایی مثل Nokia، Intel، IBM، Huawei، Vodafone و NTT DOCOMO هست. این گزارش بر اساس مستندهای این گروه نگارش شده است. به طور مثال این گروه با گروه‌های صنعتی مانند 5GAA که شامل سازندگان تجهیزات مخابراتی در صنعت اتومبیل‌های خودران است در تعامل است و از آن اطلاعات دریافت می‌کند همچنین بر اساس اسناد 3GPP مستندات خود را منتشر می‌کند. بعد از کامل شدن مستندات این گروه در ETSI، گروه صنعتی 5GAA مستندات خود را بروز می‌کند و این چرخه اطلاعات ادامه می‌یابد. در نهایت این موسسه 3GPP است که در اسناد خود می‌بایست بخش مربوط به رایانش لبه را تکمیل کند و استانداردسازی این فناوری انجام شود. در مستندات فعلی 3GPP از لزوم به کارگیری رایانش لبه به عنوان فعال ساز بسیاری از سرویس‌های نسل پنجم نام برده شده است. ولی معماری و پیاده‌سازی آن هنوز در این اسناد مطرح نشده است.

۴-۶- کاربردهای رایانش لبه سیار

هرچند اپراتورها با معماری رایانش لبه سیار (MEC) هنوز سودآوری بر اساس سرویس و کاربرد خاصی را تجربه نکرده‌اند برخی از این کاربردها که منجر به سودآوری می‌شوند قابل تشخیص هستند.

- واقعیت مجازی^۳: این فناوری اخیراً در تلفن‌های همراه نیز رواج پیدا کرده است به عنوان مثال Google Lenz یا سیستم‌های تعامل مغز و کامپیوتر. سیستم‌های واقعیت افزوده معمولاً نیاز به محاسبات و پهنای باند بالا و تأخیر پایین برای کیفیت سرویس مطلوب را دارند. رایانش لبه، فناوری کلیدی برای سرویس‌های حساس به تأخیر مثل واقعیت افزوده هستند.

¹ Key performance indicator

² Industry specification group for Multi access Edge Computing

³ Augmented Reality

• ذخیره‌سازی نهان^۱ و انتقال محتوا: فناوری رایانش لبه در بهینه‌سازی عملکرد سایت مثل ذخیره‌سازی محتوای html نقش کلیدی دارد. این فناوری در مقایسه با زیرساخت متداول اینترنت که درخواست کاربر توسط سرورهای ارائه‌دهنده سرویس در دوردست پاسخ داده می‌شد سریع‌تر است بعلاوه رایانش لبه سیار (MEC) با بررسی وضعیت سنگینی ترافیک شبکه می‌تواند داده‌های پر تقاضا را ذخیره‌سازی کند.

- مخابرات V2X
- کاربردهای ویدئویی

۱-۴-۶- کاربرد رایانش لبه سیار در مخابرات V2X [۶]

اتومبیل‌های خودران^۲ یک زیست‌بوم (اکوسیستم) با نیازها و مشخصات جدید ایجاد کرده است. این صنعت به‌عنوان تکاملی بر اینترنت اشیا با رشد سالانه 45% توجه زیادی را به خود جلب کرده است. سود این صنعت تا انتهای سال ۲۰۲۱ میلادی تنها در ایالات متحده حدود ۱۸ میلیارد دلار تخمین زده می‌شود. همه این‌ها باعث ایجاد فرصت‌هایی برای بخش دانشگاهی و صنعتی برای ارائه راهکارهای نوین شده است. راهکارهایی بر اساس رایانش لبه با قابلیت پشتیبانی از نظارت بر وضعیت ترافیک و موانع و... اخیراً مورد توجه قرار گرفته است. در این بخش به بررسی قابلیت‌های رایانش لبه سیار (MEC) در صنعت خودروهای خودران و شبکه مخابرات ماشین با ماشین می‌پردازیم.

معرفی راهکار رایانش لبه توسط ETSI به ارائه‌دهندگان محتوا و اپراتورها امکان استفاده از قابلیت‌های رایانش ابری در لبه شبکه دسترسی سلولی را داد. این محیط بر اساس مجاورت هم در بعد فیزیکی هم منطقی به کاربران توصیف می‌شود و تأخیر حداقلی برای کاربران به ارمغان می‌آورد. می‌توان کاربردهای رایانش لبه در مخابرات V2X را به چند دسته تقسیم کرد:

۱. ایمنی. در این کاربرد رایانش لبه سیار می‌تواند از تحلیل زمان حقیقی وضعیت ترافیک پشتیبانی کند و به راننده نسبت به وضعیت اخطار دهد.
۲. کمک‌راننده: این کاربرد به بهبود وضعیت رانندگی بر اساس جریان ترافیک حداکثر و حداقل سرعت و تأثیر وضعیت آب‌وهوا در رانندگی کمک می‌کند. همچنین قابلیت دیدن وضعیت خودروهای جلویی که به رانندگان در سبقت گرفتن کمک می‌کند به‌وسیله محاسبات لبه سیار قابل‌دستیابی است.

¹ Caching

² Autonomous Driving Vehicles

۳. نظارت بر پیاده‌روها: در این کاربرد سرور رایانش لبه سیار (MEC) بر وضعیت پیاده‌روها و دوچرخه‌سواران و تعامل آن‌ها با خودروها و ترافیک نظارت می‌کند

در کنار مزایای گفته شده چالش‌هایی با پیاده سازی این فناوری در صنعت خودروهای خودران ایجاد می‌شود که می‌توان به تولید داده‌های حجیم و هماهنگی بین اپراتورها اشاره کرد. یک خودرو خودران بدون بزرگنمایی حدود ۴۰ ترابایت اطلاعات در حدود ۸ ساعت راندن تولید می‌کند و پردازش و مدیریت این داده‌ها چالش‌انگیز است.

۲-۴-۶- کاربرد رایانش لبه سیار برای کاربردهای ویدئویی [۷]

اخیراً سرویس وب آمازون^۱ (AWS) طی مشارکت با شرکت وریزون درصدد ایجاد زیرساختی مخابراتی با حداقل تأخیر ممکن برای کاربردهای مربوط به استادیوم‌های ورزشی و تماشاگران لیگ ملی فوتبال^۲ در امریکا بوده است. این همکاری بین سرویس طول موج AWS (که مربوط به ارائه سرویس‌هایی با حداقل تأخیر توسط آمازون است) و پیاده‌سازی آن بر روی پلتفرم رایانش لبه وریزون تحت عنوان 5G EDGE به نتیجه رسید. این پیاده‌سازی ابتدا در شهر شیکاگو و برای برخی مشتریان از جمله لیگ فوتبال آمریکایی NFL صورت گرفت. همان‌طور که در فصل ششم اشاره شد فناوری رایانش لبه سیار تأثیر بالایی در به حداقل رساندن تأخیر از طریق به‌کارگیری سرورهایی در لبه شبکه دارد. این مزیت برای برخی از سرویس‌ها و کاربردهای ویدئویی که تأخیر زیر ۲۰ میلی‌ثانیه در آن‌ها باعث ایجاد تفاوت در تجربه کاربر می‌شود موردنیاز است.

با قرار گرفتن سرورهای محاسباتی و ذخیره‌سازی سرویس وب آمازون در شبکه زیرساخت وریزون ارائه‌دهندگان سرویس قادر به بهره‌مندی از این قابلیت‌های محاسباتی و ذخیره‌سازی برای ارائه سرویس‌های شبکه نسل پنجم به مشترکان خود خواهند بود.

لیگ NFL به‌عنوان پربیننده‌ترین مسابقات ورزشی در ایالات متحده اصلی‌ترین محرک بهره‌برداری از سرویس‌های مرتبط با ویدئو در شبکه نسل پنجم هست. لیگ NFL با همکاری بین سرویس وب آمازون و شرکت وریزون می‌تواند تجربه سرویس‌هایی نوین مربوط به پخش فوتبال زنده و تعاملی بین تماشاگران درون استادیوم‌های ورزشی را به ارمغان بیاورد. به‌عنوان مثال سیستم تحلیل بازی با کمک رایانش لبه می‌تواند موقعیت بازیکن و آمار مربوط و پیش‌بینی وضعیت بازی را به ازای جابجایی اینچ به اینچ نشان در اختیار تماشاگران قرار دهد. این قدرت پردازش در زمان حقیقی قطعاً تجربه نوینی برای تماشاگران ایجاد می‌کند.

Amazon web service

² NFL

۵-۶- راینش لبه سیار و شبکه دسترسی رادیویی ابری^۱

شبکه دسترسی رادیویی ابری و راینش لبه به دو فناوری مکمل تبدیل شدند. به کارگیری این دو فناوری به بهره اقتصادی بیشتر منجر می‌شود. همچنین برخی از کاربردهای مربوط به شبکه نسل پنجم بدون به کارگیری تو اما این دو فناوری قابل پیاده‌سازی نخواهد بود. بالین حال، برای تحقق بخشیدن به این مزایا، اپراتورهای تلفن همراه باید بر چالش‌های مرتبط غلبه کنند.

۵-۶-۱- مزایای به کارگیری توانان فناوری راینش لبه سیار (MEC) و CRAN

سرویس‌های مربوط به URLLC شامل کاربردهایی با تأخیر محدود مثل بازی های تعاملی و واقعیت مجازی و خودروهای خودران هست در این حالت استفاده از فناوری‌های مبتنی بر ابر به دلیل تأخیر دارای محدودیت است. همچنین سرویس‌های مربوط به eMBB با چالش حجم غیرقابل مشاهده اطلاعات مربوط به سیگنالینگ مرتبط مواجه‌اند. سرویس‌های مربوط به مخابره ماشین با ماشین نیز شامل کاربردهای توزیع‌شده مثل تعداد زیادی از حس‌گرها و دستگاه‌های مربوط به اینترنت اشیا هست که در لینک انتقال جلویی حجم بسیار بالایی از اطلاعات را منتقل می‌کنند و دارای محدودیت‌های خاص خود هستند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت برخی از کاربردها و سرویس‌های شبکه نسل پنجم نیاز به پردازش در لبه شبکه دسترسی رادیویی دارند.

از منظر اپراتورهای موبایل چالش عمده در به کارگیری برنامه‌های مرتبط به شبکه نسل پنجم، نیازمندی به سرمایه‌گذاری روی لبه در شبکه است در صورتی که این سرمایه‌گذاری به دلیل سودآوری محدود در این ده نزدیک دارای ریسک اقتصادی است. بنابراین یک راه‌حل برای کاهش این ریسک، به کارگیری شبکه دسترسی ابری در کنار محاسبات ابری با دسترسی چندگانه است. هزینه تهیه و مصرف انرژی پردازشگرها بر روی استخر واحد باند پایه در فناوری شبکه دسترسی رادیویی ابری به‌طور محسوسی کاهش می‌یابد همچنین با پیاده‌سازی شبکه دسترسی رادیویی ابری به صورت تو اما با محاسبات لبه سیار از بار اضافی بر روی لینک انتقال جلویی کاسته می‌شود که از پهنای باند شبکه انتقال می‌کاهد و هزینه‌های شبکه انتقال را کاهش می‌دهد. بعلاوه با بکار بردن فن‌هایی مثل مجازی‌سازی می‌توان هزینه‌های مدیریت و پیاده‌سازی این سیستم‌ها را کاهش داد. این مزایای استراتژیک تصمیم را برای اپراتورها ساده کرده است.

در میان سرمایه‌گذاری‌های اپراتورهای تلفن همراه بیشترین هزینه مربوط به شبکه دسترسی رادیویی است در این شرایط شبکه دسترسی ابری با مجازی‌سازی برخی کارایی‌های شبکه دسترسی موجب کاهش هزینه‌های اپراتورها می‌شود. رویکرد شبکه دسترسی رادیویی ابری باعث تسهیل راه‌اندازی واحد رادیوی RRH می‌شود، که به‌طور چشمگیری زمان راه‌اندازی را کاهش می‌دهد. همچنین هزینه‌های مربوط به نگهداری سایت‌ها کاهش

¹ Cloud radio access network

می‌دهد. افزایش امنیت، کاهش انرژی و از همه مهم‌تر قابلیت به‌کارگیری هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در شبکه دسترسی از ویژگی‌های شبکه دسترسی ابری است.

۲-۵-۶- چالش‌های به‌کارگیری توانان فناوری راینش لبه سیار (MEC) و شبکه دسترسی

رادیویی ابری (CRAN)

- چالش‌های به‌کارگیری هم‌زمان راینش لبه موبایل و شبکه دسترسی رادیویی ابری به این شرح هست:
- چالش‌های مدیریتی: سیستم راینش لبه سیار (MEC) دارای واحدهای مدیریتی است که به برنامه‌ها امکان پیاده شدن روی محیط مجازی راینشی را به‌عنوان ماشین مجازی (VM) می‌دهد. فناوری مجازی‌سازی توابع شبکه یک فن بسیار مهم در صنعت مخابرات برای جداسازی عملکردهای شبکه‌ای و فیزیکی است که سرویس‌های مربوط به شبکه را در محیط مجازی اجرا می‌کند. استفاده از فناوری مجازی‌سازی توابع شبکه در شبکه دسترسی رادیویی ابری واجب و حتمی است. در کنار این فناوری راینش لبه سیار (MEC) نیز از پلتفرم مجازی برای اجرای برنامه‌ها و محاسبات استفاده می‌کند بنابراین می‌توان با ایجاد همگرایی در زیرساخت‌های مجازی‌سازی توابع شبکه به مدیریت قابل اطمینان و پایدار روی سایت شبکه دسترسی رادیویی ابری یا راینش لبه سیار (MEC) رسید.
 - چالش‌های امنیتی: فناوری راینش لبه سیار (MEC) انواع جدیدی از سرویس‌ها را ارائه می‌دهد که همچنین تهدیدات امنیتی بالقوه را معرفی می‌کند. یک مدل احتمالی برای پیاده‌سازی فناوری راینش لبه سیار (MEC) در یک معماری شبکه دسترسی رادیویی ابری این است که برنامه‌های راینش لبه سیار (MEC) در همان سیستم فیزیکی همانند بعضی از توابع شبکه عمل می‌کنند. این برنامه‌ها ممکن است برنامه‌های شخص ثالث باشند که مستقیماً توسط اپراتور شبکه موبایل کنترل نشوند. خطراتی وجود دارد که این برنامه‌ها ممکن است منابع موردنیاز توسط توابع شبکه را از بین ببرند، بنابراین، برای ارائه‌دهندگان سرویس‌ها، حائز اهمیت است که اطمینان حاصل شود که یک سیستم خرابکاری در محیط راینش لبه سیار (MEC) بر قسمت CRAN تأثیر نمی‌گذارد؛ در همه موارد، مکانیسم‌های حفاظت باید در جای خود قرار گیرد تا اطمینان حاصل شود که اجزای شبکه دسترسی رادیویی ابری هنوز در خدمت هستند و قادر به ارائه پوشش تلفن همراه به کاربران است.

۶-۶- جمع‌بندی

در این فصل به بررسی سیستم راینش لبه سیار پرداخته شده است. راینش لبه سیار قابلیت‌های بسیار مهمی از جمله پهنای باند مناسب، عمر باتری و ذخیره‌سازی بهبودیافته به دستگاه‌های موبایل می‌بخشد. راینش لبه سیار منابع موردنیاز برای پاسخ به سرویس‌ها و کاربردهایی با تأخیر حداقل و پهنای باند بالا که اغلب نیاز به

پردازش بالایی دارند را فراهم می‌کند. به همین دلیل به‌کارگیری این فناوری در سیستم‌های نسل پنجم ضروری به نظر می‌رسد. از کاربردهای این سیستم می‌توان به سرویس‌هایی چون خودروهای خودران و بازی‌های تعاملی و پردازش و تحلیل ویدئوها و سرویس‌هایی با نیاز محاسباتی بالا مثل واقعیت مجازی اشاره کرد. از چالش‌های این فناوری نیز می‌توان به هزینه‌بر بودن به‌کارگیری این سیستم اشاره کرد که با سودآوری سرویس‌های مبتنی بر آن قابل جبران خواهد بود و مسائل امنیتی از چالش‌های دیگر پیش روی این فناوری می‌باشد که تحقیقات بر روی رفع آن در جریان است. اکثر شرکت‌ها و سازندگان تجهیزات مخابراتی و اپراتورهای بزرگ شبکه در سرتاسر جهان گروه‌هایی را برای انجام تحقیقات و پیاده‌سازی سیستم محاسبات لبه سیار در شبکه خود تشکیل داده‌اند و روزبه‌روز سیستم محاسبات لبه خود را ارتقا می‌دهند. آزمایشات شرکت Vodafone در زمینه به‌کارگیری محاسبات لبه سیار در زمینه امنیت خودروهای خودران و همچنین پیاده‌سازی‌های عملی شرکت Verizon با همکاری AWS برای استفاده از سیستم محاسبات لبه سیار در استادیوم‌های ورزشی نمونه‌ای از پیاده‌سازی‌های رسمی این سیستم می‌باشد. همچنین وضعیت استانداردسازی این فناوری نیز با پیشرفت مفاهیم و کاربردهای آن و تکمیل اسناد مرتبط با آن توسط ETSI در وضع قابل قبولی قرار گرفته است و احتمالاً در اسناد بعدی 3GPP نیز مستند خواهد شد.

در این فصل به معرفی مفاهیم مرتبط و سرویس‌ها و کاربردهای این فناوری پرداخته شد و پیاده‌سازی آن در شبکه مخابرات سلولی بررسی شده است.

۶-۷- مراجع

- [1] Abbas, Nasir, et al. "Mobile edge computing: A survey." IEEE Internet of Things Journal 5.1 (2017): 450-465.
- [2] "MEC deployments in 4G and evolution towards 5G", ETSI White Paper, First Edition, February 2018
- [3] "MEC in 5G networks", ETSI White Paper, First Edition, June 2018
- [4] "Cloud RAN and MEC: A Perfect Pairing", ETSI White Paper, First Edition, February 2018
- [5] 3GPP TS 23.501 V15.1.0, "3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; System Architecture for the 5G System; Stage 2 (Release 15)", March 2018
- [6] "Toward fully connected vehicles: Edge computing for advanced automotive communications", 5GAA White Paper, December 2017.
- [7] "5G Mobile Edge Computing Redefining the Sports Experience", Intel corp, 2019

فصل ۷- شبکه دسترسی رادیویی ابری

۷-۱- مقدمه

شبکه دسترسی رادیویی ابری^۱ (C-RAN) یک معماری متمرکز و رایانش ابری برای شبکه‌های دسترسی رادیویی است که امکان استقرار در مقیاس بزرگ، پشتیبانی از فن‌آوری رادیویی مشترک و قابلیت مجازی‌سازی در زمان واقعی را فراهم می‌کند.

اخیراً شبکه دسترسی رادیویی ابری به‌عنوان کاندیدای پیشرو در معماری شبکه نسل پنجم شناخته شده است. در شبکه دسترسی رادیویی ابری، پردازش سیگنال باند پایه و قابلیت‌های رادیویی جدا می‌شوند. به‌طور کلی، یک شبکه دسترسی رادیویی ابری از دو جزو تشکیل شده است:

- یک استخر واحد باند پایه^۲ (BBU) است که در یک مرکز داده مبتنی بر ابر قرار گرفته است؛
- تعداد زیادی از واحد رادیویی (RRH^۳)های کم‌هزینه که هر یک در یک سلول کوچک مستقر هستند. استخر واحد باند پایه و واحد رادیو (RRH) از طریق پیوندهای لینک انتقال جلویی متصل می‌شوند. استخر واحد باند پایه، پردازش سیگنال متمرکز و مدیریت تداخل را انجام می‌دهد. واحد رادیو (RRH) فقط عملکرد رادیویی را حفظ کرده و از طریق کانال‌های رادیویی با کاربران ارتباط برقرار می‌کند. معماری شبکه دسترسی رادیویی ابری دارای چندین مزیت به شرح زیر است.
- اول، این شبکه می‌تواند با نوسانات ترافیکی مکانی و زمانی سازگار شود تا خدمات تقاضا را ارائه دهد. برای این منظور می‌توان تعداد استخرهای واحد پایه موردنیاز برای حمایت از تقاضای اوج ترافیک را کاهش داد و واحدهای رادیویی (RRH) بیکار را برای کاهش مصرف برق خاموش کرد و این به ترتیب منجر به کاهش هزینه سرمایه شبکه (CAPEX) و هزینه عملیاتی (OPEX) می‌شود.
- دوم، شبکه دسترسی رادیویی ابری، اجرای راهبردهای انتقال یا دریافت اشتراکی را تسهیل می‌کند به‌عنوان مثال استفاده از عملیات چند نقطه هماهنگ‌شده (CoMP) و همچنین به کار بردن فن کنترل تداخل بین سلولی‌های مختلف (eICIC) تسهیل می‌یابد. با استفاده از این راهبردهای اشتراکی، می‌توان بهره‌وری طیف را از طریق مدیریت مؤثر تداخل در بین چندین واحد رادیویی RRH افزایش داد.
- سوم، شبکه دسترسی رادیویی ابری به‌روزرسانی و نگهداری شبکه را ساده می‌کند و مجازی‌سازی پردازش سیگنال باند پایه در پردازنده‌های عمومی یا سرورهای ابری، ارتقاء شبکه را ساده می‌کند.

^۱ Cloud Radio Access Network

^۲ Basic Band Unit

^۳ Remote Radio Heads

باوجود مزایای فوق، شبکه دسترسی رادیویی ابری همچنین چالش‌های تحقیقاتی جدیدی را مطرح می‌کند که در ادامه به آن اشاره شده است:

۱. در عمل لینک‌های انتقال جلویی از ظرفیت محدودی برخوردار هستند، که می‌تواند به‌طور قابل توجهی سود عملکرد حاصل از شبکه دسترسی رادیویی ابری را کاهش دهد [۱].
۲. برای تسهیل پردازش متمرکز سیگنال و استراتژی‌های انتقال مشارکتی، مقادیر زیادی از اطلاعات وضعیت کانال^۱ (CSI) در استخرهای واحد باند پایه موردنیاز است [۲].
۳. تحرک کاربر باعث می‌شود مشخصات کانال تغییر یابد و این امر، فرکانس به‌روزرسانی اطلاعات وضعیت کانال (CSI) را افزایش می‌دهد.
۴. اطلاعات وضعیت کانال دریافت شده توسط استخرهای واحد باند پایه از طریق لینک‌های انتقال جلویی، ممکن است دقیق نباشد، که این مسئله، توانایی انجام مدیریت مؤثر تداخل را کاهش می‌دهد.

۷-۲- معماری شبکه دسترسی رادیویی ابری

در نسل یک و دو مخابرات سلولی بخش رادیویی و پردازش سیگنال به‌صورت مجتمع در ایستگاه پایه انجام می‌شد. در نسل‌های بعدی یعنی نسل سوم و نسل چهار، ایستگاه پایه شامل دو قسمت واحد پردازش باند پایه و واحد رادیویی بود که از طریق فیبر نوری به هم متصل بودند در قسمت رادیویی ماژول آنتن به همراه تقویت‌کننده‌ها و فیلترهای RF و مبدل آنالوگ به دیجیتال و برعکس انجام می‌شد. همچنین واسط X2 به‌عنوان واسط بین ایستگاه‌های پایه و واسط S1 به‌عنوان واسط با هسته شبکه معرفی شد. در معماری شبکه دسترسی رادیویی ابری، واحدهای باند پایه (BBU) و واحد رادیویی (RRH) جدا می‌شوند (شکل ۷-۱). ماژول آنتن و RRH در ایستگاه‌های پایه باقی می‌مانند و واحد پردازش سیگنال چندین ایستگاه پایه در شعاع ۲۰ تا ۴۰ کیلومتری در مرکز استخر واحد باند پایه قرار می‌گیرند.

مفهوم اولیه شبکه دسترسی رادیویی ابری در ابتدا با عنوان WNC^۲ توسط IBM برای کاهش هزینه و ایجاد شبکه باقابلیت انعطاف بیشتر مطرح شد. سپس شرکت China Mobile در سال ۲۰۱۱ میلادی برای اولین بار شبکه دسترسی رادیویی تمرکز یافته را در شبکه LTE پیشنهاد کرد و دو راه‌حل خود را برای معماری شبکه دسترسی رادیویی ابری ارائه کرده است.

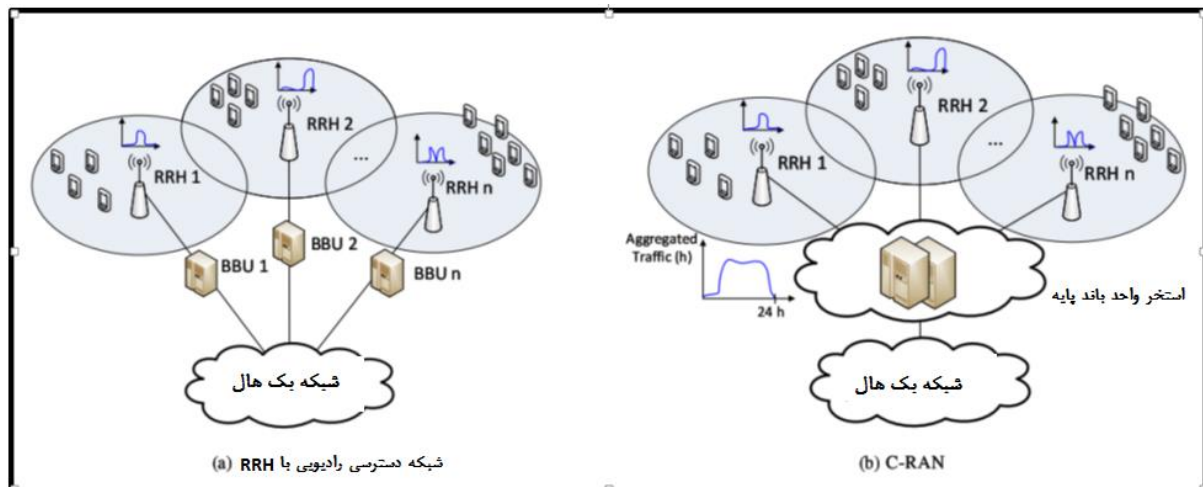
راه‌حل اول، شبکه دسترسی رادیویی کاملاً تمرکز یافته^۳ نام دارد؛ در این معماری کلیه پردازش شبکه دسترسی رادیویی در یک مرکز متمرکز شده است. در شبکه دسترسی رادیویی کاملاً تمرکز یافته، واحدهای رادیویی

¹ channel Specific information

² Wireless Network Cloud

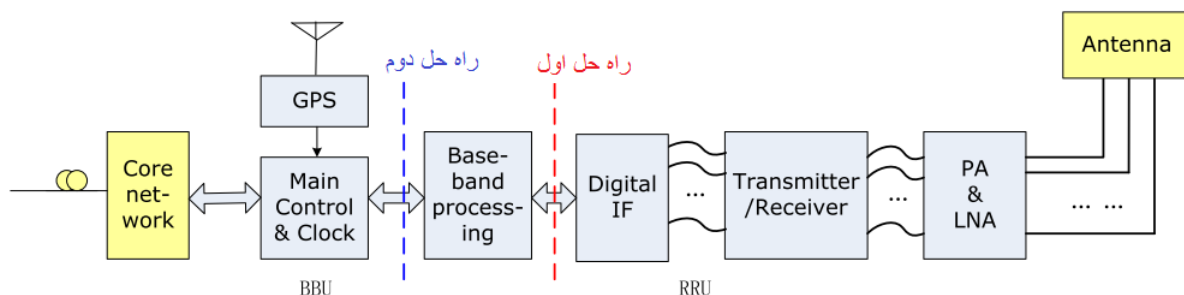
³ Fully centralized RAN

(RRH) از طریق لینک‌های فیبر نوری به یک مرکز داده متصل می‌شوند که در آن کلیه پردازش‌های باند پایه (مشمول بر عملیات لایه فیزیکی، لایه دوم و لایه سوم) انجام می‌شود [۳].



شکل ۱-۷ معماری شبکه دسترسی رادیویی ابری برای شبکه موبایل [۳]

راه حل دوم، شبکه دسترسی رادیویی جزئی تمرکز یافته^۱ هست که در آن، واحد رادیویی RRU علاوه بر عملیات رادیویی، عملیات باند پایه (لایه فیزیکی) را نیز انجام می‌دهد لکن سایر عملیات لایه‌های بالاتر در واحد باند پایه (BBU) انجام می‌شود. در راه حل دوم، در واقع عملیات باند پایه در واحد باند پایه (BBU) انجام نمی‌شود لکن برای ساده‌سازی، نام واحد باند پایه (BBU) تغییر نکرده است. شکل ۱-۷، جداسازی عملیات را در هر دو راه حل‌های ارائه شده مذکور نشان می‌دهد. این دو روش جداسازی عملیات در ایستگاه پایه، دو معماری مختلف را برای شبکه دسترسی رادیویی ابری ایجاد می‌کند؛ هر دو معماری از سه بخش تشکیل شده‌اند. اولی واحد رادیویی توزیع یافته یا همان RRH هستند که در محل سایت‌های ایستگاه‌های پایه قرار گرفته‌اند. دومی شبکه انتقال نوری پرسرعت با تأخیر پایین است که واحدهای رادیویی را به استخر واحدهای باند پایه متصل می‌کند. سومی نیز همان استخر واحدهای باند پایه هست که از پردازشگرهایی با قابلیت برنامه‌نویسی و فناوری مجازی زمان-واقعی ایجاد شده است.



شکل ۲-۷ روش‌های جداسازی متفاوت عملیات ایستگاه پایه [۳]

معماری شبکه دسترسی رادیویی کاملاً تمرکز یافته که در شکل ۳-۷ نشان داده شده است مزایای زیادی دارد. به‌روزرسانی ساده و توسعه ظرفیت شبکه، پشتیبانی از عملیات با استانداردهای مختلف، اشتراک‌گذاری حداکثری منابع و ساده‌سازی پشتیبانی از عملیات مشارکتی در چند سلول مانند CoMP همگی از مزایای این معماری هستند. لکن ایراد بزرگ این معماری، نیاز به پهنای باند بالا بین واحد باند پایه و واحد رادیویی برای انتقال سیگنال I/Q هست به‌عنوان مثال نرخ انتقال مورد نیاز برای شبکه TD-LTE با هشت آنتن دریافتی و پهنای باند ۲۰ مگاهرتز ۱۰ گیگابیت بر ثانیه هست. به دلیل استفاده از فیبر نوری در این معماری، استقرار آن انعطاف‌پذیری کمتری دارد، زیرا فقط نقاط با دسترسی فیبر ممکن است انتخاب شوند یا اینکه در سایر نقاط، دسترسی فیبر استقرار داده شود، که بسیار پرهزینه است.

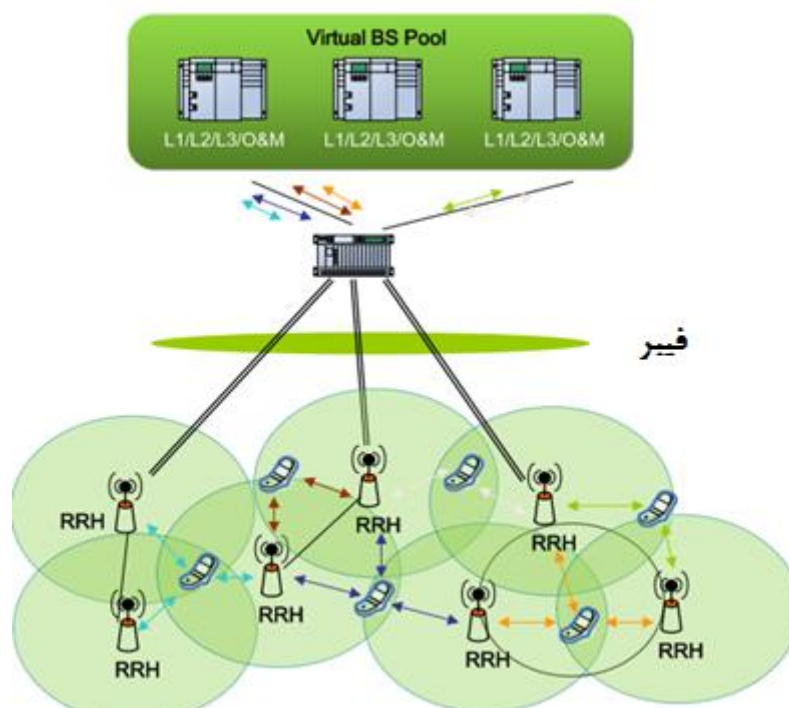
در معماری شبکه دسترسی رادیویی کاملاً تمرکز یافته، با استفاده ترکیبی از پلتفرم باز و پردازشگرهای همه‌منظوره، روشی ساده برای توسعه رادیوهای مبتنی بر نرم‌افزار^۱ (SDR) ایجاد شده است که ارتقای استانداردهای واسطه هوایی را تنها از طریق نرم‌افزار ممکن می‌سازد و ارتقای شبکه دسترسی رادیویی و پشتیبانی از عملیات در استانداردهای مختلف را تسهیل می‌بخشد.

معماری شبکه دسترسی رادیویی جزئی تمرکز یافته که در شکل ۴-۷ نشان داده شده است این مزیت را دارد که به دلیل اینکه عملیات پردازش باند پایه از واحد باند پایه (BBU) جدا شده است و در خود واحد رادیویی RRH جمع شده است پهنای باند انتقال پایین‌تری مابین واحد باند پایه و واحد رادیویی مورد نیاز می‌باشد و نرخ بیت مورد نیاز برای شبکه انتقال در این معماری ۲۰ تا ۵۰ برابر کاهش می‌یابد. لکن از معایب این معماری، می‌توان به انعطاف‌پذیری پایین آن در به‌روزرسانی و ساده‌سازی کم آن در پشتیبانی از عملیات مشارکتی در چند سلول مانند CoMP اشاره کرد.

در هر دو معماری ارائه شده شرکت China Mobile برای توسعه پوشش شبکه یا جداسازی و افزایش ظرفیت سلول تنها لازم است که واحدهای رادیویی جدید نصب شود و سپس به استخر واحد باند پایه متصل شوند. همچنین با افزایش بار شبکه تنها نیاز است که اپراتور، تجهیزات سخت‌افزاری را در استخر واحد باند پایه ارتقا دهند تا ظرفیت پردازش افزایش یابد. همچنین در این دو معماری برخلاف معماری ایستگاه پایه توزیع شده سنتی، واحد رادیویی به واحد باند پایه مشخصی تعلق ندارد و سیگنال رادیویی ارسالی یا دریافتی یک واحد رادیویی می‌تواند توسط ایستگاه پایه مجازی و از طریق فناوری مجازی‌سازی زمان-واقعی پردازش شود. ایستگاه پایه مجازی قسمتی از ظرفیت پردازشی تخصیص یافته در استخر واحد باند پایه فیزیکی را به خود اختصاص می‌دهد [۳].

¹ Software Defined Radio

برای افزایش کارایی شبکه دسترسی تمرکز یافته، فناوری اتصال در لینک جلویی بسیار حائز اهمیت است. این اتصال می‌تواند کابل کواکسیال یا فیبر یا شبکه نوری¹ PON یا حتی موج میلی‌متری باشد. مثال دیگر در پروتکل لینک جلویی، واسط رادیویی عمومی رایج² (CPRI) است که در سرعت‌های مختلفی عمل می‌کند. البته CPRI یک استاندارد نیست بلکه یک پروتکل برای ارسال داده‌های I/Q میان واحد پردازش سیگنال و واحد رادیویی است که در بخش صنعتی تهیه شده است و از ویژگی‌های آن می‌توان به نرخ بیت ثابت و نیاز به همزمان‌سازی³ دقیق و کنترل تأخیر دارد. در حال حاضر بخش صنعتی تولیدکنندگان و فروشندگان تجهیزات نظر خاص خود را در مورد معماری شبکه دسترسی رادیویی C-RAN از طریق گزارش‌های فنی مطرح می‌کنند. درحالی‌که در بخش دانشگاهی راه‌حل‌های مختلفی برای افزایش ظرفیت شبکه مطرح می‌شود.

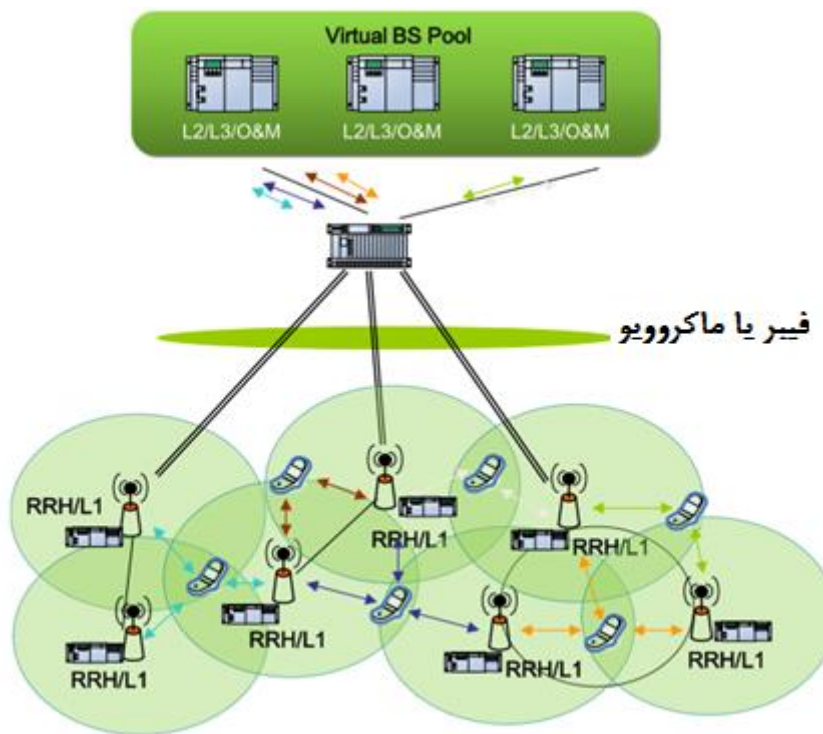


شکل ۳-۷ معماری شبکه دسترسی رادیویی ابری کاملاً تمرکز یافته [۳]

1 Passive Optical Network

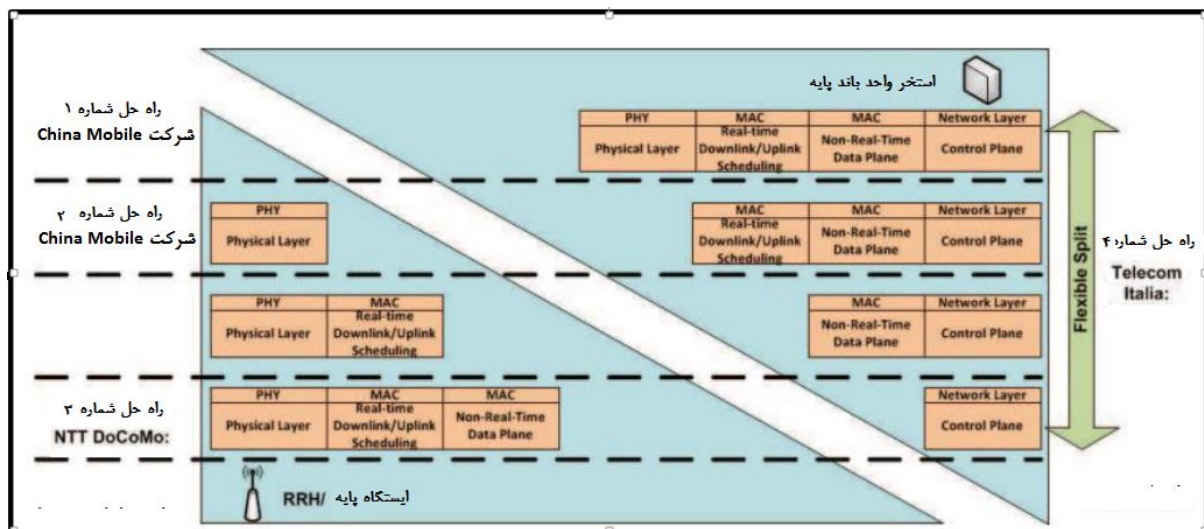
2 Common Public Radio Interface

3 synchronization



شکل ۴-۷ معماری شبکه دسترسی رادیویی جزئی تمرکز یافته [۳]

پس از اینکه شرکت China Mobile دو معماری برای شبکه دسترسی رادیویی در شبکه LTE ارائه کرد، در ادامه شرکت ZTE راه‌حلهایی برای چالش لینک انتقال جلویی با حداقل اتصالات فیبر نوری مطرح کرد.



شکل ۵-۷ تقسیم عملکرد در معماری‌های شبکه دسترسی رادیویی تمرکز یافته [۴]

روش‌های متعدد دیگری نیز بین این دو معماری مورد مطالعه قرار گرفته است. به عنوان نمونه اپراتور China Mobile، شبکه دسترسی کاملاً تمرکز یافته را ایجاد کرده است و همچنین شرکت NTT DoCoMo در سال ۲۰۱۳ میلادی معماری شبکه دسترسی تمرکز یافته جزئی با ساختاری که در شکل ۵-۷ نشان داده شده است

را برای شبکه LTE-A معرفی و ایجاد کرد (شکل ۵-۷). همچنین اپراتور ایتالیایی Telecom، شبکه دسترسی رادیویی تمرکز یافته با جداسازی منعطف را به کار برده است.

در ادامه تکامل شبکه دسترسی رادیویی، دو نسخه پیشرفته‌تر شبکه دسترسی رادیویی پیشنهاد شده است. اولی، شبکه دسترسی رادیویی ناهمگن^۱ (H-CRAN) است که از شبکه‌های ناهمگن بسیار متراکم، پشتیبانی می‌کند و دومی شبکه دسترسی رادیویی مه^۲ (F-RAN) است که با استفاده از روش رایانش مه، توانایی‌های ابری را در لبه سلول توسعه می‌دهد.

در مسیر تکاملی هر یک از این معماری‌های شبکه دسترسی رادیویی، سه گام تعریف می‌شود. گام اول همان معماری تمرکز یافته است که در ابتدای این بخش معرفی شد؛ تجهیزات صنعتی برای این معماری ساخته شده و مورد استفاده قرار گرفته است. پیش‌بینی می‌شود بازار تجهیزات شبکه دسترسی رادیویی C/HC/F RAN از ۴ میلیارد دلار در سال ۲۰۱۲ به ۲۰ میلیون دلار در سال ۲۰۲۰ افزایش یابد.

گام دوم مسیر تکاملی هر یک از این معماری‌های شبکه دسترسی رادیویی، ساختار ابری در استخر واحدهای باند پایه می‌باشد که در آن، واحدهای باند پایه استخر در مراکز داده و مکان‌های مختلفی قرار داده می‌شوند و از فناوری رایانش ابری توزیع شده در این مدل استفاده می‌شود. این مدل اجرای شبکه دسترسی در اولین مدل‌های معماری شبکه نسل پنجم تعریف شده است. برای اتصال مراکز داده استخر با تأخیر پایین و ظرفیت بالا و مصرف توان پایین، راه‌حل‌های متعددی ارائه شده است. سرویس ابری Infinera Xpress یک نمونه‌ای است که در آن از اترنت ۱۰۰ گیگابیت و ظرفیت فیبر تک‌رشته‌ای ۵۰۰ گیگابیت بر ثانیه با فناوری WDM فشرده، تأخیر ۲۰ میکروثانیه و مصرف یک وات برای هر یک گیگابیت بر ثانیه استفاده می‌کند. تحقیقات زیادی در زمینه استفاده از فناوری‌های انتقال پیشرفته نوری برای ارتباط مراکز داده استخر واحدهای باند پایه در حال انجام می‌باشد.

گام سوم مسیر تکاملی هر یک از این معماری‌های شبکه دسترسی رادیویی، استفاده از فناوری مجازی‌سازی در شبکه دسترسی رادیویی می‌باشد که در آن از فناوری مجازی‌سازی توابع شبکه و شبکه مبتنی بر نرم‌افزار برای استخر واحدهای باند پایه استفاده می‌کند [۵]. مجازی‌سازی مهم‌ترین بخش تفاوت میان شبکه دسترسی رادیویی تمرکز یافته سنتی (نسل چهارم) و کنونی (نسل پنجم) است. در شبکه ابری، واحدهای باند پایه استخر BBU، علاوه بر مرکزی‌سازی بین اپراتورهای مختلف مجازی‌سازی می‌شوند. در عمل مجازی‌سازی، بخش داده‌ها و بخش کنترل جداسازی می‌گردند. همچنین ایستگاه‌های پایه به صورت مجازی پیاده‌سازی می‌شوند و در ایستگاه پایه مجازی^۳ (VBS) کارکردهای آن شبیه‌سازی می‌شود. در واقع مفهوم شبکه دسترسی رادیویی

¹ Heterogeneous CRAN

² Fog RAN

³ Virtual Base Station

ابری مثالی بر مجازی‌سازی شبکه و بر اساس مفهوم WNC¹ است که به اپراتورهای مجازی شبکه موبایل اجازه تخصیص منابع شبکه روی پلتفرم ارزان‌قیمت را می‌دهد. فناوری مجازی‌سازی توابع شبکه و شبکه مبتنی بر نرم‌افزار، دو ابزار و مفهوم مهم برای مجازی‌سازی شبکه‌های مخابراتی از جمله شبکه دسترسی رادیوی ابری هستند.

در ادامه تکامل شبکه دسترسی رادیویی تمرکز یافته، استفاده از سیستم‌عامل‌های رایانش ابری که روی سخت‌افزار عمومی استفاده می‌شوند در واحدهای باند پایه، منتهی به شبکه دسترسی رادیویی ابری می‌شوند که در ادامه این فصل بیان شده است.

۳-۷- ساختار مبتنی بر ابر شبکه دسترسی رادیویی در نسل پنجم

رایانش ابری نقش قابل توجهی را در مبحث فناوری اطلاعات به خود اختصاص داده است از آنجاکه دسترسی همه‌جانبه و همه‌کاره را به منابع مشترک و با حداقل نیاز به مدیریت را فراهم می‌کند. این فناوری همچنین تأثیر بیشتری بر مبحث فناوری ارتباطات می‌گذارد و در حال حاضر به‌عنوان ابزاری برای اجرای شبکه‌های تلفن همراه منعطف، مقرون‌به‌صرفه و قدرتمندتر مورد بحث قرار می‌گیرد.

اگرچه منابع مشترک متمرکز باند پایه در حال حاضر برای شبکه دسترسی رادیویی مورد بررسی قرار گرفته‌اند تا امکان استفاده بهینه از منابع و الگوریتم‌های پیشرفته چند سلولی فراهم شود؛ لیکن این فناوری‌ها هنوز به سخت‌افزار اختصاصی نیاز دارند و ویژگی‌های سیستم‌عامل‌های رایانش ابری، (که اهم آن تهیه تقاضا، مجازی‌سازی، ادغام منابع، قابلیت ارتجاعی، اندازه‌گیری سرویس و چندوجهی هست) را ارائه نمی‌دهند. با این حال، این ویژگی‌های محاسبات ابری عامل اصلی برای سیستم‌های ارتباطی موبایل در آینده است.

تکامل به سمت شبکه‌های تلفن همراه 5G با رشد نمایی از ترافیک همراه می‌باشد. این رشد ناشی از افزایش تعداد پایانه‌های کاربر، غنی‌تر بودن محتوای اینترنت، استفاده مکرر از دستگاه‌های دارای اینترنت و همچنین دستگاه‌های قدرتمندتر و دارای صفحه نمایش بزرگ‌تر است. رشد ترافیک نیازمند به مقیاس‌پذیر بودن بیشتر شبکه‌های تلفن همراه است تا رسیدگی به الگوهای نوسان ترافیکی مکانی و زمانی، پایانه‌هایی با کیفیت مختلف و خدمات متنوع‌تر میسر شود.

شبکه‌های تلفن همراه فعلی قادر به پشتیبانی مؤثر از این تنوع نیستند اما برای تأمین اوج و ترافیک معمولی اینترنت طراحی شده‌اند. استفاده از سلول‌های کوچک بسیار متراکم، کم‌مصرف، روشی امیدوارکننده برای امکان‌پذیر کردن تقاضای نرخ داده‌های آتی است. سلول‌های کوچک از دو اثر اساسی بهره‌برداری می‌کنند. ابتدا فاصله بین نقطه دسترسی رادیویی (RAP²) و پایانه‌ها کاهش می‌یابد که باعث افزایش احتمال دید و

1 Wireless Network Cloud

2 Radio Access Point

کاهش تلفات مسیر می‌شود. دوم، طیف با کارایی بیشتری مورد استفاده قرار می‌گیرد زیرا هر نقطه دسترسی از همان طیف استفاده می‌کند. سلول‌های کوچک، استقرارهای سلول‌های کوچک موجود را که نیاز به تأمین پوشش برای کاربران سریع در حال حرکت و در مناطقی با تراکم کاربر کم دارند، تکمیل می‌کنند. در نسل پیشین موبایل (LTE)، نقش سلول‌های کوچک در هر دولایه فیزیکی و لایه بالاتر مورد توجه بوده و تأثیرات آن بر پروتکل شبکه دسترسی رادیویی و معماری سیستم مورد بحث قرار می‌گیرد. هرچه شبکه‌ها متراکم‌تر می‌شوند، تداخلات بین سلولی افزایش می‌یابد و سناریوهای تداخل به دلیل تداخل چندتایی پیچیده‌تر می‌شوند. علاوه بر این، هرچه چگالی استقرار بالاتر است، در طول نوسانات ترافیکی مکانی و زمانی، شانس بیشتری وجود دارد که نقاط دسترسی، بدون بار یا فقط بار ترافیکی کم داشته باشند. در حال حاضر، ۱۵-۲۰٪ از کل سایت‌ها حدود ۵۰٪ از کل ترافیک را حمل می‌کنند [۶]. پردازش متمرکز در شبکه دسترسی رادیویی ابری اجازه می‌دهد تا نقاط دسترسی را به صورت انتخابی روشن یا خاموش کرد تا نوسانات ترافیکی زمانی مکانی را برطرف کند. علاوه بر این، این امکان را فراهم می‌کند تا الگوریتم‌های کارآمد اجتناب و انصراف از تداخل در چندین سلول را کنترل کرد.

امروزه پردازنده‌های همه‌منظوره چند هسته‌ای به طور فزاینده‌ای قدرتمند شده‌اند و پلتفرم باز مبتنی بر ابر جایگزین قابل توجهی برای هر دو ارائه‌دهندگان خدمات فناوری اطلاعات و همچنین اپراتورهای تلفن همراه شده است. اکنون زمان آن است که اپراتورهای موبایل استفاده از فناوری رایانش ابری را برای پردازش منابع در مناطق تحت پوشش خود در نظر بگیرند. شبکه دسترسی نوین آن‌ها باید نیازهای زیر را برآورده سازد:

- پشتیبانی از استانداردهای ارسال و بروز رسانی‌های مختلف در شبکه
- کاهش هزینه‌ها و سرویس‌دهی قابل اطمینان
- بهینه‌سازی ظرفیت تحرک و پوشش در شبکه پهن باند

در این بخش، یک بررسی کلی بر روی شبکه دسترسی رادیویی ابری در شبکه نسل پنجم ارائه می‌شود که شامل یک سطح فیزیکی، یک سطح کنترل و یک سطح سرویس می‌باشد. معماری C-RAN در مقایسه با معماری سنتی بر مفهوم سرویس ابر، مدیریت و تخصیص منابع تأکید می‌کند، در نتیجه، استفاده از فن‌ها و روش‌های نوین مخابراتی و فناوری اطلاعات را تسهیل می‌کند (شکل ۶-۷) [۷].

- سطح فیزیکی

بر اساس پیشرفت‌های اخیر در محاسبات ابری و رادیو مبتنی بر نرم‌افزار (SDR)، شبکه دسترسی رادیویی ابری قادر است از پردازشگرهای عمومی همه‌منظوره با روش‌های چند هسته‌ای و چندپخشی استفاده کند تا پروتکل پردازش مجازی و متمرکز را در لایه‌های فیزیکی و لایه کنترل دسترسی (MAC) برای کاهش مصرف انرژی و بهبود قابلیت پردازش پیاده‌سازی نماید. انجام وظایف محاسباتی با استفاده از دیکو درهای چند ورودی-چند خروجی (MIMO) و کدینگ توربو در شبکه دسترسی رادیویی ابری ترجیح داده می‌شوند. برای استفاده

از این فناوری‌های سخت‌افزاری به‌طور مؤثر و انعطاف‌پذیر در شبکه دسترسی رادیویی ابری، مسائل مختلفی باید موردتوجه قرار گیرد.

- سطح کنترل

این سطح قابلیت‌های خود را بر اساس سطح فیزیکی اجرا می‌کند و از سطح سرویس پشتیبانی می‌کند. این سطح قابلیت دسترسی مبتنی بر کاربر و انتخاب شبکه دسترسی رادیویی را با آگاهی از وضعیت و آگاهی از برنامه فراهم می‌کند. این سطح عمدتاً شامل دو ماژول می‌باشد: ماژول مدیریت منابع^۱ (RMM) و ماژول تعمیر و نگهداری سرویس^۲ (SMM).

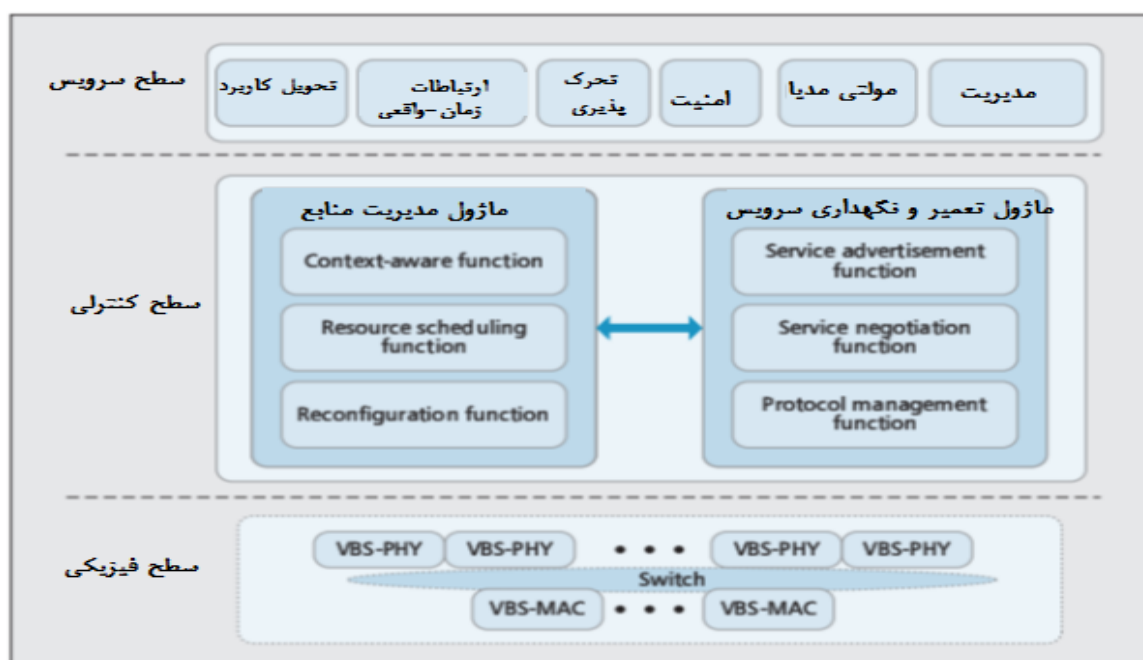
- سطح سرویس

سطح سرویس یک پلتفرم برای سرویس‌های همراه و ثابت است که توسط شرکت‌های مادر ارتباطات و فناوری اطلاعات مدیریت می‌شود. مشتریان سرویس خود را از ابر به دست می‌آورند، درحالی‌که هر سرویس می‌تواند توسط چندین فناوری دسترسی رادیویی به‌طور هم‌زمان پشتیبانی شود. این سطح شامل یک کتابخانه مقیاس‌پذیر از سرویس‌های مبتنی بر شبکه برای ارسال صدا، داده‌ها و برنامه‌های چندرسانه‌ای به شیوه‌ای سازگار و کارآمد است. این سرویس‌ها شامل موارد گوناگونی هستند.

شبکه دسترسی رادیویی ابری، رویکردهایی را که اکنون در حال بحث و گفتگو برای شبکه نسل پنجم است مانند فن‌آوری‌های چند ورودی، چند خروجی (MIMO) و فناوری دسترسی چندگانه به رادیو را تقویت خواهد کرد.

¹ Resource Management Module

² Service Maintenance Service



شکل ۶-۷ ساختار مبتنی بر ابر [۸]

۴-۷- مزایا و چالش‌های شبکه دسترسی رادیویی ابری

با رشد تقاضای کاربران برای سرویس‌های جدید، ترافیک داده‌های تلفن همراه پیوسته درحالی‌که افزایش است. اپراتورهای تلفن همراه نیز برای این منظور مجبور به افزایش ظرفیت در شبکه‌های خود هستند. برترین راه برای افزایش ظرفیت شبکه اضافه کردن سلول‌های کوچک^۱ به شبکه یا ایجاد شبکه با ساختار پیچیده‌ای از شبکه‌های ناهمگون^۲ و سلول‌های کوچک و یا به‌کارگیری فن‌هایی مثل سیستم چند ورودی چند خروجی حجیم (massive MIMO) است. به‌هرحال این روش‌ها با تداخل بین سلول‌ها و افزایش هزینه همراه است. با افزایش تقاضا، اپراتورهای تلفن همراه مجبور به پوشش افزایش هزینه‌های شبکه مشتمل بر هزینه‌های سرمایه‌گذاری (CAPEX) و هزینه‌های عملیاتی (OPEX) هستند. این درحالی‌که است که سود اپراتورها به ازای تعداد کاربران تقریباً ثابت است که نتیجه افزایش تقاضا همراه با توقع کاهش قیمت‌هاست.

شبکه دسترسی رادیویی ابری پاسخی برای چالش‌هایی است که اپراتورها با آن روبرو هستند و کاندیدای نسل بعدی فناوری‌های دسترسی به شبکه است که می‌تواند مشکل اپراتورها را حل کند. ایده اصلی شبکه‌های دسترسی رادیویی ابری ایجاد استخر پردازش سیگنال باند پایه به‌صورت مرکزی به‌جای پردازش سیگنال باند پایه به‌صورت توزیع‌شده در ایستگاه‌های پایه است.

¹ Small cells

² Heterogeneous networks

با توجه به پردازش سیگنال مرکزی، تعداد واحدهای باند پایه در شبکه ابری نسبت به شبکه‌های دسترسی رادیویی سنتی در نسل‌های قبل کاهش می‌یابد، بنابراین شبکه دسترسی رادیویی ابری، پتانسیل کاهش هزینه و مصرف انرژی را در مقایسه با شبکه‌های سنتی داراست. واحد باند پایه مجازی، وظیفه پردازش سیگنال در ابعاد وسیع ($Pool\ LSSP^1$) و تخصیص منابع رادیویی مشارکتی ($CRRA^2$) و هوشمند سازی شبکه را بر عهده دارد. واحدهای پردازش سیگنال در استخر واحد باند پایه به راحتی قابل افزایش و به روزرسانی اند که این امر، مقیاس پذیری شبکه را بهبود می بخشد. همچنین استخر واحد باند پایه قابل تقسیم هستند و اپراتورها می توانند به صورت مشترک آن را به عنوان یک سرویس ابری اجاره کنند. در ادامه مزایا و چالش‌های شبکه دسترسی رادیویی ابری ارائه شده است.

۷-۴-۱- مزایای شبکه دسترسی رادیویی

مزایای استفاده از شبکه دسترسی رادیویی به این شرح می باشد:

- ۱- مقیاس پذیری و سازگاری با ترافیک‌های غیریکنواخت
حداکثر بار ترافیک در شبکه سلولی حدوداً ۱۰ برابر ساعات حداقل بار ترافیک است بنابراین در شبکه دسترسی ابری که پردازش سیگنال به صورت مجتمع صورت می گیرد می توان با مدیریت منابع و تخصیص بهینه آن‌ها و استفاده از الگوریتم‌های تنظیم بار، کنترل به مراتب مطلوبی روی شبکه و منابع داشت.
- ۲- صرفه جویی در انرژی و هزینه
حدود ۸۰ درصد هزینه سرمایه گذاری شبکه (CAPEX) بر روی شبکه دسترسی رادیویی صرف می شود. در شبکه دسترسی رادیویی ابری با کاهش تعداد واحدهای باند پایه مصرف برق کاهش می یابد همچنین به خاطر معماری این شبکه از مصرف انرژی و هزینه‌های مربوط به تصفیه هوا در ایستگاه پایه کاسته می شود. از طرف دیگر نیاز به فیبر نوری در استخر پردازش سیگنال باعث افزایش هزینه‌های سرمایه گذاری می گردد.
- ۳- افزایش گذردهی^۳ و کاهش تأخیر
با قرار دادن منابع در استخر واحد باند پایه، ویژگی‌ها و روش‌های پیشرفته‌ای همچون عملیات چند نقطه هماهنگ شده (CoMP) و همچنین به کار بردن فن کنترل تداخل بین سلولی‌های مختلف (eICIC) بر روی شبکه قابل پیاده سازی است. همچنین با کاهش دست به دست شدن بین سلول‌ها به خاطر پردازش مرکزی بجای پردازش در ایستگاه پایه، تأخیر در سرویس کاهش می یابد.
- ۴- نگهداری و مدیریت آسان شبکه

1 Large-scale signal processing

2 Collaborative radio resource allocation

3 Throughput

نه تنها ظرفیت شبکه در شبکه دسترسی رادیوی ابری ارتقا می‌یابد، خطا و خرابی در شبکه نیز گاهی به وسیله استخر واحد باند پایه به صورت خودکار تصحیح می‌شود و شبکه مجدداً پیکربندی می‌شود، بنابراین خطای انسانی به حداقل می‌رسد.

۵- مقابله با تداخل بین سلولی

یک راه مشخص برای کاهش تداخل، فن استفاده مجدد از طیف و استفاده از فرکانس‌های متفاوت بین سلول‌های مجاور است ولی به دلیل اهمیت منابع فرکانسی و شلوغی باندهای فرکانسی استفاده از روش‌های دیگر در اولویت است. در روش کنترل تداخل بین سلولی (ICIC)، کاربران می‌توانستند فیدبکی به ایستگاه پایه بدهند که از تداخل روی حامل مشخصی رنج می‌برند سپس ایستگاه‌های پایه با ارتباط متقابل از آن حامل مشخص برای کاربر استفاده نمی‌کردند. در روش کنترل تداخل بین سلولی بهبود یافته (eICIC) که تکامل روش قبلی است از دامنه زمان استفاده می‌شود و بعضی زیرفریم‌ها برای کاربری که دچار تداخل است ارسال نمی‌شود. پیشرفته‌ترین روش مقابله با تداخل بین سلولی، عملیات چند نقطه هماهنگ شده (CoMP) می‌باشد. ایده این روش این است که سیگنال تداخل به سیگنالی مفید تبدیل شود. بدین ترتیب نسبت سیگنال به تداخل و نویز SINR برای کاربر افزایش می‌یابد. روش‌های مختلفی برای پیاده‌سازی این فن وجود دارد مثل شکل‌دهی پرتو هماهنگ شده^۲ و ارسال توأمان^۳. در شبکه دسترسی رادیوی ابری، این فن قابل پیاده‌سازی هست.

۷-۴-۲- چالش‌های شبکه دسترسی رادیوی ابری

با وجود پیشرفته‌ای انجام شده، شبکه دسترسی رادیوی ابری هنوز با چالش‌هایی به شرح زیر مواجه می‌باشد:

- ۱- نیاز به پهنای باند وسیع بین واحد رادیویی و استخر واحد باند پایه و حداقل تأخیر
- ۲- خوشه‌بندی و همکاری بین واحدهای باند پایه: برای اجرای فن عملیات چند نقطه هماهنگ شده (CoMP) نیاز به همکاری ایستگاه‌های پایه در تخصیص داده و زمان‌بندی است. سلول‌ها باید به صورت بهینه خوشه‌بندی و به یک استخر واحد باند پایه اختصاص یابند. همچنین برای صرفه انرژی نیز ایستگاه‌های پایه باید به صورتی انتخاب شوند تا تعداد واحدهای پردازش سیگنال و رادیویی بهینه شوند. برای کارآمدی طیف نیز فن‌های ارسال و دریافت مشارکتی برای مقابله با تداخل و گذردهی بهینه باید بکار گرفته شوند.

1 sub frame

2 Coordinated beamforming

3 joint transmission

۳- مجازی‌سازی: درواقع مفهوم شبکه دسترسی رادیوی ابری مثالی بر مجازی‌سازی شبکه و بر اساس مفهوم WNC¹ است که به اپراتورهای مجازی شبکه موبایل اجازه تخصیص منابع شبکه روی پلتفرم ارزان‌قیمت را می‌دهد. فناوری مجازی‌سازی توابع شبکه و شبکه مبتنی بر نرم‌افزار، دو ابزار و مفهوم مهم برای مجازی‌سازی شبکه‌های مخابراتی ازجمله شبکه دسترسی رادیوی ابری هستند. کاربرد شبکه مبتنی بر نرم‌افزار، جدا کردن سطح داده و سطح کنترل در شبکه است و یک کنترل‌کننده مرکزی و قابلیت برنامه‌نویسی شبکه را در اختیار اپراتور قرار می‌دهد. هرچند بکار بردن شبکه مبتنی بر نرم‌افزار در شبکه‌های نوین مخابراتی ضروری و اجتناب‌ناپذیر است ولی چالش‌هایی برای آن وجود دارد به‌طور مثال اول اینکه در صورت ازکارافتادن کنترل‌کننده مرکزی شبکه امکان ازکارافتادن کل شبکه وجود دارد دوم اینکه محل قرارگیری کنترل‌کننده باید بهینه‌سازی گردد و سوم اینکه کنترل‌کننده‌های شبکه مبتنی بر نرم‌افزار باید قابلیت مقیاس‌پذیری بالایی داشته باشند.

۴- استفاده از حافظه نهان در لبه: استفاده از حافظه نهان در لبه، ظرفیت بالای واحدهای ذخیره‌سازی با توجه به هزینه ناچیز آن‌ها نسبت به بیت ذخیره‌شده این واحدها را در شبکه موردتوجه قرار داده است. در شبکه دسترسی رادیوی ابری می‌توان این واحدهای ذخیره‌سازی را به واحدهای رادیو (RRH) با هزینه قابل قبولی اضافه نمود. این کار اولاً بار لینک جلویی که به استخر واحد باند پایه و از آن به هسته شبکه می‌رود را کاهش داده و ثانیاً تأخیر در ارسال داده را به حداقل می‌رساند.

۵- داده کلان: در شبکه موبایل، داده بزرگ با حجم، تنوع و ارزش آن‌ها توصیف می‌شوند و شامل سطح‌بندی‌های مختلف داده‌ها هستند که شبکه را به‌مراتب فعالانه‌تر می‌سازد. با توجه به قابلیت محاسباتی بالای استخر واحد باند پایه، روش‌های داده‌کاوی برای داده‌های بزرگ قابل پیاده‌سازی در شبکه دسترسی رادیوی ابری هستند. استفاده از فن‌های مربوط به داده کلان، شبکه را قادر می‌سازد اطلاعات باارزشی برای کاربردهای شبکه خودسازمان‌ده^۲ (SON) که بسیار موردتوجه هستند در اختیار بگیرد.

۶- ارتباط دستگاه به دستگاه (D2D): ارتباطات دستگاه به دستگاه به دلیل ویژگی بهبود کارامدی طیفی^۳ (SE) و کارامدی انرژی^۴ (EE) و کاربردهای نوین بسیار موردتوجه قرار دارد. برای بکار بردن این سیستم‌ها چالش‌های مختلفی باید برطرف شود. اولاً این‌که دو نوع مخابره دستگاه به دستگاه وجود دارد یکی بدون کمک ایستگاه پایه و دیگری با کمک ایستگاه پایه که سیگنال‌های کنترلی را به

1 Wireless Network Cloud

2 Self-Organizing Networks

3 Spectral Efficiency

4 Energy Efficiency

دستگاه‌ها ارسال کند، در شبکه دسترسی رادیوی ابری نوع اول این سیستم بکار گرفته می‌شود. نکته دیگر این است که ایستگاه پایه باید قادر به تغییر حالت بین شبکه دسترسی رادیویی ابری و ارتباط دستگاه به دستگاه باشد. همچنین عملکرد دستگاه به دستگاه در باندهای فرکانسی نزدیک به کاربران شبکه دسترسی نیز احتمال تداخل را افزایش می‌دهد.

۷- امنیت در لایه فیزیکی: به دلیل ماهیت مخابرات و کانال بی‌سیم، شبکه در خطر حملات متنوعی قرار دارد. به همین دلیل موضوع امنیت لایه فیزیکی اهمیت بالایی در بخش آکادمی و صنعتی پیدا کرده است. شبکه دسترسی رادیوی ابری به‌عنوان بخشی از مخابرات نسل آینده باید امنیت اطلاعات را تضمین کند. برای این چالش، واحد رادیو (RRH) می‌تواند امنیت شبکه را بالا ببرد. به‌طور خلاصه هر کاربر توسط خوشه‌ای از واحدهای رادیویی (RRHها) سرویس‌رسانی می‌شود. در این صورت بعضی از آن‌ها می‌توانند با ایجاد نويز مصنوعی نقش مختل‌کننده را برای حملات داشته باشند.

۳-۴-۷- استانداردسازی [۹]

شبکه دسترسی رادیوی ابری اولین بار توسط موسسه تحقیقات موبایل چین در آوریل ۲۰۱۰ در پکن، چین معرفی شد. مرحله اولیه توسعه شبکه دسترسی رادیوی ابری، بیشتر توسط کمک‌های شرکت‌های برجسته مانند China Mobile، هواوی، اریکسون، شبکه‌های نوکیا، زیمنس و دیگران انجام شد. تلاش‌های بعدی در خصوص استانداردسازی شبکه دسترسی رادیوی ابری، جداسازی عملیاتی در شبکه دسترسی رادیویی، توسعه فناوری سازگار با لینک انتقال جلویی و واسط‌های آن در واحد رادیویی و واحد ابری^۱ (CU) در حال انجام است.

فناوری شبکه دسترسی ابری در شبکه دسترسی نسل پنجم مطرح شده است و گزینه‌های مختلف برای شبکه دسترسی و واسط‌های آن به شبکه هسته در گزارش فنی "مطالعه فناوری شبکه دسترسی رادیویی: معماری شبکه دسترسی رادیویی و واسط‌های آن" (TR 38.801) از مجموعه گزارش‌های نهاد 3GPP منتشر شده است [۱۰].

همچنین مؤسسه ETSI نیز چارچوبی برای مجازی‌سازی شبکه مخابراتی ارائه می‌دهد که مستقیماً برای شبکه دسترسی رادیوی ابری قابل استفاده است.

۷-۵- جمع‌بندی

در این فصل، مفهوم شبکه دسترسی رادیویی ابری معرفی شد. معماری C-RAN و ساختار مبتنی بر ابر در شبکه دسترسی رادیویی شرح داده شد. سپس مزایا و چالش‌های آن به‌طور کامل ارائه شد. در پایان مختصری در خصوص تاریخچه و استانداردسازی این شبکه مطالبی ذکر گردید.

۷-۶- مراجع

- [1] S. H. Park, O. Simeone, O. Sahin, and S. Shamai Shitz, "Fronthaul compression for cloud radio access networks: Signal processing advances inspired by network information theory," IEEE Signal Process. Mag., vol. 31, no. 6, pp. 69–79, Nov. 2014.
- [2] G. Wang, Q. Liu, R. He, F. Gao, and C. Tellambura, "Acquisition of channel state information in heterogeneous cloud radio access networks: Challenges and research directions", IEEE Wireless Commun., vol. 22, no. 3, pp. 100–107, Jun. 2015.
- [3] "C-RAN: The road towards green RAN", Tech. Rep., version 3.0, China Mobile, Dec. 2013. Available at <http://labs.chinamobile.com/cran/wp-content/uploads/2014/06/20140613-CRAN-WP-3.0.pdf>.
- [4] Alireza MohammadHoseini, C-RAN Seminar, Amirkabir University of Technology, 1398
- [5] Guizani, Zeineb, and Nouredine Hamdi. "CRAN, H-CRAN, and F-RAN for 5G systems: Key capabilities and recent advances." International Journal of Network Management 27.5 (2017): e1973.
- [6] H. Guan, T. Kolding, and P. Merz, "Discovery of Cloud-RAN," in Proc. Cloud- RAN Workshop, Beijing, China, Apr. 2010.
- [7] Wu, Jun, et al. "Cloud radio access network (C-RAN): a primer." IEEE Network 29.1 (2015): 35-41..
- [8] Akyildiz, Ian F., Shih-Chun Lin, and Pu Wang. "Wireless software-defined networks (W-SDNs) and network function virtualization (NFV) for 5G cellular systems: An overview and qualitative evaluation." Computer Networks 93 (2015): 66-79.
- [9] NGMN Alliance, "Further study on critical C-RAN technologies", Mar. 2015
- [10] Gabriel Brown, et al., "Cloud RAN and the next-generation Mobile Network Architecture", Heavy Reading White 'Paper, 2017
- [11] Huawei, "Cloud RAN Introduction. The 4th CJK International Workshop Technology Evolution and Spectrum," Sept. 2011.
- [12] M. Peng, Y. Li, Z. Zhao, and C. Wang, "System architecture and key technologies for 5G heterogeneous cloud radio access networks," IEEE Netw., vol. 29, no. 2, pp. 6–14, Mar. 2015.

فصل ۸- برش شبکه^۱

۸-۱- مقدمه

انتظار می‌رود سیستم‌های نسل پنجم قادر به ایجاد یک تحول اساسی در ارسال اطلاعات برای مردم و سازمان‌ها باشند. این تحول علاوه بر فناوری و روش‌های دسترسی رادیویی، در نحوه پیکربندی شبکه مورد انتظار است به نحوی که اپراتورها بر اساس نوع و نیازهای سرویس شبکه را پیکربندی کنند.

شبکه‌های امروزی با معماری "یکی برای همه کاربردها" قادر به پاسخگویی به نیازهای سرویس‌های نوین نیستند و این موضوع که سیستم‌های نسل پنجم نیاز به بهبودهایی در به کارگیری و پیاده‌سازی دارند مشخص است. با به کارگیری شبکه نسل پنجم سرویس‌ها و کسب‌وکارهای جدیدی متصور هستند که در معماری شبکه‌های نسل چهارم قابل تحقق نبودند. به عنوان مثال فناوری‌های پوشیدنی برای مراقبت‌های پزشکی، فناوری حقیقت افزوده و حقیقت مجازی، مخابرات ماشین با ماشین مثل شبکه خودروهای خودران.

فناوری نسل پنجم باهدف ایجاد زیرساخت سرویس‌دهی با قابلیت ارائه کیفیت سرویس ثابت در شرایط متفاوت و سرویس‌های مختلف در حال تکامل است. برای دستیابی به این هدف شبکه نسل پنجم باید قادر به ارائه نرخ داده بالا، تأخیر بسیار محدود و تعداد بسیار بالای دستگاه‌ها با قابلیت تحرک با سرعت‌های بسیار بالا باشد. طراحی یک شبکه با پشتیبانی از موارد ذکر شده بر اساس عملکردهای مشخص، بسیار پیچیده و پرهزینه خواهد بود. راه‌حل این مسئله، فناوری برش شبکه است که یکی از فناوری‌های کلیدی در شبکه نسل پنجم برای برآورده کردن مشخصات آن خواهد بود. این موضوع از طریق فناوری‌های شبکه مبتنی بر نرم‌افزار و مجازی‌سازی توابع شبکه قابل‌دستیابی است که منجر به انعطاف و قابلیت برنامه‌نویسی در شبکه از طریق ساخت چندین شبکه منطقی که هر کدام سرویس‌های مشخصی را پشتیبانی می‌کنند می‌شود. به هر کدام از این شبکه‌های منطقی یک برش شبکه گفته می‌شود. هر برش شبکه به شبکه‌های منطقی انتها به انتها و مجزا گفته می‌شود که بر روی یک زیرساخت واحد بکار گرفته می‌شوند. این برش‌ها باید به اندازه‌ای منعطف باشند که بتوانند نیازهای گوناگون شبکه را پاسخگو باشند.

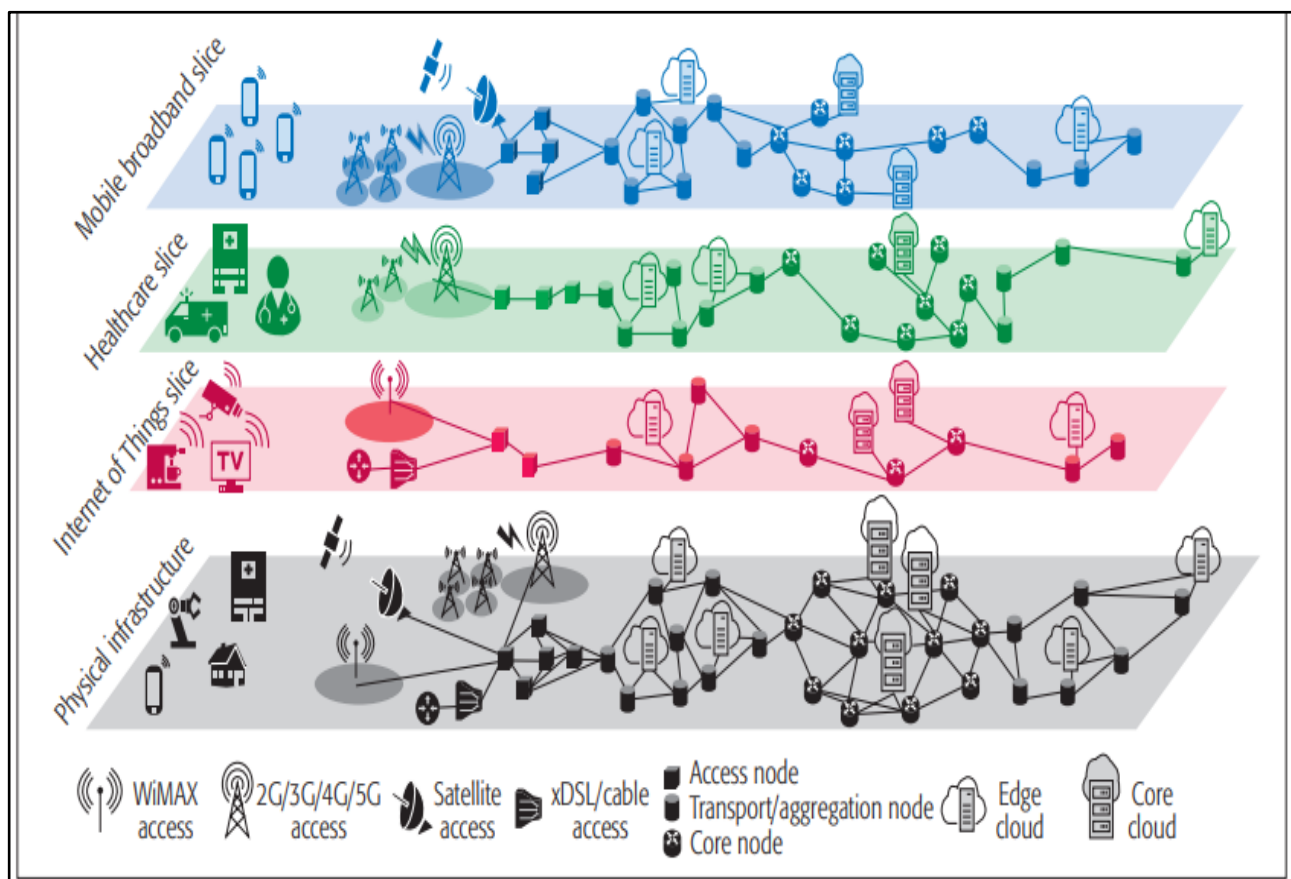
مفهوم برش شبکه به شبکه این قابلیت را می‌دهد تا عناصر و توابع شبکه برای دسترسی به نیازهای سرویس موردنظر، قابل تنظیم و پیکربندی باشند. هر برش از شبکه می‌تواند معماری و مکانیسم مخصوص به خود را داشته باشد. معماری‌های کنونی شبکه سلولی قابلیت انعطاف‌پذیری لازم برای پشتیبانی از بازه گسترده‌ای از نیازهای سرویس‌های مختلف را ندارند درحالی‌که برش شبکه در شبکه نسل پنجم می‌تواند شبکه را به چندین شبکه مجازی برش دهی کند که هر کدام می‌توانند برای پشتیبانی از یک سری سرویس‌ها با مشخصات گوناگون به شکل بهینه همانند شکل ۸-۱

¹ Network slicing

پیکره‌بندی شوند. این شکل، چگونگی جداسازی برش‌های مربوط به هر یک از سه گروه اصلی کاربردها در شبکه نسل پنجم را نشان می‌دهد. پیاده‌سازی برش‌های شبکه برای هر یک از این سرویس‌ها شامل واحدهای زیر هستند:

۱. eMBB: برش شبکه شامل توابع حافظه نهان، واحد داده و واحد ابر در کنار توابع کنترلی
۲. URLLC: قرار گرفتن همه توابع در لبه ابر جهت کاهش تأخیر
۳. اینترنت اشیای حجیم^۱ (mIoT): استقرار همه کاربردها در لایه بالا به منظور پشتیبانی از اتصالات ادوات در سرویس‌های متنوع تجاری

در هسته شبکه مبتنی بر نرم‌افزار و شبکه مجهز به فناوری مجازی‌سازی توابع شبکه، توابع و عناصر شبکه را با توجه به نیازهای هر برش شبکه مجازی می‌کنند؛ در شبکه دسترسی رادیویی نیز برش می‌تواند بر روی منابع فیزیکی مثل زمان و طیف انجام شود.



شکل ۱-۸ برش شبکه [۱]

¹ Massive IoT

۸-۲- مرور برخی مفاهیم

در این بخش برخی اصطلاحات فناوری برش شبکه مرور می‌شود [۱].

۸-۲-۱- منابع^۱ مجازی‌سازی

در حالت کلی یک منبع به یک واحد قابل مدیریت گفته می‌شود که به وسیله ویژگی‌های آن که برای ارائه سرویس استفاده می‌شوند توصیف می‌شود. یک برش شبکه شامل مجموعه‌ای از منابع است که برای ارائه سرویس به صورت مناسب باهم ترکیب می‌شوند. در فناوری برش شبکه با دو نوع از منابع مواجه هستیم:

۱. تابع شبکه (NF): این منابع، بلوک‌های عملکردی هستند که به شبکه قابلیت‌های مخصوصی می‌دهند تا سرویس خاصی را ارائه دهند. در حالت کلی به صورت واحدهایی نرم‌افزاری بر روی منابع زیرساختی پیاده‌سازی می‌شوند.

۲. منابع زیرساختی: این منابع به صورت سخت‌افزار یا نرم‌افزار برای میزبانی یا اتصال توابع شبکه به هم استفاده می‌شوند. این منابع شامل منابع محاسباتی و ذخیره‌سازی می‌شوند

۸-۲-۲- مجازی‌سازی^۲

در بحث ارائه سرویس، مجازی‌سازی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. مجازی‌سازی، اشتراک گذاشتن مؤثر منابع بین برش‌ها را ممکن می‌سازد و با کمک فن‌های مختلف، به معرفی یک منبع بر اساس قابلیت‌های آن می‌پردازد و جزئیات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری آن را می‌پوشاند. لذا سرور مجازی‌سازی با معرفی ماشین‌های مجازی که از زیرلایه‌های فیزیکی مستقل هستند، منجر به خلق شبکه‌های مجازی مجزا و راه‌اندازی آن‌ها بر بستر لایه فیزیکی می‌شوند. این امر مدل‌های جدید کسب‌وکار و نقش‌ها و بازیگران جدیدی را در این عرصه به ظهور خواهد رساند. دسته‌بندی این بازیگران اصلی به صورت زیر است [۱]:

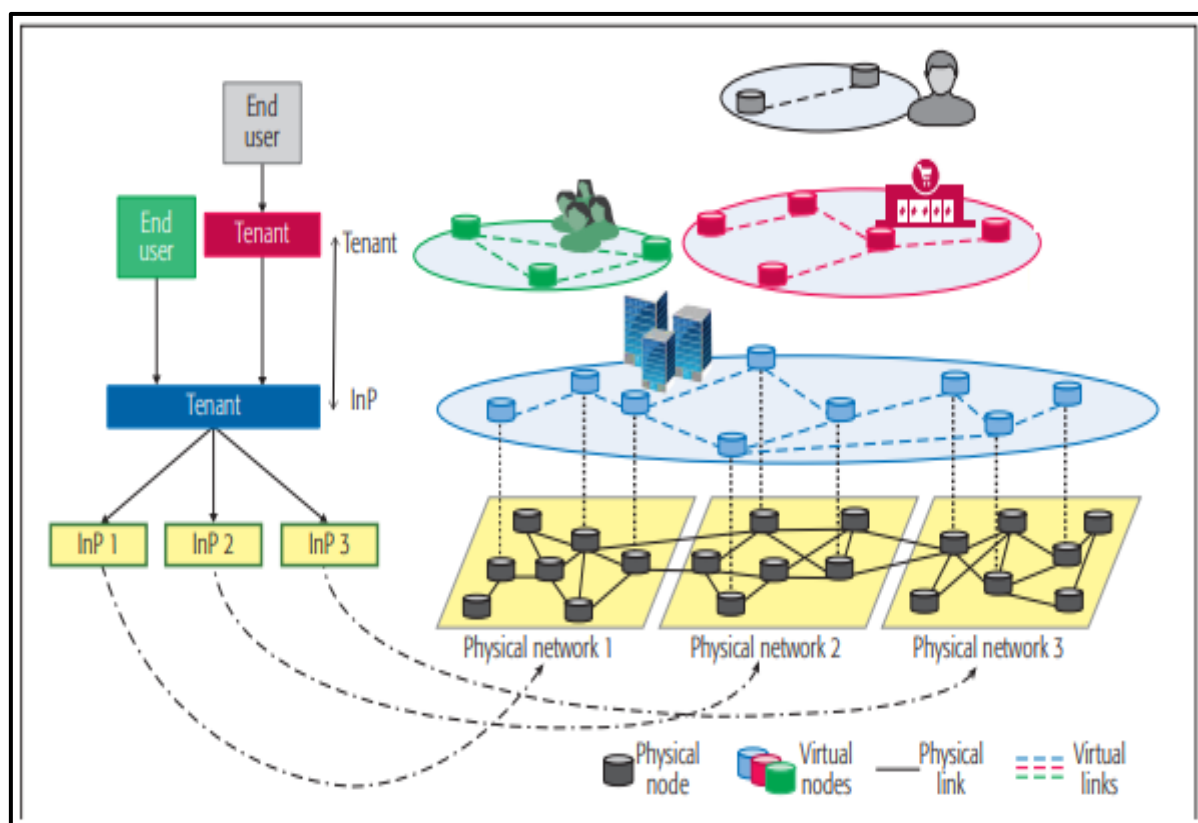
- ارائه‌دهندگان زیرساخت (InP): مالک و اداره‌کننده یک شبکه فیزیکی و منابع سازنده آن. این منابع که به صورت WANها و یا مراکز داده (DC) هستند، مجازی‌سازی شده و سپس از طریق برنامه‌های واسط به یک یا چند اجاره‌کننده پیشنهاد داده می‌شوند.
- اجاره‌کننده (Tenant): اجاره‌کننده، منابع مجازی را از یک یا چند InP برای تشکیل یک شبکه مجازی اجاره می‌کنند. به این ترتیب، اجاره‌کننده به تشخیص، فراهم‌سازی و مدیریت سرویس‌های لازم برای کاربران می‌پردازد.

¹ Resources

² Virtualization

- کاربر نهایی (End User): مصرف‌کننده (بخشی از) سرویس‌ها که توسط اجاره‌کننده ارائه شده‌اند بدون در اختیار قرار دادن سرویس‌ها به کسب‌وکارهای دیگر.

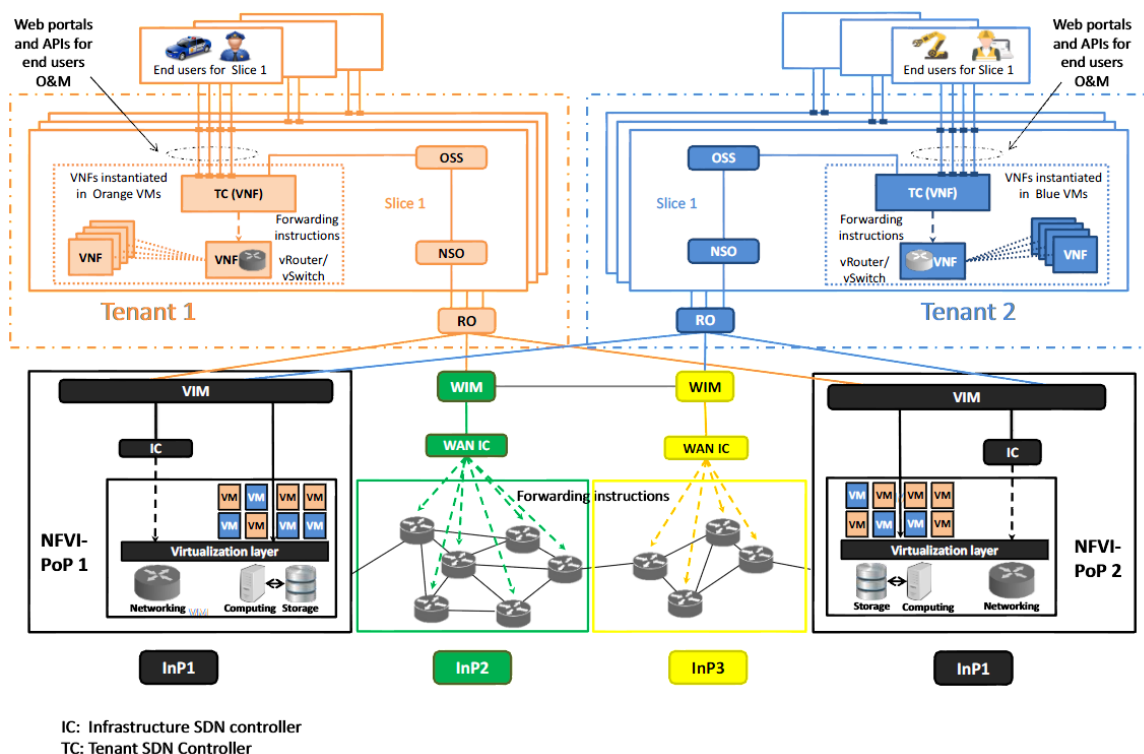
توجه به این نکته ضروری است که مجازی‌سازی روال بازگشتی دارد و تعریف دو گروه اول از بازیگران می‌تواند در الگوی عمودی چندلایه تعریف شود: اجاره‌کننده در یک لایه ممکن است به‌عنوان ارائه‌دهنده زیرساخت برای لایه بالاتر از خود شناخته شود. به عبارت دیگر، یک اجاره‌کننده می‌تواند سرویس‌های شبکه را به کاربر نهایی و یا به اجاره‌کننده دیگر ارائه دهد. در این صورت، اجاره‌کننده دوم این امکان را دارد که سرویس‌های شبکه پیشرفته‌تری را در اختیار کاربران خود قرار دهد. شکل ۲-۸ ساختار ارائه سرویس بازگشتی و چندلایه را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۸: ساختار ارائه سرویس به صورت چندلایه [۱]

در ادامه نمونه‌ای از پیاده‌سازی مفهوم برش شبکه با کمک فناوری‌های شبکه مبتنی بر نرم‌افزار و مجازی‌سازی توابع شبکه (شکل ۳-۸) مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این مدل، چندین برش بر روی یک زیرساخت مجازی‌سازی توابع شبکه (NFVI) اجرا می‌شود و شامل دو اجاره‌کننده است که هر یک تعدادی از برش‌ها را به کاربردهای خاصی اختصاص می‌دهند. هر برش شامل توابع مجازی شبکه است که سرویس‌های شبکه را در قالب برش به کاربران ارائه می‌دهند. در این مثال، اجاره‌کننده‌ها به منابع زیرساخت مجازی‌سازی توابع شبکه

(NFVI) از سه ارائه‌دهنده زیرساخت دسترسی دارند. ارائه‌دهنده زیرساخت InP2 و InP3، شبکه‌های مبتنی بر نرم‌افزار را ارائه می‌دهند.



شکل ۳-۸: پیاده‌سازی برش شبکه بر روی یک چارچوب به همراه دو مفهوم شبکه مبتنی بر نرم‌افزار و مجازی‌سازی توابع شبکه [۱]

در لایه بالای ارائه‌دهندگان زیرساخت، اجاره‌کننده‌ها به صورت مستقل به مدیریت برش‌های شبکه می‌پردازند. همچنین کنترل‌گر اجاره‌کننده شبکه مبتنی بر نرم‌افزار (که در شکل با TC نشان داده شده است) با کمک سوییچ‌ها و مسیرهای مجازی (در شکل با VNF نمایش داده شده است) به تعامل دستورالعمل‌ها با بخش‌های داخلی و ارائه سرویس به کاربران نهایی می‌پردازد. با توجه به شکل ۳-۸، مدیریت منابع باید در دو سطح انجام شود: سطح زیرساخت و سطح اجاره‌کننده. به علاوه با در نظر گرفتن برخی کاربران به عنوان اجاره‌کننده، برش‌های بیشتری را می‌توان در سطوح بعدی متصور شد.

۳-۲-۸- هماهنگ‌سازی^۱

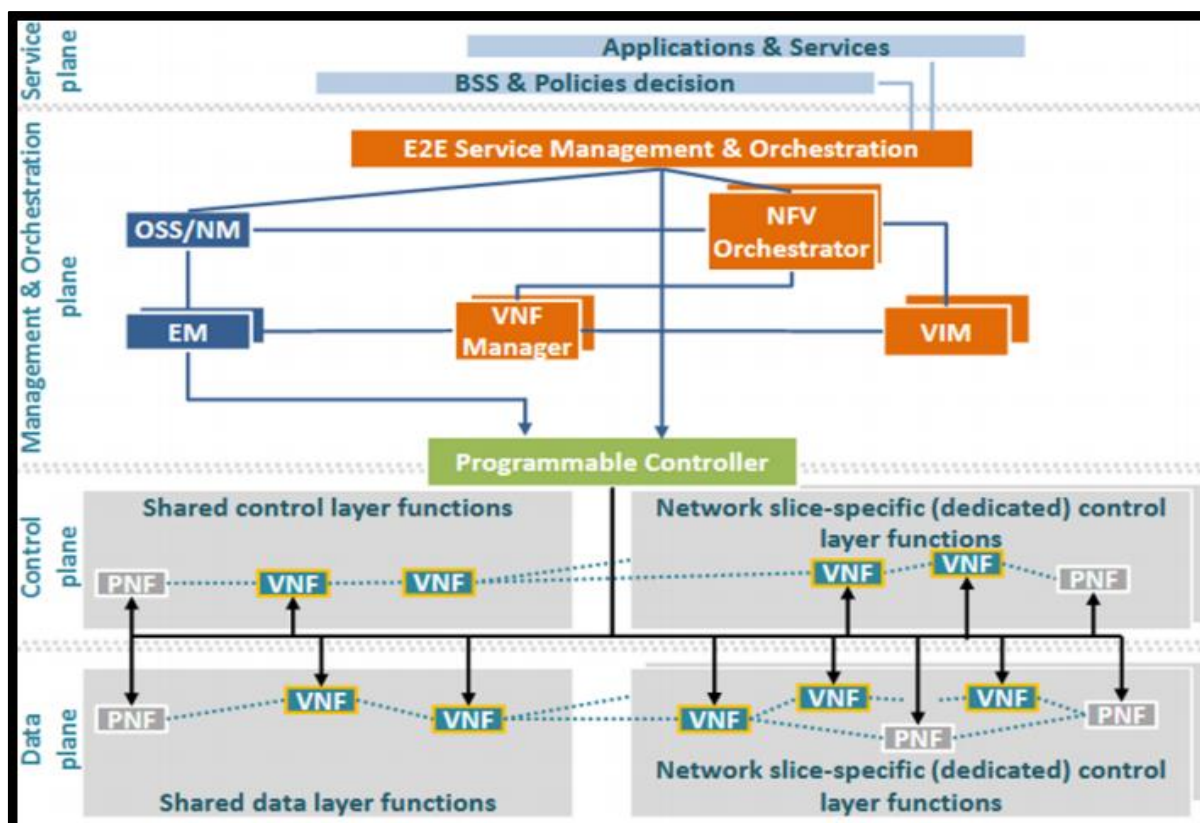
هماهنگ‌سازی نیز یکی از فرایندهای مهم در برش شبکه است. هماهنگ‌سازی به کنار هم قرار دادن اجزای مختلف و هماهنگ‌سازی بین آن‌ها گفته می‌شود. در محیط برش شبکه که اجزا بسیار متنوع هستند هماهنگ‌سازی برای ایجاد و مدیریت و تخصیص سرویس شبکه ضروری است. بنابر اسناد ONF هماهنگ‌سازی به فرایند پیوسته انتخاب منابع به صورت بهینه برای ارائه سرویس به کاربران گفته می‌شود. اصطلاح بهینه

¹ Orchestration

مربوط به قوانین و سیاست‌گذاری‌هایی است که هماهنگ‌سازی را کنترل می‌کنند و باید با SLA مربوط به سرویس کاربران سازگار باشد [۲].

هماهنگ‌سازی در برش شبکه نمی‌تواند در یک واحد مرکزی صورت گیرد زیرا نه تنها پیچیدگی عملیات هماهنگ‌سازی برای پیاده‌سازی در یک واحد بالاست بلکه در برش شبکه، استقلال واحد مدیریتی و قابلیت بازگشتی حیاتی است. در ساختار موردنظر، هر بازیگر در زمینه مجازی‌سازی، یک واحد برای هماهنگ‌سازی عملکردها دارد که در حال تبادل اطلاعات با واحدهای دیگر است. در معماری هماهنگ‌سازی برش شبکه که توسط نهاد 5G-PPP معرفی شده است بخش‌های زیر وجود دارند:

۱. مدیر و هماهنگ‌کننده سرویس انتها به انتها: این بخش دریافت‌کننده درخواست برش شبکه از صنایع عمودی است و بر اساس SLA و دیگر موارد برش شبکه را مدیریت می‌کند.
۲. هماهنگ‌کننده منابع مجازی: این بخش مسئول فعال‌سازی تابع شبکه مجازی و انجام عملیات مربوط به مدیریت و هماهنگ‌سازی مجازی‌سازی توابع شبکه (MANO) برای مدیریت چرخه حیات تابع شبکه مجازی است.



شکل ۴-۸ معماری هماهنگ‌سازی براساس 5GPPP [۲]

۳. مدیریت چرخه حیات: مسئول بخش‌های مدیریت، اجرا و عملیات (OAM) و مدیریت المان (EM) و ... است که در ادامه توضیح داده خواهد شد.

این طراحی یک جداسازی انعطاف‌پذیر بین بخش‌های داده و کنترل ایجاد می‌کند. پیاده‌سازی این معماری بر روی شبکه دسترسی رادیویی و هسته شبکه پراکنده تمرکز دارد؛ همچنین این طرح معماری از چندین اجاره‌کننده، پشتیبانی می‌کند. شکل ۴-۸، معماری هماهنگ‌سازی مطابق با 5G-PPP را ارائه می‌کند.

۴-۲-۸- مجزا سازی^۱

یکی از نیازهای اساسی برای عملکرد موازی برش‌های شبکه بر روی یک زیرساخت عمومی، مجزا سازی برش‌ها از یکدیگر است. این مجزا سازی از چند نقطه قابل بررسی است:

- عملکرد: هر برش از شبکه برای پاسخ به نیازهای خاصی ایجاد می‌شود که معمولاً به صورت KPI^2 مطرح می‌شود. مجزا سازی عملکرد، یک موضوع انتها به انتها است و باید اطمینان حاصل شود در هر برش نیازهای مختص به سرویس‌های آن برش بدون توجه به عملکرد سایر برش‌ها برآورده می‌شود.
- امنیت: حملات و عیب‌های یک برش نباید بر روی سایر برش‌ها اثری داشته باشد. بعلاوه هر برش باید توابع امنیتی خود را داشته باشد که مانع از عمل غیرمجاز یک واحد در آن برش شود.
- مدیریت: هر برش شبکه باید به صورت مجزا مدیریت و کنترل شود.

برای دستیابی به مجزا سازی در برش شبکه باید یک مجموعه از قوانین و مکانیسم‌ها در هر لایه از مجازی‌سازی تعریف شود. از منظر ما نیاز به تعامل بازیگران مجازی‌سازی با هماهنگ‌سازی برای این بخش حیاتی است.

۳-۸- شبکه مبتنی بر نرم‌افزار (SDN)

معماری شبکه مبتنی بر نرم‌افزار مطرح‌شده از طرف ONF شامل یک بخش کنترل میانی که به صورت پویا پیکربندی می‌شود و منابع بخش داده را برای سرویس رسانی به کاربران در بخش برنامه کاربردی چکیده‌سازی می‌کند. این معماری با نیازهای فناوری برش شبکه در شبکه نسل پنجم سازگار است که باید نیازهای دسته وسیعی از سرویس‌ها را به شیوه‌ای بهینه پاسخگو باشد. بنابراین معماری شبکه مبتنی بر نرم‌افزار ابزاری مناسب برای دستیابی به برش شبکه را در اختیار قرار می‌دهد.

بنابراین اجزای اصلی معماری شبکه مبتنی بر نرم‌افزار که در شکل ۸-۵ ارائه شده است شامل منابع و کنترل‌کننده‌هاست. در شبکه مبتنی بر نرم‌افزار یک منبع هر چیزی است که در ارائه سرویس به کاربران

¹ Isolation

² key performance indicator

استفاده می‌شود و شامل منابع زیرساختی و توابع شبکه و سرویس شبکه است. یک کنترل‌کننده یک واحد منطقی متمرکز است که در بخش کنترل فعال‌سازی می‌شود که منابع شبکه مبتنی بر نرم‌افزار را برای ارائه سرویس به کاربران استفاده می‌کند. بنابراین این واحد بین کاربران و منابع قرار می‌گیرد و نقش سرور و مشترک را به صورت هم‌زمان بر اساس محتوای سرور و مشترک اجرا می‌کند. منظور از محتوا^۱ اجزای مفهومی در کنترل‌کننده است که عملکرد آن را تعریف می‌کند:

- محتوای مشترک^۲: شامل تمام اطلاعاتی است که کنترل‌کننده برای ایجاد ارتباط با یا پشتیبانی از یک مشترک به آن نیاز دارد. این بخش شامل دو مورد است. مورد اول، گروه منابع^۳ که شامل یک چکیده انتزاعی از منابع است که کنترل‌کننده از طریق واسط شمالی به مشترک ارائه می‌دهد تا سرویسی به آن اختصاص دهد. مورد دوم پشتیبان کلاینت است که شامل همه موارد موردنیاز برای پشتیبانی از عملیات مشترکین است. این بخش شامل سیاست‌هایی است که مشترک قادر به دریافت یا دیدن آن است.
- محتوای سرور: شامل اطلاعاتی است که کنترل‌کننده برای ارتباط با منابعی که در گروه منابع است از طریق واسط جنوبی به آن نیاز دارد.

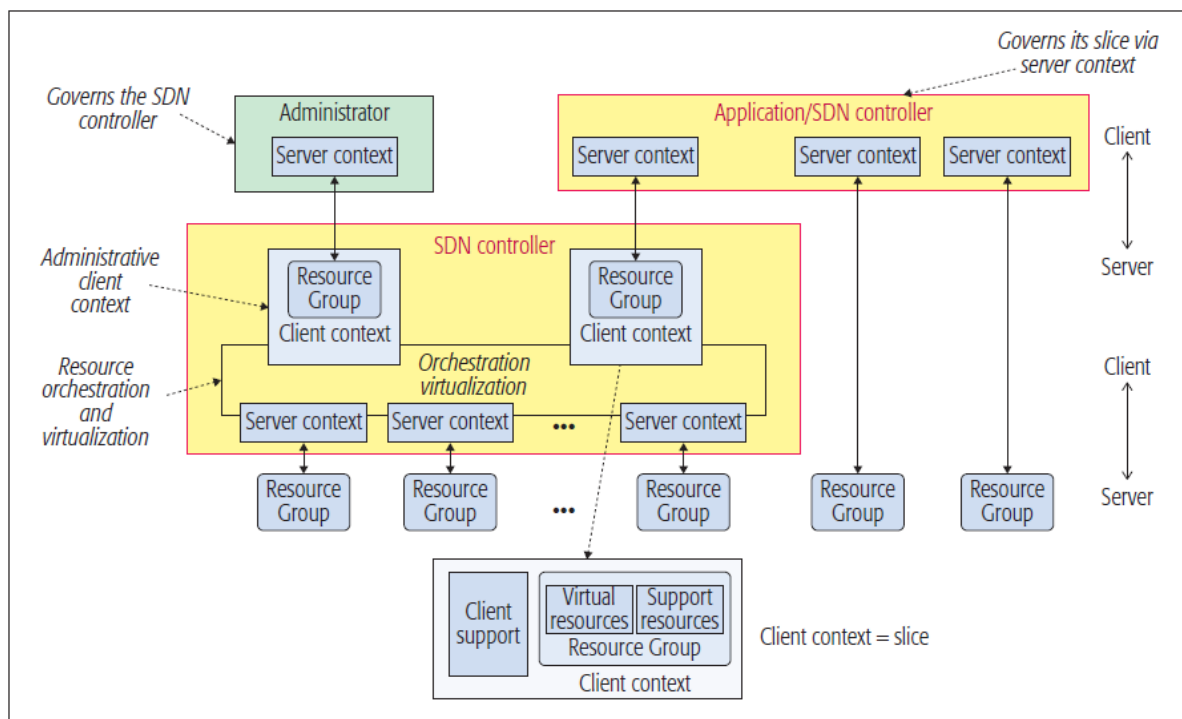
زمانی که تابع مجازی‌سازی اجرا می‌شود کنترل‌کننده شبکه مبتنی بر نرم‌افزار، چکیده‌سازی و تقسیم/تجمع منابع را انجام می‌دهد. با استفاده از فواید مجازی‌سازی هر محتوای کلاینت، گروهی از منابع را ایجاد می‌کند که مشترک برای دریافت سرویس به آن نیاز دارد. با استفاده از هماهنگ‌سازی، کنترل‌کننده شبکه مبتنی بر

¹ context

² Client context

³ resource group

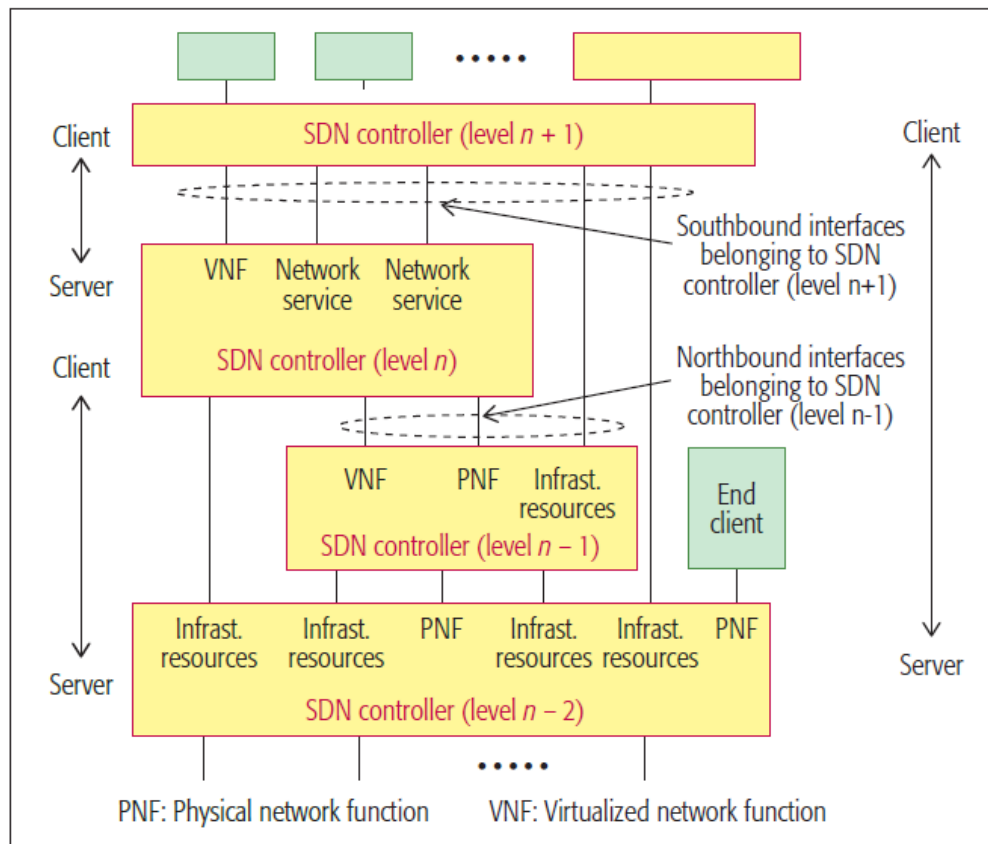
نرم‌افزار، با استفاده از توابع خود در کنار پاسخ به نیازهای سرویس‌های مختلف، عملیات مجزا سازی را نیز انجام می‌دهد.



شکل ۵-۸ تقسیم‌بندی محتوا در شبکه مبتنی بر نرم‌افزار [۱]

معماری شبکه مبتنی بر نرم‌افزار شامل یک واحد مدیریتی است. این بخش فعال‌سازی و مدیریت هر واحد کنترل‌کننده را بر عهده دارد که شامل ایجاد محتوای کلاینت و محتوای سرور و سیاست‌گذاری‌هایی مورد نیاز است. بر اساس اسناد ONF معماری شبکه مبتنی بر نرم‌افزار از برش شبکه پشتیبانی می‌کند. یکی دیگر از موارد معماری شبکه مبتنی بر نرم‌افزار، مفهوم بازگشت است. بر اساس این مفهوم بخش کنترل شبکه مبتنی بر نرم‌افزار می‌تواند شامل چندین کنترل‌کننده که به صورت سلسله‌ای مرتب‌شده‌اند باشد که مفهوم کلاینت-

سرور را در چندلایه گسترش دهد (شکل ۶-۸). این مطلب نشان می‌دهد معماری شبکه مبتنی بر نرم‌افزار از مفهوم بازگشتی موردنظر در برش شبکه پشتیبانی می‌کند.



شکل ۶-۸ مفهوم بازگشتی در شبکه مبتنی بر نرم‌افزار [۱]

۸-۴- مجازی‌سازی توابع شبکه (NFV)

بر اساس آنچه گفته شد شبکه مبتنی بر نرم‌افزار با اضافه کردن قابلیت‌هایی در بخش کنترل، برش شبکه را میسر می‌کند. با این وجود این فناوری توانایی مدیریت چرخه حیات برش‌های شبکه و منابع آن را ندارد. معماری مجازی‌سازی توابع شبکه، راه‌حل مناسبی برای حل این چالش است. این فناوری منابع زیرساختی را مدیریت می‌کند و با هماهنگ‌سازی تخصیص این منابع را برای ایجاد سرویس شبکه میسر می‌سازد.

برای بهره بردن از مزایای مدیریت و هماهنگ‌سازی مجازی‌سازی توابع شبکه، همکاری این فناوری با فناوری شبکه مبتنی بر نرم‌افزار حیاتی است. هرچند تلفیق معماری شبکه مبتنی بر نرم‌افزار و مجازی‌سازی توابع شبکه بر روی یک چارچوب مشترک آسان نیست ولی مؤسسه استانداردسازی ETSI، چارچوبی را برای پیاده‌سازی شبکه مبتنی بر نرم‌افزار در معماری مجازی‌سازی توابع شبکه ارائه می‌دهد. این چارچوب شامل دو

کنترل‌کننده شبکه مبتنی بر نرم‌افزار است که یکی در بخش اجاره‌کننده و یکی در بخش ارائه‌دهنده‌ی زیرساخت قرار می‌گیرد. در ادامه واحدهای معماری مجازی‌سازی توابع شبکه به‌صورت خلاصه آورده شده‌ست:

- زیرساخت مجازی‌سازی توابع شبکه (NFVI): شامل مجموعه‌ای از منابع است که میزبانی و اتصال توابع شبکه مجازی (VNF) است. درحالی‌که این منابع تنها شامل منابع زیرساختی است.
- توابع شبکه مجازی (VNF): پیاده‌سازی نرم‌افزاری توابع شبکه بر روی زیرساخت مجازی‌سازی توابع شبکه.
- مدیریت و هماهنگ‌سازی مجازی‌سازی توابع شبکه (MANO): شامل عملیات مدیریت و هماهنگی و اتوماسیون در معماری مجازی‌سازی توابع شبکه است. این بخش خود شامل سه بلوک عملکردی است:
 - مدیر زیرساخت مجازی (VIM): مسئول کنترل و مدیریت منابع NFVI است.
 - مدیر توابع شبکه مجازی (VNFM): پیکربندی و مدیریت چرخه حیات توابع مجازی شبکه را بر عهده دارد.
 - هماهنگ‌کننده: این واحد بر اساس اسناد مؤسسه استانداردسازی ETSI دو بخش عملکردی دارد. یکی هماهنگ‌کننده منابع (RO) که منابع NFVI را در بین VIM‌ها هماهنگ می‌کند. دیگری هماهنگ‌کننده سرویس‌های شبکه^۱ (NSO) که مدیریت چرخه حیات سرویس‌های شبکه را انجام می‌دهد.
- سیستم مدیریت شبکه^۲ (NMS): ساختاری که عملیات مربوط به مدیریت شبکه را انجام می‌دهد. هرچند این واحد در راستای فعالیت‌های مدیریت و هماهنگ‌سازی مجازی‌سازی توابع شبکه (MANO) است ولی در واقعیت به‌طور کامل از آن مجزاست. این واحد شامل بخش‌های زیر است:
 - مدیریت امان (EM): بخشی که مسئول عملیات مدیریتی خرابی، پیکربندی، صورت‌حساب، کارایی و امنیت (FCAPS) در یک تابع شبکه مجازی است.
 - سیستم پشتیبانی تجاری/عملیاتی (OSS/BSS): مجموعه‌ای از سیستم‌ها و برنامه‌های مدیریتی است که ارائه‌دهنده‌ی سرویس شبکه برای مدیریت و انجام سرویس شبکه از آن استفاده می‌کند.

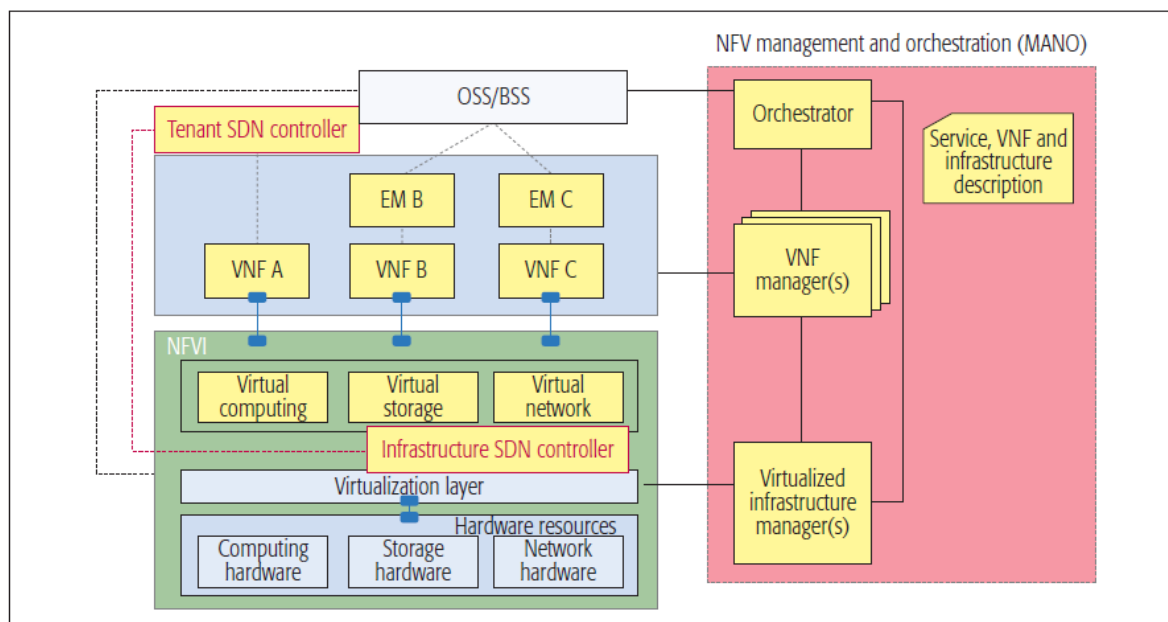
¹ Network Services Orchestrator

² Network Management System

مؤسسه استانداردسازی ETSI طرحی شامل دو کنترل‌کننده شبکه مبتنی بر نرم‌افزار در معماری ارائه می‌دهد. هر کنترل‌کننده قابلیت‌های بخش کنترل را متمرکز می‌کند. این کنترل‌کننده‌ها عبارت‌اند از:

- کنترل‌کننده شبکه مبتنی بر نرم‌افزار زیرساخت: این کنترل‌کننده مدیریت منابع شبکه را برای ایجاد اتصال بین توابع شبکه مجازی بر عهده دارد. با استفاده از مدیر زیرساخت مجازی (VIM) این کنترل‌کننده عملکرد زیرساخت را تغییر می‌دهد.
- کنترل‌کننده شبکه مبتنی بر نرم‌افزار اجاره‌کننده^۱ (TC): این کنترل‌کننده به‌عنوان یک تابع شبکه مجازی و به‌عنوان بخشی از سیستم مدیریت شبکه (NMS) در حوزه اجاره‌کننده فعال‌سازی می‌شود. این کنترل‌کننده به‌صورت پویا توابع شبکه مجازی را مدیریت می‌کند تا سرویس شبکه اجاره‌کننده محقق شود. بخش‌های مدیریتی این کنترل نیز توسط برنامه‌های کاربردی مثل سیستم پشتیبانی عملیاتی (OSS) انجام می‌شود.

هر دو کنترل‌کننده منابع خود را از طریق واسط‌های جنوبی بر اساس پروتکل‌هایی مثل Open flow و NETCONF^۲ کنترل و مدیریت می‌کنند. هر کنترل‌کننده سطح‌های متفاوتی از چکیده‌سازی انتزاعی را دارا هستند. درحالی‌که کنترل‌کننده اول از ارتباط بین توابع شبکه مجازی پشتیبانی می‌کند کنترل‌کننده دوم از ترکیبی از توابع مجازی شبکه در اجاره‌کننده پشتیبانی می‌کند که سرویس شبکه‌ای را ایجاد می‌کند (شکل ۸-۷).



شکل ۸-۷ معماری مجازی‌سازی توابع شبکه مجهز به شبکه مبتنی بر نرم‌افزار [۱]

^۱ Tenant SDN Controller

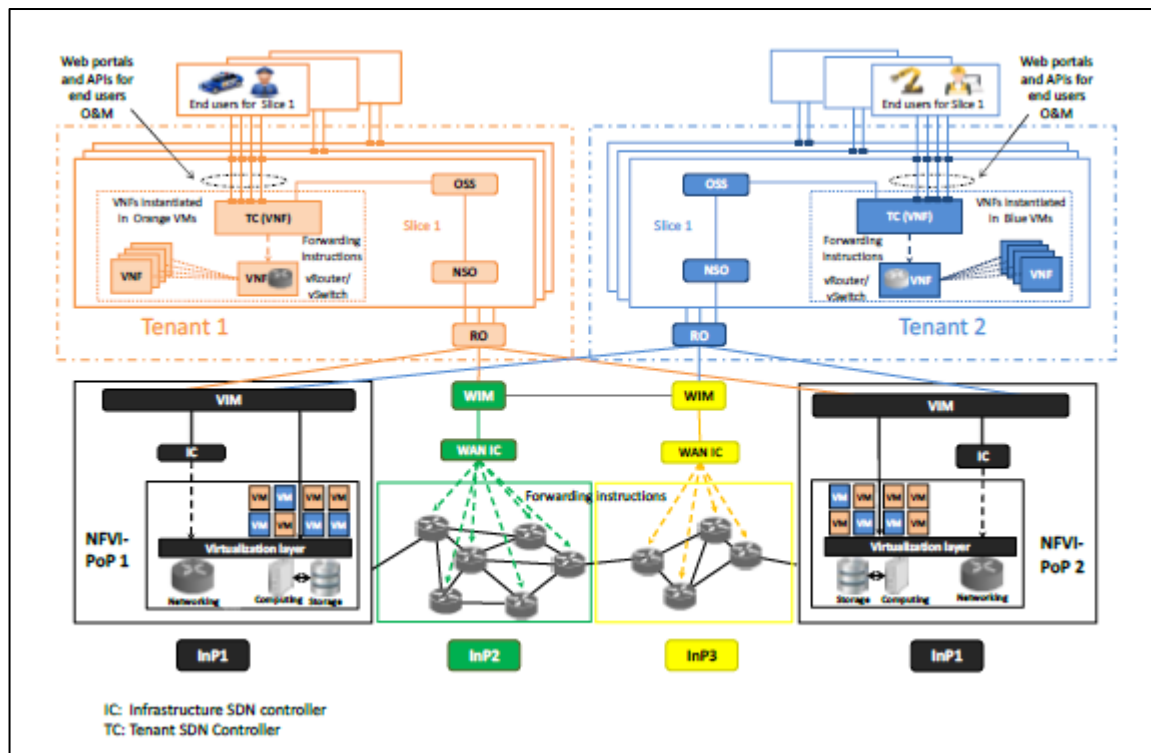
^۲ Network Configuration Protocol

۵-۸- برش شبکه با استفاده از شبکه مبتنی بر نرم‌افزار و مجازی‌سازی توابع شبکه

در این بخش مثالی از پیاده‌سازی مجازی‌سازی توابع شبکه که مجهز با شبکه مبتنی بر نرم‌افزار است که نمایشگر مفهوم برش شبکه است را بررسی می‌کنیم. برش‌های شبکه بر روی زیرساخت مجازی‌سازی توابع شبکه مشترک عمل می‌کنند. این پیاده‌سازی شامل دو اجاره‌کننده است که هرکدام مدیریت چندین برش را بر عهده‌دارند. در این پیاده‌سازی یک سطح بازگشت وجود دارد به این معنا که اجاره‌کننده به‌طور مستقیم به کاربران سرویس ارائه می‌دهد. هر برش مشتمل بر توابع شبکه مجازی است که ترکیب آن‌ها سرویس شبکه را ایجاد می‌کند. پیاده‌سازی شامل دو بخش است بخش اول فاز ایجاد برش است که کاربر یک برش را بر اساس برش‌های در دسترس درخواست می‌کند سپس اجاره‌کننده این برش را فعال‌سازی می‌کند در فاز اجرا بلوک‌های عملیاتی مختلف درون هر برش شروع به اجرای عملیات می‌کنند که سرویس به کاربر ارائه شود. در این پیاده‌سازی اجاره‌کننده‌ها از طریق سه ارائه‌دهنده زیرساخت به منابع دسترسی پیدا می‌کنند. ارائه‌دهنده‌ی زیرساخت اول منابع محاسباتی و اجرایی شبکه را در اختیاردارند. هرکدام روی یک نقطه حضور زیرساخت مجازی‌سازی توابع شبکه بر روی مراکز داده به کار گرفته می‌شود. ارائه‌دهنده‌ی زیرساخت دوم و سوم شبکه‌های انتقال WAN و مجهز به شبکه‌های مبتنی بر نرم‌افزار هستند که نقاط حضور را به هم متصل می‌کنند. منابع شبکه که اتصال توابع شبکه مجازی را در لایه زیرساخت برعهده‌دارند توسط کنترل‌کننده اول با استفاده از مدیر زیرساخت مجازی (VIM) و مدیر زیرساخت شبکه WAN یا به‌اختصار WIM مدیریت می‌شوند. هر دوی VIM و WIM به‌عنوان برنامه‌های کاربردی شبکه‌های مبتنی بر نرم‌افزار عمل می‌کنند. اجاره‌کنندگان به‌صورت مستقل برش‌های شبکه را مدیریت می‌کنند. هر برش شامل یک سیستم پشتیبانی عملیاتی و یک هماهنگ‌کننده سرویس‌های شبکه (NSO) و یک کنترل‌کننده شبکه مبتنی بر نرم‌افزار اجاره‌کننده (TC) است. سیستم پشتیبانی عملیاتی درواقع یک برنامه کاربردی برای شبکه‌های مبتنی بر نرم‌افزار است که به کنترل‌کننده فرمان‌هایی برای مدیریت برش‌ها می‌دهد. چرخه حیات سرویس شبکه توسط هماهنگ‌کننده سرویس‌های شبکه (NSO) مدیریت می‌شود که با کنترل‌کننده اجاره‌کننده شبکه مبتنی بر نرم‌افزار به‌وسیله سیستم پشتیبانی عملیاتی در ارتباط است.

هر اجاره‌کننده باید منابع خود را به‌صورت کارآمد مدیریت و هماهنگ‌سازی کند و همچنین نیازهای برش‌های مختلف شبکه پاسخ دهد. واحد هماهنگ‌کننده منابع (RO) این وظایف را برای اجاره‌کننده انجام می‌دهند درواقع هماهنگ‌کننده منابع، منابع را بین برش‌ها به اشتراک می‌گذارد. منابع در دسترس اجاره‌کننده توسط ارائه‌دهنده‌های زیرساخت مختلف ارائه می‌شوند. هر ارائه‌دهنده‌ی زیرساخت بر اساس قراردادی که با اجاره‌کننده دارد بخشی از منابع خود را به‌صورت مجازی شده در اختیار آن واحد قرار می‌دهد. برای دسترسی به این منابع، هماهنگ‌کننده منابع با واحدهای VIM/WIM در تعامل است. مدیریت منابع در دو سطح انجام

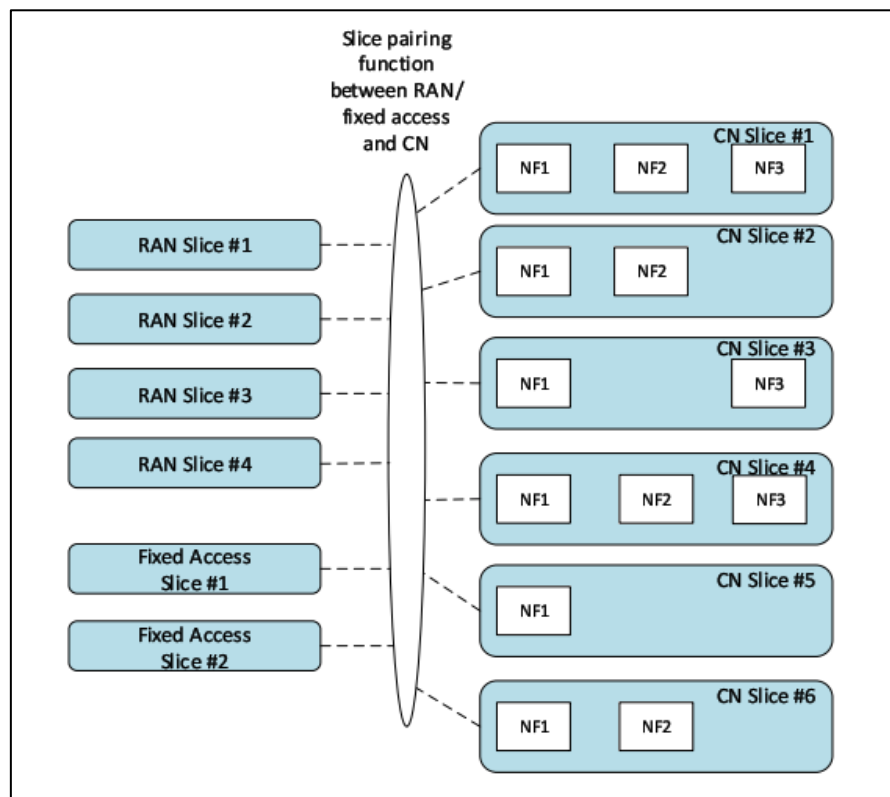
می‌شود: یکی در سطح زیرساخت که VIM/WIM منابع مجازی شده زیرساختی را به اجاره‌کننده اختصاص می‌دهند و در سطح اجاره‌کننده که هماهنگ‌کننده منابع، منابع در اختیار اجاره‌کننده را به برش‌های مختلف ارائه می‌دهد (شکل ۸-۸).



شکل ۸-۸ برش شبکه با استفاده از شبکه مبتنی بر نرم‌افزار و مجازی‌سازی توابع شبکه

۸-۶- معماری سیستم برش شبکه [۳]

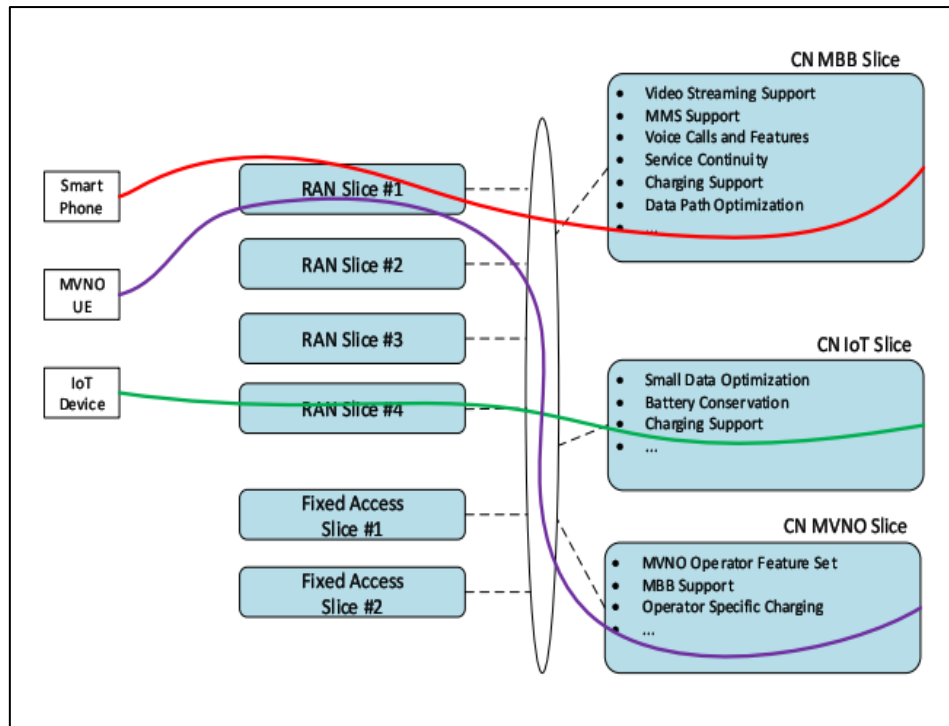
در شکل ۸-۹ معماری سیستم برش شبکه آورده شده است.



شکل ۸-۹ برش شبکه در هسته و شبکه دسترسی شبکه

این معماری شامل بخش‌های برش دسترسی و برش هسته و تابع انتخاب عملکرد است که وظیفه آن کامل کردن برش شبکه با اتصال بخش‌های آن است. هر برش هسته شبکه شامل چندین تابع شبکه است که هر کدام می‌توانند در یک یا چند برش شبکه نقش داشته باشند.

جفت برش دسترسی شبکه و برش هسته شبکه می‌توانند به صورت ایستا یا پویا ترکیب و انتخاب شوند تا نیازهای مربوط به سرویس‌های متعلق به آن برش از شبکه را برآورده کنند. در شکل ۸-۱۰ چند مثال از برش‌های شبکه آورده شده است. برخی از برش‌های شبکه می‌توانند یک برش دسترسی شبکه را به صورت مشترک استفاده کنند. برخی برش‌های شبکه دیگر می‌توانند دارای برش دسترسی و برش هسته مختص به خود باشند.



شکل ۱۰-۸ برش‌های شبکه برای سرویس‌های خاص

نهاد NGMN¹ یک معماری سه لایه برای برش شبکه پیشنهاد کرده است:

۱. لایه سرویس که سرویس‌های کاربران را پشتیبانی می‌کند و توسط اپراتور یا شرکت خصوصی واسط ارائه می‌شود.

۲. لایه برش شبکه که شامل بخش‌های برش شبکه برای ارائه سرویس است

۳. لایه منابع که توابع و منابع فیزیکی و مجازی است که در هر برش از شبکه قرار دارد.

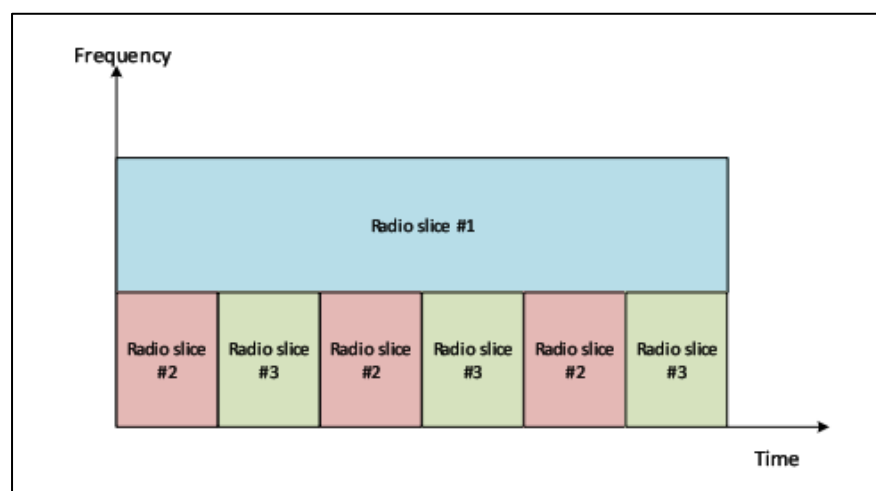
۱-۶-۸- برش شبکه در شبکه دسترسی رادیویی

برش شبکه دسترسی رادیویی یک نگاهت از شماره برش به مجموعه‌ای از تنظیمات درون شبکه دسترسی رادیویی است. بنابراین به جای جدا کردن لایه‌های کنترل و داده توابع در شبکه دسترسی رادیویی تنظیماتی برای شبکه دسترسی رادیویی مربوط به هر برش وجود دارد که سرویس‌های مربوط به آن برش را پشتیبانی کند.

در ادامه برخی جنبه‌های طراحی برش شبکه دسترسی رادیویی مطرح شده است:

¹ Next Generation Mobile Networks

۱. مدیریت منابع: برش‌های شبکه دسترسی می‌توانند منابع شبکه دسترسی (مانند زمان و طیف) و سخت‌افزارهای پردازشی را بر اساس تنظیماتی به اشتراک بگذارند. اشتراک منابع رادیویی بین برش‌های شبکه می‌تواند بر اساس برنامه‌ریزی^۱ یا بر اساس رقابت^۲ باشد. اگر بر اساس برنامه‌ریزی باشد هر برش درخواستی برای منبع به یک برنامه‌ریز مرکزی مانند برنامه‌ریز درون ایستگاه پایه ارسال می‌کند. سپس برنامه‌ریز بر اساس قوانینی منبع درخواستی را در صورت وجود به برش اختصاص می‌دهد. در اشتراک منابع بر اساس رقابت نیز طبق قوانینی برشی که زودتر درخواست داده منبع در اختیارش قرار می‌گیرد و بقیه برش‌ها باید در انتظار بمانند. در شکل ۸-۱۱ مثالی از تخصیص منابع رادیویی به هر برش شبکه قابل مشاهده است



شکل ۸-۱۱ تخصیص منابع رادیویی در هر برش شبکه

۲. لایه کنترل و لایه داده: همه برش‌ها نیاز به تمام توابع لایه کنترل ندارند و تنظیمات برش دسترسی رادیویی آن‌ها، توابعی را که نیاز دارند مشخص می‌کند. در لایه داده کاربر نیز هر برش می‌تواند پروتکل‌های پشته مختلفی داشته باشد مثلاً یک برش می‌تواند شامل چندین کلاس کیفیت سرویس باشد و برشی دیگر فقط شامل یک کلاس کیفیت سرویس باشد.

۳. کنترل مجوز برش: این بخش برای همه برش‌های شبکه برای دسترسی مورد نیاز است. به عنوان مثال با به کارگیری قوانین کنترل مجوز برش یک کاربر که در یک برش از شبکه سرویس می‌گیرد ممکن است قادر به اتصال به یک نقطه دسترسی^۳ (AP) نباشد چون آن برش از شبکه روی نقطه دسترسی فعال نیست.

¹ Scheduling

² Contention

³ Access Point

۴. آگاهی کاربر از تنظیمات شبکه دسترسی رادیویی: یک کاربر ممکن است از تنظیمات شبکه دسترسی رادیویی برای ارائه سرویس‌ها باخبر باشد یا نباشد. به‌عنوان مثال شبکه دسترسی رادیویی، منابع رادیویی موردنیاز را در اختیار یک کاربر برای گرفتن سرویس موردنظر قرار می‌دهد و تنظیمات آن ممکن است برای کاربر مشخص باشد ولی در حالتی دیگر کاربر باید تنظیمات شبکه دسترسی رادیویی را دریافت کند تا به سرویس دسترسی داشته باشد.

۲-۶-۸- برش شبکه در هسته

هسته‌های شبکه معمولاً به‌عنوان یک واحد از نیازهای کاربران پشتیبانی می‌کرد. تکامل فناوری به سمت شبکه مبتنی بر نرم‌افزار و مجازی‌سازی توابع شبکه و مجازی‌سازی این قابلیت را به هسته شبکه افزوده است تا به شکلی منعطف و مقیاس‌پذیر و پویا شبکه را پیکربندی کنند. برش شبکه به هسته این امکان را می‌دهد که به‌صورت دلخواه و با توجه به نیازهای کاربران پیکربندی شود. برش‌ها قابل پیاده‌سازی روی یک زیرساخت واحد هستند یا بر اساس نیاز اپراتورهای شبکه بر روی زیرساخت‌های مجزا قابل پیاده‌سازی هستند. این احتمال می‌رود که شبکه‌ها بر اساس نوع کاربرد دارای سخت‌افزارهای مختلف و در موقعیت‌های مکانی مختلف پیاده‌سازی شوند. جداسازی لایه کنترل از لایه داده که از طریق برش شبکه و به‌کارگیری شبکه مبتنی بر نرم‌افزار میسر است یکی از اصلی‌ترین ویژگی‌های معماری هسته شبکه نسل پنجم است. این جداسازی موارد زیر را تسهیل می‌کند:

۱. منابع لایه کنترل و لایه داده به‌صورت مجزا قابلیت مقیاس‌پذیری خواهند داشت.

۲. توزیع بخش‌های مربوط به لایه شبکه به لبه شبکه در مجاورت کاربر

۳. توانایی انتخاب توابع لایه داده کاربر به‌صورت مجزا برای هر برش از شبکه

۴. پشتیبانی از معماری ابری در شبکه

توابع لایه داده کاربر بر اساس کاربرد می‌توانند انتخاب شوند. به‌عنوان مثال سرویس ارتباط ماشین به ماشین با تحرک و جابجایی کم و نرخ داده پایین نیاز متفاوتی با سرویس موبایل پهن‌بند با تحرک و نرخ داده بالا دارد.

با جداسازی لایه کنترل و لایه کاربر می‌توان لایه‌ها را در موقعیت‌های مکانی متفاوتی به کاربرد؛ به‌عنوان مثال لایه کنترل می‌تواند در سایتی متمرکز پیاده‌سازی شود تا وظایف مدیریتی و عملکردی شبکه با پیچیدگی کمتری انجام شود و لایه کاربر می‌تواند به‌صورت توزیع‌شده در مجاورت کاربر پیاده‌سازی شود.

۸-۶-۲-۱- شبکه هسته LTE مجازی (EPC مجازی)

واحدهای هسته شبکه در شبکه نسل چهارم مانند واحدهای MME و HSS و PGW/SGW می‌توانند به صورت پلتفرم‌های مجازی پیاده‌سازی شوند. این پیاده‌سازی موجب انعطاف‌پذیری بیشتر و تضمین کیفیت سرویس برای سرویس‌های شبکه هسته LTE (نسل چهارم) می‌شود. همچنین به موجب این انعطاف‌پذیری، اپراتورهای شبکه می‌توانند چند نمونه شبکه هسته LTE را به صورت هم‌زمان ایجاد کنند که هر یک پاسخگوی بخشی از سرویس‌های کاربران باشد. بنابراین برش شبکه هسته در این طرح به امکان پیاده‌سازی چند شبکه هسته مجازی^۱ (VEPC) بستگی دارد. به واسطه‌ی شبکه مبتنی بر نرم‌افزار و فناوری مجازی‌سازی شبکه مدیریت و هماهنگ‌سازی چندین شبکه هسته مجازی بر روی پلتفرم ابری ممکن است. شبکه هسته LTE به عنوان یک سرویس^۲ منجر به کاهش هزینه‌های پیاده‌سازی و امکان پیاده‌سازی شبکه هسته مجازی می‌شود که در طرح‌های مختلفی این پیاده‌سازی‌ها بررسی می‌شود.

۸-۶-۲-۲- شبکه هسته نسل پنجم مجازی (5GC مجازی)

اخیراً معماری شبکه نسل پنجم از طرف سازمان 3GPP معرفی شده است که واحدهای هسته LTE به طریقی جز به جز پیاده‌سازی می‌شوند. درون معماری هسته شبکه نسل پنجم برخی واحدها مشابه معماری نسل قبلی و برخی کاملاً جدید هستند. این واحدها قابل پیاده‌سازی به صورت مجازی و ایجاد نمونه‌های موازی برای برش‌های متفاوت در شبکه را دارند.

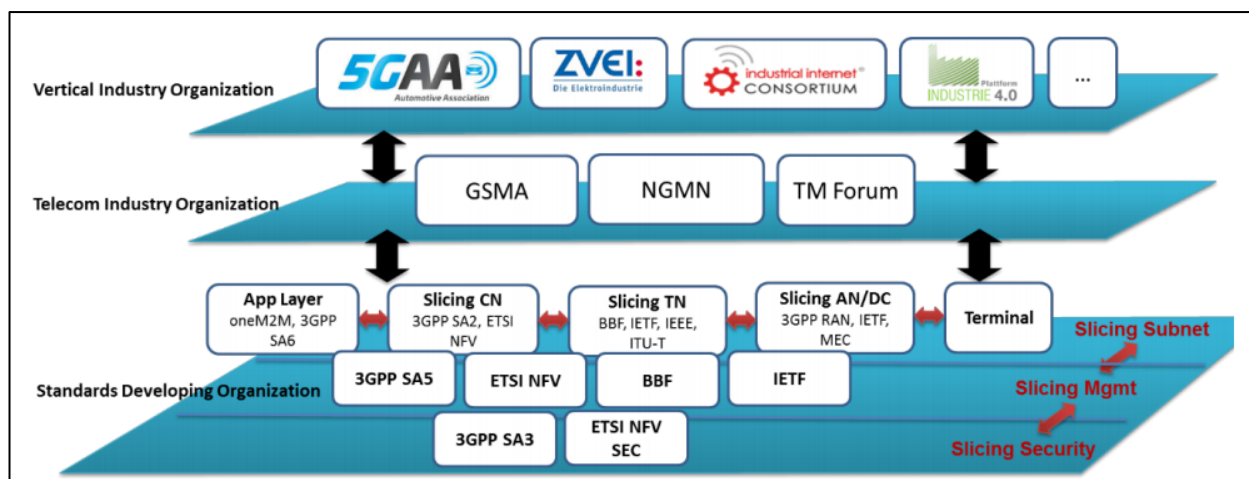
۸-۷- استانداردسازی برش شبکه [۴،۵]

برش شبکه یک فناوری برای راه‌اندازی شبکه‌هایی با قابلیت‌های مختلف بر روی یک زیرساخت واحد با شرکت دادن قراردادهای سطح سرویس (SLAs) برای کاربردهای موردنیاز مشتریان صنعتی عمودی^۳ است. برای رسیدن به این هدف باید این فناوری از جنبه‌های گوناگون فنی و مدیریتی، طراحی و استانداردسازی شود. شکل ۸-۱۲ مثالی از بخش‌های مختلف درگیر در پیاده‌سازی فناوری برش شبکه است.

¹ Virtual Evolved Packet Core

² EPC as a Service

³ Vertical Industry Customers



شکل ۱۲-۸ ارتباط مؤسسات و سازمانهای استانداردسازی

فناوری‌های متنوعی در حوزه‌های مختلف شبکه در توسعه فناوری برش شبکه از طریق شرکت در مؤسسات توسعه استاندارد^۱ (SDO) مشارکت دارند. در زیر به برخی از مؤسسات توسعه استاندارد می‌پردازیم:

3GPP: از این موسسه به‌عنوان پیش‌قدم در فناوری برش شبکه می‌توان نام برد. گروه‌های مختلفی زیر نظر 3GPP بر روی برش شبکه فعالیت می‌کنند. در 3GPP SA1 کاربردها و نیازهای فناوری برش شبکه معرفی شد. در 3GPP SA2 معماری سیستمی که از برش شبکه پشتیبانی می‌کند معرفی شد. در 3GPP SA3 مشخصات مربوط به امنیت در برش شبکه توصیف شد و در 3GPP SA5 مدیریت سیستم برش شبکه و ارتباط با سایر استانداردها مطرح شد.

ETSI: در این موسسه دو گروه صنعتی بر روی مفاهیم برش شبکه کار می‌کنند. گروه اول ISG NFV است که مسئول ارائه مشخصات فنی برای مباحث محاسباتی و ذخیره‌سازی در برش شبکه است. همان‌طور که اشاره شد مجازی‌سازی توابع شبکه از فناوری‌های کلیدی در شبکه نسل پنجم است. تعامل سیستم برش شبکه با این مفهوم هنوز مورد بحث و تحقیقات است. گروه دوم ISG ZSM است این گروه بر روی مفاهیم مدیریت سیستم برش شبکه و مدیریت سرویس در شبکه نسل پنجم فعالیت می‌کند.

IETF: برای پشتیبانی از برش شبکه پروتکل‌های مسیریابی بر اساس IP باید ارتقا پیدا کنند. این گروه به‌جز مورد ذکر شده در زمینه‌ی استانداردسازی واسط بین برش‌های شبکه و سیستم مدیریت برش‌ها نیز فعالیت می‌کند.

BBF: هدف این گروه روشن کردن مشخصات برای سیستم انتقال در شبکه نسل پنجم و معماری مدیریت سیستم برش شبکه است.

¹ Standards Developing Organization

۸-۸- کاربردهای فناوری برش شبکه

در این بخش به معرفی برخی کاربردها و سرویس‌هایی می‌پردازیم که فناوری برش شبکه در برطرف کردن نیازهای آن‌ها نقش دارد [۵]:

۱. کاربرد واقعیت مجازی یا افزوده^۱ (AR/VR): فناوری حقیقت افزوده (AR) به فنی گفته می‌شود که به نمای دنیای حقیقی، ویژگی‌هایی افزوده می‌شود و فناوری حقیقت مجازی (VR) به فن ساخت محیط مصنوعی بر اساس یک محیط حقیقی و تعامل کاربر با آن گفته می‌شود. این دو فناوری شامل چندین مورد کاربرد هستند که هر کدام می‌توانند مشخصات و نیازهای خاصی داشته باشند. برای آشنایی با نیازهای کاربردهای این دو فناوری برای فناوری برش شبکه کاربردهای آن بر اساس تعامل با محیط به دو دسته‌ی کم‌تعامل^۲ و پرتعامل^۳ دسته‌بندی می‌شوند که هر کدام به نرخ داده و تأخیر متفاوتی نیاز دارند.

۲. V2X: این فناوری یکی از اصلی‌ترین موارد کاربرد در شبکه نسل پنجم شناخته می‌شود و صنعت خودروسازی در جهان با همکاری با صنعت مخابرات در حال توسعه آن است. برای پیاده‌سازی موفق این کاربرد در شبکه نسل پنجم اپراتورها باید نیازها و مشخصات آن را به‌خوبی پاسخ دهند. این مشخصات و کاربردها توسط مؤسسات مرتبط با صنعت مثل 5GAA و مؤسسات توسعه استاندارد مثل 3GPP معرفی می‌شوند. ارتباط با برش شبکه مناسب برای برآورده کردن کیفیت سرویس مطلوب برای این فناوری حیاتی است.

۳. انرژی: صنایع مرتبط با برق و انرژی نیازهای ویژه‌ای برای مخابره و ارتباط دارند که برخی از آن‌ها توسط LTE قابل دسترسی بود. پتانسیل اقتصادی پیاده‌سازی برش شبکه برای این صنایع بالاست. شبکه‌های هوشمند انرژی یکی از موارد استفاده از فناوری برش شبکه در شبکه نسل پنجم است. در این فناوری جای خالی برای اندازه‌گیری انرژی و سیستم ارتباطی بین ایستگاه‌ها وجود دارد. برش شبکه در شبکه نسل پنجم می‌تواند راه‌حل اقتصادی و بهینه در مقایسه با مخابرات فیبر نوری و سیستم‌های معمول و سنتی باشد. لازم به ذکر است با توجه به اهمیت صنعت برق در پروژه جاری، کاربردهای خاص صنعت برق و شبکه هوشمند برای این فناوری در فصل یازدهم این گزارش ارائه شده است.

¹ Augmented reality / virtual

² weak-interactive

³ strong-interactive

4. شهر هوشمند: مفهوم شهر هوشمند به پیاده‌سازی و مدیریت و به‌کارگیری فناوری‌های ICT در نیازهای روزمره و شهری برمی‌گردد. هدف این طرح بهبود کارایی و مدیریت منابع عمومی است. بااین‌حال موارد کاربرد شهر هوشمند بسیار متنوع و دارای نیازهای مختلفی است
5. اینترنت اشیا: اینترنت اشیا توصیف‌کننده مشارکت ماشین‌ها و دستگاه‌ها درون شبکه از طریق اینترنت است. حوزه موارد کاربرد اینترنت اشیا بسیار گسترده و وسیع است و به همین خاطر نیازها و مشخصات آن متنوع و گوناگون است و عملاً استفاده از یک زیرساخت بدون برش شبکه برای پیاده‌سازی این موارد کاربرد ممکن نیست. بعلاوه استفاده از برش شبکه در این موارد می‌تواند هزینه‌های پیاده‌سازی را نیز کاهش داده و کارایی شبکه را افزایش دهد.

۹-۸- جمع‌بندی

پرواضح است که فناوری‌های کلیدی "شبکه مبتنی بر نرم‌افزار" و "مجازی‌سازی توابع شبکه" نقش فعال‌سازهای فناوری "برش شبکه" را ایفا می‌کنند؛ ازاین‌رو در ابتدای این فصل برخی مفاهیم مرتبط این فناوری‌ها مرور شده‌اند. در ادامه نمونه‌ای از برش شبکه برپایه فناوری‌های شبکه مبتنی بر نرم‌افزار و مجازی‌سازی توابع شبکه ارائه شده است.

اهمیت فناوری برش شبکه در تأمین نیازمندی‌های ارتباطی صنایع عمودی باعث شد که در کنار شبکه نسل پنجم، در شبکه نسل چهارم نیز برای بهره‌بردن از آن تلاش شود؛ معرفی معماری برش شبکه در هسته مجازی شبکه نسل چهارم (VEPC) در همین راستا می‌باشد که در این فصل به اختصار به آن پرداخته شده است. در ادامه معرفی معماری برش شبکه در هسته شبکه نسل پنجم (5GC) و همین‌طور در شبکه دسترسی مانند تقسیم منابع بین برش‌ها به‌طور مختصر انجام شده است.

به دلیل اهمیت مبحث استانداردسازی فناوری، فعالیت‌های مؤسساتی چون 3GPP و IETF و ETSI در جهت استانداردسازی فناوری برش شبکه در این فصل ارائه شده است. همچنین از آنجایی که این فناوری فعال‌ساز بسیاری از سرویس‌های قابل ارائه شبکه نسل پنجم در بخش‌های مختلف صنعت می‌باشد در انتهای این فصل نیز به کاربردها و موارد کاربرد این فناوری در صنایع مختلف اشاره شده است لکن به دلیل تمرکز این پروژه در بخش صنعت برق و شبکه هوشمند، در فصل بعدی این موضوع جداگانه بررسی شده است و در آن تمرکز بر کاربردهای حوزه انرژی می‌باشد.

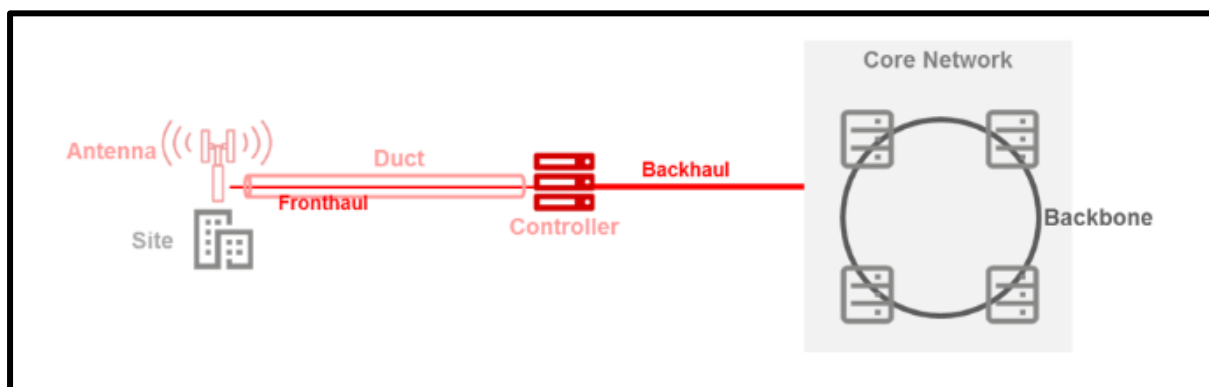
۱۰-۸- مراجع

- [1] J. Ordonez-Lucena, P. Ameigeiras, D. Lopez, J.J. Ramos-Munoz, J. Lorca, J. Folgueira, "Network Slicing for 5G with SDN/NFV: Concepts, Architectures and Challenges", IEEE Communications Magazine , vol. 55, no. 5, pp. 80-87, 2017.
- [2] Afolabi, Ibrahim, et al., "*Network slicing and softwarization: A survey on principles, enabling technologies, and solutions.*", IEEE Communications Surveys & Tutorials 20.3 (2018): 2429-2453.
- [3] "Network Slicing for 5G Networks & Services", Whitepaper, 5G Americas.
- [4] "5G NETWORK SLICING", Whitepaper, FCC Technological Advisory Council.
- [5] "Network Slicing Use Case Requirements", Whitepaper, GSMA.

فصل ۹ – شبکه انتقال

۹-۱- مقدمه [۱]

اصطلاح بک‌هال^۱ به شبکه انتقالی گفته می‌شود که هسته شبکه را به شبکه دسترسی رادیویی متصل می‌کند. اخیراً با معرفی سلول‌های کوچک و شبکه دسترسی رادیویی ابری مفهومی به نام لینک انتقال جلویی^۲ نیز مورد استفاده قرار گرفته است که شبکه انتقالی میان ایستگاه پایه ماکرو^۳ و سلول‌های کوچک و یا در شبکه دسترسی رادیویی ابری (CRAN) میان واحد پردازش باند پایه^۴ و واحد رادیویی^۵ هست. باین حال که لینک انتقال جلویی و بک‌هال دو مفهوم مجزا هستند اغلب عنوان بک‌هال شبکه سلولی هردوی آن‌ها را شامل می‌شود. نوآوری‌هایی در زمینه کاهش مصرف منابع در بک‌هال، مانند تغییر در معماری و طراحی آنتن‌ها و واحدهای پردازشی انجام شده است. در شکل ۹-۱ واحدهایی که به رنگ قرمز مشخص شده است موارد مرتبط با بک‌هال را شامل می‌شود.



شکل ۹-۱ شبکه سلولی و نمایی از لینک پشتی و لینک جلویی

زیرساخت بک‌هال بی‌سیم و باسیم یکی از اجزای مهم در شبکه مخابرات سلولی است. سرویس‌های شبکه سلولی شامل مجموعه‌ای از ترافیک داده و صدا و ویدئو و متن است که توسط کاربران تولید و مصرف می‌شود، همه این ترافیک به وسیله بک‌هال بین ایستگاه‌های پایه و هسته شبکه منتقل می‌شود. موفقیت شبکه‌های نسل چهارم LTE (طبق آمار در ماه می سال ۲۰۱۹ میلادی حدود ۷۲۹ اپراتور LTE در ۲۲۱ کشور فعالیت می‌کنند) همراه با چالش‌هایی برای اپراتورها در زمینه ظرفیت شبکه و کاهش تأخیر و نیاز به بهبود کیفیت سرویس رسانی همراه بود. این چالش‌ها مستقیماً به زیرساخت بک‌هال شبکه مرتبط بودند.

¹ Backhaul link

² Fronthaul link

³ Macro base station

⁴ Base Band Unit

⁵ Remote radio head

با معرفی شبکه نسل پنجم که شبکه به‌مراتب متراکم‌تر و نیاز سرویس‌های شبکه به‌شدت گسترش‌یافته بود لینک انتقال جلویی از اهمیت بیشتری برخوردار شد. محدودیت‌های قوانین فیزیک در طراحی و همچنین قوانین اجرایی کشورها باعث افزایش هزینه‌های اپراتورهای شبکه در بخش لینک انتقال جلویی شبکه شد. با معرفی نسل جدید ارتباطات و ایجاد فرصت‌های تجاری جدید برای اپراتورها، بهینه‌سازی در مصرف منابع به‌طوری‌که باعث سودآوری اپراتورها شود ضروری است.

۹-۲- چالش‌های بک‌هال

گرایش‌های و تمایلات بخش صنعتی و بازار باعث ایجاد چالش‌ها و نیازمندی‌های مختلفی شد که بایستی در زیرساخت بک‌هال اپراتورهای شبکه برآورده شود [۱].

۹-۲-۱- تکامل LTE

تعداد زیادی طرح‌های نوآورانه فنی بر روی شبکه LTE اجرا شده است که تحت عنوان LTE-A pro یا نسل ۴.۵ (4.5G) شناخته می‌شود که منجر به افزایش پهنای باند و بهره‌وری انرژی بالاتر برای دستگاه‌های اینترنت اشیا شده است به‌طور مثال حداکثر نرخ داده شبکه نسل ۴.۵ حدوداً ۸ تا ۱۰ برابر LTE استاندارد است. این تکامل نیازمند تغییراتی در شبکه انتقال است.

۹-۲-۲- برش شبکه در شبکه نسل پنجم

برش شبکه یکی از ویژگی‌ها و خصوصیات کلیدی شبکه نسل پنجم است. همان‌طور که در فصل هشتم به آن اشاره شد، در این فناوری زیرساخت فیزیکی شبکه به‌صورت منطقی تقسیم‌بندی می‌شود و شبکه‌های مجازی یا برش‌های شبکه بر روی آن پیاده‌سازی می‌شوند. هر برش برای پاسخگویی به دسته‌ای خاص از سرویس‌های شبکه استفاده می‌شود. برش شبکه بر روی بک‌هال شبکه نیز تأثیر دارد و با اشتراک منابع و بهینه‌سازی تسهیم منابع بین برش‌ها هزینه‌های پیاده‌سازی را کاهش می‌دهد.

۹-۲-۳- رشد تعداد کاربران انتهایی

در اواخر سال ۲۰۱۷ میلادی تعداد مشترکان در حدود ۸.۱ میلیارد دستگاه با رشد سالانه ۵.۴ درصد برآورد می‌شد. پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۲۵ میلادی تعداد مشترکان به حدود ۱۰ میلیارد دستگاه برسد. در حوزه فناوری‌های شبکه دسترسی رادیویی، مشترکان LTE حدود ۴۳.۳٪ از تمام مشترکان را تا سال ۲۰۲۵ میلادی پوشش می‌دهند و مشترکان شبکه نسل پنجم نیز به حدود ۹۰۰ میلیون نفر می‌رسند. تعداد دستگاه‌های اینترنت اشیا نیز از حدود ۳۷۵ میلیون دستگاه در سال ۲۰۱۷ میلادی به حدود ۴.۲ میلیارد دستگاه تا سال

۲۰۲۵ میلادی خواهند رسید. نیاز به تکامل در بک‌هال شبکه برای پاسخ به درخواست‌های این تعداد مشترک ضروری است.

۹-۲-۴- رشد ترافیک مصرفی

افزایش تعداد مشترکان و همچنین افزایش پهنای باند سیستم‌ها منجر به افزایش مصرف ترافیک کاربران شبکه می‌شود. مشترکان شبکه‌های نسل چهارم و پنجم حدود ۵۵ درصد کل کاربران را تشکیل می‌دهند ولی 91 درصد مصرف ترافیک، مربوط به مشترکان این گروه‌هاست. همچنین یک تغییر قابل توجه، افزایش مصرف ترافیک در سرویس‌های استریم ویدئو از حدود ۸۱ بایت به ۹۱۰ بایت خواهد بود.

۹-۲-۵- نیاز به حداقل تأخیر

گروه سرویس مأموریت بحران در شبکه نسل پنجم و همچنین سرویس‌های استریم ویدئو نیاز به تأخیر حداقلی دارند و این موضوع روی مسئله تأخیر بک‌هال تأثیرگذار است. به عنوان مثال اگر حداکثر تأخیر انتها به انتهای قابل قبول یک سرویس حدود ۱۰ میلی ثانیه باشد به این معناست که تأخیر بک‌هال باید کمتر از یک میلی ثانیه باشد و این یعنی تنها لینک فیبر نوری یا موج میلی متری قابل استفاده خواهند بود.

۹-۲-۶- تراکم شبکه^۱

پیش‌بینی می‌شود با افزایش تعداد کاربران و نیاز به پاسخ به سرویس موبایل پهن‌بند، تعداد ایستگاه‌های پایه ماکرو از ۱۱.۱ میلیون به ۱۴.۱ میلیون می‌رسد. ایستگاه‌های پایه جدید، هم از شبکه‌های نسل چهارم و هم از شبکه نسل پنجم پشتیبانی خواهند کرد. این باعث افزایش بار ترافیک روی بک‌هال بعلاوه چالش‌های سلول‌های کوچک شبکه نسل پنجم شود. پیش‌بینی می‌شود در بازه سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۵ میلادی، تعداد سلول‌های کوچک از ۰.۷ میلیون به ۴.۳ میلیون برسند. از نقطه نظر بک‌هال نیاز به راه‌حلی مطمئن و اقتصادی برای اتصال سلول‌های کوچک از طریق بک‌هال وجود دارد.

۹-۳- گزینه‌های پیاده‌سازی بک‌هال

اپراتورهای موبایل راه‌حلی برای پیاده‌سازی بک‌هال ارائه کرده‌اند. در اینجا تنها به راه‌حل‌های متداول‌تر پرداخته می‌شود [۱].

¹ Densification

۱-۳-۹-سیم مسی

بک‌هال مسی فناوری اصلی در سیستم‌های نسل‌های قبلی مخابرات سلولی مثل GSM و... بود. سیم مسی با پروتکل T1/E1 حدود ۲ مگابیت بر ثانیه را سرویس می‌داد که با استفاده از فناوری اتصال^۱ به حدود ۱۵۰ مگابیت بر ثانیه تا فواصل حدود ۱.۵ کیلومتر می‌رسید. در سیستم‌های نسل جدید به دلیل نیاز به پهنای باند به مراتب بیشتر، استفاده از بک‌هال مسی کاربردی نیست. با این حال این گزینه در سلول‌های کوچک ساختمانی هنوز بکار می‌رود.

۲-۳-۹-فیبر نوری

این فناوری به عنوان بهترین انتخاب از دسته‌بندی بک‌هال باسیم برای اپراتورهای شبکه سلولی است و دومین گزینه به کارگیری بعد از بک‌هال بی‌سیم و موج میلی‌متری است. با وجود افزایش قابل توجه پهنای باند انتقال به وسیله فیبر نوری، فن‌های اضافی وجود دارد که عملکرد این لینک را بهبود ببخشد. یکی از این فناوری‌ها WDM^۲ است. در این فناوری چندین سیگنال نوری با طول‌موج‌های مختلف به صورت موازی قابل انتقال هستند. WDM به دو دسته CWDM^۳ و DWDM^۴ تقسیم می‌شود. در دسته اول تنها هشت طول‌موج قابل ترکیب هستند در حالی که در فناوری DWDM تعداد بسیار بالایی طول‌موج از طریق فاصله‌گذاری کانال نزدیک قابل ترکیب هستند که قابلیت رسیدن به پهنای باندی معادل ۱.۶ ترابیت بر ثانیه در هر فیبر وجود دارد.

ترافیک LTE باید از طریق فیبر-به-دکل^۵ (FTTT) برای انتقال با فیبر آماده‌سازی شوند و اپراتورهای شبکه باید تجهیزات خود را برای شبکه انتقال بر پایه فیبر آماده کنند. اصلی‌ترین محدودیت‌های این گزینه قیمت بالا و منطقی پیاده‌سازی آن است. در سال ۲۰۱۷ میلادی بک‌هال فیبر نوری حدود ۲۶ درصد بک‌هال سلول‌های ماکرو را در کل دنیا پوشش می‌دادند و تا سال ۲۰۲۵ میلادی به حدود ۴۰ درصد رشد خواهد کرد و به گزینه اصلی تبدیل خواهد شد. استفاده از فیبر تاریک و WDM در نسل بعدی مخابرات سلولی حتمی است. منظور از فیبر تاریک، کابل‌های فیبر نوری بلااستفاده است که در زمان نصب فیبر اصلی، در کنار آن نصب می‌شود تا زمانی که به فیبرهای بیشتری نیاز بود از آن‌ها استفاده شود تا دیگر نیازی به عملیات عمرانی نباشد.

^۱ bonding

^۲ wavelength-division multiplexing

^۳ Coarse wavelength division multiplexing

^۴ dense wavelength division multiplexing

^۵ Fiber-to-the-tower

۹-۳-۳- لینک بی‌سیم

بک‌هال بی‌سیم و ماکروویو در حال حاضر پرکاربردترین و اصلی‌ترین گزینه بک‌هال در شبکه‌ها است. دلیل این مسئله ظرفیت قابل قبول و آسانی پیاده‌سازی و هزینه پایین این فناوری نسبت به فیبر نوری است. اکثر اپراتورهای شبکه بر راه‌حل‌های بک‌هال ماکروویو در باندهای فرکانسی ۷ تا ۴۰ گیگاهرتز و باندهای فرکانسی ۶۰ گیگاهرتز (باند-V) و ۸۰/۷۰ گیگاهرتز (باند-E) تأکید دارند. لینک‌های پشتی که از باند-V و باند-E استفاده می‌کنند به خاطر نرخ داده بالایی که دارند برای سیستم‌های نسل پنجم مطلوب‌اند. باین‌حال کار کردن در باندهای فرکانسی فرکانس موج میلی‌متری چالش‌های خاص خود را دارد، تلفات نفوذ و تلفات مسیر فقط بخشی از این چالش‌هاست. همچنین یکی دیگر از چالش‌های لینک بی‌سیم، نیاز به تأیید و گواهی سازمان‌های تخصیص فرکانس برای استفاده از باندهای فرکانسی است.

۹-۳-۳-۱ دید مستقیم در برابر دید غیرمستقیم

به‌طورمعمول اکثر لینک‌های پشتی ماکروویو به دلیل استفاده از فرکانس‌های بالا به‌صورت دید مستقیم^۱ (LoS) بکار گرفته می‌شدند. در دهه اخیر لینک‌های پشتی دید غیرمستقیم^۲ (NLoS) مطرح‌شده‌اند که با افزایش تعداد سلول‌ها و به‌کارگیری سلول‌های کوچک مزایای آن برای اپراتورهای شبکه قابل مشاهده است. در بک‌هال دید مستقیم از امواج با پهنای موج کم برای انتقال استفاده می‌شود که پدیده‌های محوشدگی و چندمسیرگی روی امواج رخ ندهد ولی در برخی سناریوها مسیر بدون مانع وجود ندارد. مزیت بک‌هال دید غیرمستقیم در این است که نصب و راه‌اندازی آن بسیار آسان‌تر است. بک‌هال دید غیرمستقیم از فناوری OFDM برای رله اطلاعات به یک ایستگاه پایه مرکزی استفاده می‌کند. محدودیت‌هایی بر روی تعداد سلول‌های کوچک که توسط یک بک‌هال دید غیرمستقیم پشتیبانی می‌شود وجود دارد. همچنین نیاز به برنامه‌ریزی برای اختصاص پهنای باند به ایستگاه‌های پایه نیز وجود دارد.

۹-۳-۴ لینک ماهواره‌ای

بک‌هال ماهواره‌ای یک راه‌حل خاص برای پیاده‌سازی توسط اپراتورهای شبکه در نقاط صعب‌العبور و یا برای موقعیت‌های اورژانسی و موقت است. این فناوری به‌عنوان یک راه‌حل مکمل و اضافه در کشورهای توسعه‌یافته وجود دارد و قادر است نرخ حدود ۱۰ تا ۱۵ مگابیت بر ثانیه را در لینک فراسو/فروسو پشتیبانی کند. باین‌حال چالش اصلی این فناوری، تأخیر است که برای ماهواره‌های مدار زمین‌گرد^۳ (GEO) حدود ۰.۵ ثانیه

¹ Line-of-Sight

² Non-Line-of-Sight

³ geostationary satellite

است. استفاده از ماهواره‌های LEO¹ راه‌حلی برای کاهش تأخیر تا حدود ۰.۰۵ ثانیه است اما نیاز به هدایت ترافیک بین چند ماهواره وجود دارد زیرا ماهواره‌های LEO نسبت به زمین ثابت نیستند و این فناوری هنوز به حد قابل قبولی نرسیده است.

۹-۴- معماری شبکه انتقال در شبکه نسل پنجم

به‌کارگیری شبکه دسترسی رادیویی در شبکه نسل پنجم و نیازمندی‌های سرویس‌های نوین، مستلزم شبکه انتقال تکامل‌یافته است. شبکه انتقال امروزی با تمام مزایای خود قادر به پشتیبانی از نسل پنجم مخابرات سلولی نیست حتی اگر معماری شبکه دسترسی رادیویی ابری در آن پیاده‌سازی شده باشد. شبکه دسترسی رادیویی در شبکه نسل پنجم پیکره‌بندی‌های انعطاف‌پذیری را پیشنهاد می‌کند. این پیکره‌بندی‌ها گزینه‌های متنوعی از جداسازی عملکردهای شبکه ارائه می‌دهند که در سناریوهای متفاوت قابل بهره‌برداری هستند.

۹-۴-۱- فناوری شبکه دسترسی و بک‌هال مجتمع^۲ (IAB)

یکی از بخش مطرح‌شده در اسناد 3GPP (REL-16) معرفی مشخصات فناوری "شبکه دسترسی و بک‌هال مجتمع" هست. یکی از ویژگی‌هایی که برای فعال‌سازی سناریوهای شبکه نسل پنجم در نظر گرفته می‌شود، پشتیبانی از بک‌هال بی‌سیم برای پیاده‌سازی شبکه پرتراکم سلولی بدون نیاز به شبکه انتقال پیچیده و پرتراکم است. به دلیل اختصاص پهنای باند بیشتر در رادیویی جدید (NR) نسبت به LTE و به‌کارگیری فناوری‌هایی چون سیستم‌های چند ورودی-چند خروجی حجیم (Massive MIMO)، فرصت پیاده‌سازی شبکه دسترسی و بک‌هال مجتمع وجود دارد. مثالی از این طرح در شکل ۲-۹ آورده شده است که در آن گره‌های رله می‌توانند شبکه دسترسی و بک‌هال را ترکیب و مالتی پلکس کنند.

عملکرد فناوری "شبکه دسترسی و بک‌هال مجتمع"، فارغ از باند فرکانسی است و رله‌ها می‌توانند در باندهای فرکانسی پایین ۶ گیگاهرتز و بالای ۶ گیگاهرتز عمل کنند. همچنین پیاده‌سازی آن‌ها می‌تواند به‌صورت مستقل و غیرمستقل باشد. پیکره‌بندی‌های ممکن شبکه دسترسی و بک‌هال مجتمع عبارت‌اند از درخت فراگیر^۳ که در آن هر گره شبکه دسترسی و بک‌هال مجتمع به یک گره سرپرست متصل می‌شود و گراف حلقوی مستقیم^۴ که در آن هر گره شبکه دسترسی و بک‌هال مجتمع به چند گره دیگر متصل می‌شود. معماری منطقی شبکه دسترسی و بک‌هال مجتمع در شکل ۲-۹ آورده شده است که شامل چندین گره شبکه دسترسی و بک‌هال مجتمع است که قابلیت بک‌هال بی‌سیم دارند و به کاربر نیز سرویس می‌دهند. همچنین

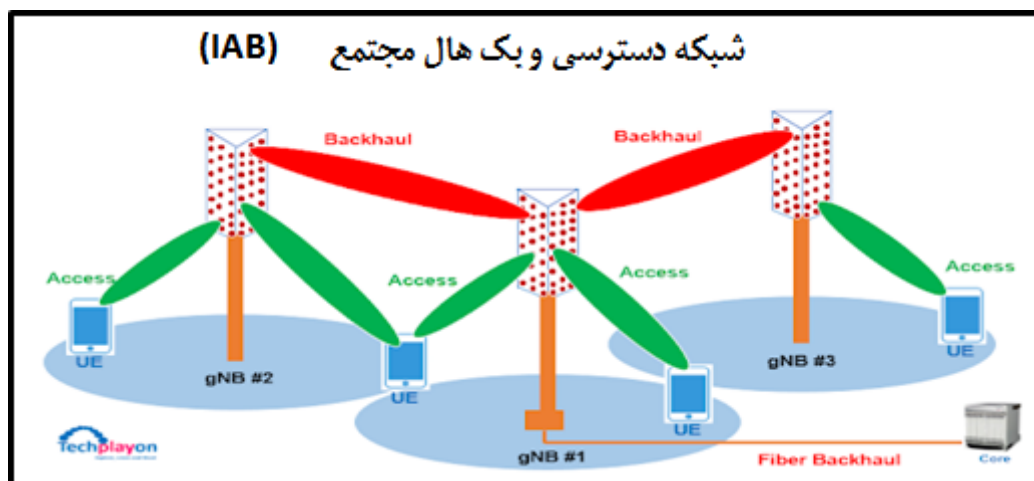
¹ low Earth orbit satellite

² Integrated Access and Backhaul

³ Spanning Tree

⁴ Directed Acyclic Graph

گره سرپرست (IAB-donor) مسئول سرویس‌دهی به گره‌های شبکه دسترسی و بک‌هال مجتمع و همچنین کاربران نزدیک به خود است و با اتصال فیبر به هسته شبکه متصل می‌شود. بر اساس این معماری هر گره شبکه دسترسی و بک‌هال مجتمع، شامل دو تابع شبکه دسترسی رادیویی جدید (NR) است؛ یکی تابع خاتمه موبایل^۱ (MT) که برای اتصال بک‌هال به گره سرپرست استفاده می‌شود و دیگری واحد توزیع‌شده^۲ (DU) که دسترسی کاربران را میسر می‌کند. اتصال واحد توزیع‌شده به واحد مرکزی^۳ (CU) که در گره سرپرست وجود دارد از طریق واسطه F1 انجام می‌شود. بنابراین دو واسطه در هر گره شبکه دسترسی و بک‌هال مجتمع وجود دارد، واسطه F1 و واسطه Uu که اتصال بین کاربران و واحد توزیع‌شده را برقرار می‌کند. همچنین در این معماری به‌کارگیری جداسازی توابع نیز ممکن است. واحد مرکزی تمام عملیات کنترل و عملکردهای لایه‌های بالایی را انجام می‌دهد و عملیات لایه‌های پایینی مثل لایه‌های فیزیکی و MAC نیز توسط واحد توزیع‌شده در گره‌های شبکه دسترسی و بک‌هال مجتمع انجام می‌شود. از مزایای این طرح می‌توان به پشتیبانی از شبکه‌های پرتراکم و افزایش ظرفیت این شبکه‌ها و همچنین بهبود ناحیه تحت پوشش با بهره‌مندی از ارتباط گره شبکه دسترسی و بک‌هال مجتمع و گره سرپرست بعلاوه کاهش هزینه‌های اپراتورهای شبکه در بخش شبکه انتقال اشاره کرد. اپراتورها و سازندگان بزرگی مثل AT&T و Verizon همچنین NTT DOCOMO و Huawei در سال ۲۰۱۹ میلادی، مشغول آزمایش این شبکه انتقال مجتمع هستند و برآورد کرده‌اند در سال ۲۰۲۰ میلادی، پیاده‌سازی آن را آغاز کنند [۲].

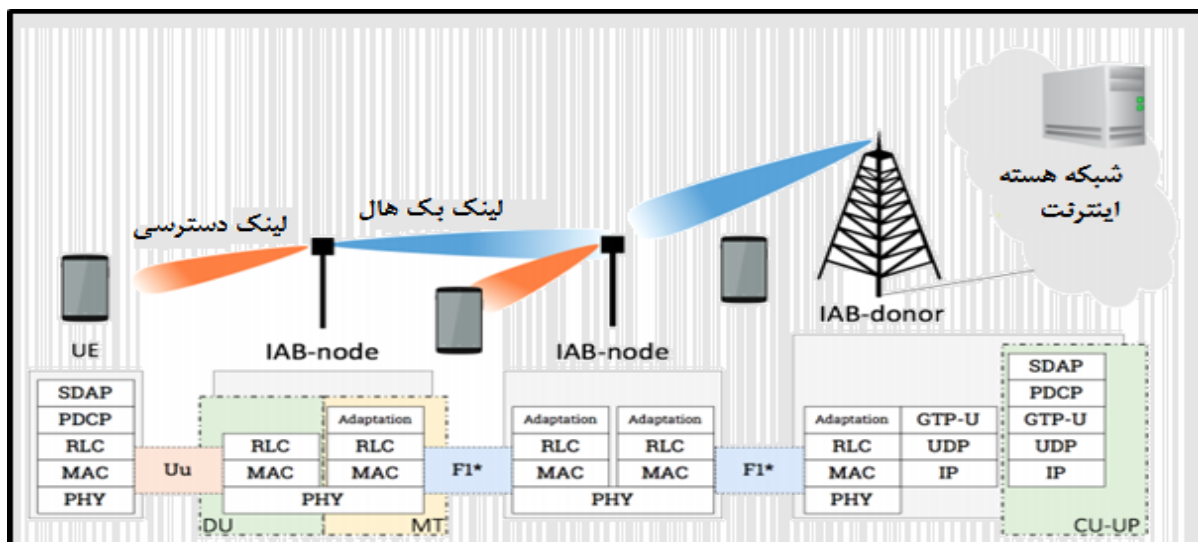


شکل ۲-۹ فناوری شبکه بک‌هال و دسترسی مجتمع

¹ Mobile termination

² Distributed unit

³ Central unit



شکل ۳-۹ لایه‌های شبکه انتقال و دسترسی مجتمع

۲-۴-۹- لینک X-Haul

شبکه انتقال در شبکه نسل پنجم شامل بک‌هال، لینک میانی و لینک انتقال جلویی در شبکه دسترسی رادیویی است. فیبر نوری و شبکه مبتنی بر نرم‌افزار و فناوری‌های ماکروویو اجزای اصلی این طرح شبکه انتقال هستند. اپراتورها با ترکیب لینک‌های ماکروویو و فیبر نوری و کنترل‌کننده‌های شبکه مبتنی بر نرم‌افزار و سرورهای رایانش لبه سیار شبکه انتقال منعطف در شبکه نسل پنجم را ایجاد می‌کنند و با ترکیب لینک‌های جلویی و پشتی کنونی شبکه‌ای واحد بر اساس IP ایجاد می‌کنند. این طرح همچنین دارای مزایای اقتصادی برای اپراتورها نیز هست. پروژه لینک X-Haul به‌عنوان شبکه انتقال در شبکه نسل پنجم باید دارای ویژگی‌های زیر باشد:

- استانداردسازی: استانداردسازی باعث تعامل و سازگاری اجزای مختلف و محصولات سازندگان مختلف می‌شود. به‌عنوان مثال استفاده از پروتکل NETCONF بین تجهیزات و کنترل‌کننده‌های چند سازنده.
- همسان‌سازی: شبکه نسل پنجم بر اساس دوبلکس تقسیم زمانی^۱ (TDD) با همسان‌سازی دقیق عمل خواهد کرد. با پیاده‌سازی شبکه دسترسی رادیویی ابری و فناوری ارسال چندنقطه‌ای این نیاز غیرقابل اجتناب است.
- تأخیر: مشخصات تأخیر در هر بخش شبکه انتقال باید برآورده گردد. به‌عنوان مثال این مقدار در لینک انتقال جلویی باید بین ۵۰ تا ۱۰۰ میکروثانیه باشد.

1 Time Division Duplex

- پهنای باند: امروزه برخی از ایستگاه‌های پایه ماکرو با لینک‌های یک گیگا بیت بر ثانیه یا ۱۰ گیگا بیت بر ثانیه اترنت به هم متصل می‌شوند. در شبکه نسل پنجم این اتصال باید از طریق فیبر نوری به ۱۰۰ گیگا بیت بر ثانیه برسد.
 - اتصال L3: این قابلیت باعث به‌کارگیری واحدهای شبکه دسترسی رادیویی و عملکردهای شبکه به‌صورت منعطف در موقعیت‌های مناسب می‌شود.
 - اتوماسیون و قابلیت هوشمندی: نیاز شبکه نسل پنجم به افزایش کیفیت سرویس در کنار کاهش هزینه‌ها باعث می‌شود در پیاده‌سازی شبکه انتقال از اتوماسیون و هوشمند سازی توابع بهره برد.
- این فناوری در پروژه 5GPPP که تحت حمایت اتحادیه اروپا هست بکار گرفته شد و همچنین برخی از سازندگان در زمینه مخابرات سلولی مانند نوکیا و اریکسون، اسناد و گزارش‌هایی در خصوص پیاده‌سازی و به‌کارگیری آن ارائه داده‌اند [۴،۳].

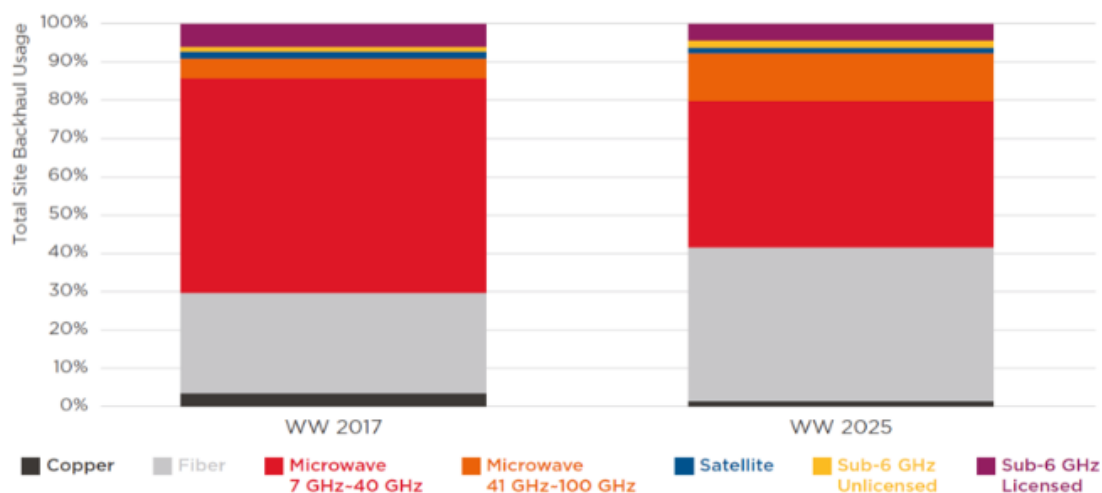
۱-۲-۴-۹- لینک انتقال جلویی

یکی از اجزای مهم شبکه انتقال در شبکه نسل پنجم لینک انتقال جلویی خواهد بود که بین واحد رادیویی و واحد پردازش قرار می‌گیرد. واحد رادیویی شامل بخش‌های فرکانس بالا مثل تقویت‌کننده توان و تبدیل آنالوگ به دیجیتال و ... است که در کنار آنتن قرار می‌گیرد. واحد پردازش نیز عملیات پردازش سیگنال دیجیتال و کدینگ و مدولاسیون را بر عهده دارد. در شبکه‌های نسل چهارم اتصال بین این دو واحد به‌وسیله واسط رادیویی عمومی رایج (CPRI) انجام می‌شد که برای لینک فیبر نوری و برای فواصل چند ده متری طراحی شده بود اما می‌توانست در فواصل چند کیلومتری برای معماری شبکه دسترسی رادیویی ابری نیز پیاده‌سازی شود. واسط رادیویی عمومی رایج (CPRI)، نرخ و تأخیر ثابتی را برای انتقال سیگنال‌ها تضمین می‌کرد که به تعداد آنتن‌های گیرنده و پهنای باند سیگنال بستگی دارد. همچنین این واسط دارای دو چالش بود. اولاً نیاز به طول‌موج‌های مختلف برای انتقال سیگنال‌های مختلف داشت. ثانیاً با فناوری‌های دیگر شبکه دسترسی رادیویی مثل سیستم‌های چند ورودی- چند خروجی حجیم (Massive MIMO) سازگاری نداشت. واسط بهبودیافته دیگری به نام واسط رادیویی عمومی رایج-بهبود یافته (enhanced CPRI) نیز معرفی و استفاده می‌شد که در کنار مزیت پهنای باند چالش‌های مشابهی داشت باین‌حال این فناوری بین سازندگان و اپراتورهای شبکه برای پیاده‌سازی در نسل پنجم مخابرات سلولی در لینک انتقال جلویی مطرح است. اخیراً تحقیقاتی بر روی واسط جدید برای لینک انتقال جلویی در جریان است که طرح آن استفاده از واسط رادیویی عمومی رایج (CPRI) بر روی IP است.

۵-۹- سهم بازار

در اینجا به مقایسه فراگیر فناوری‌های مطرح پیاده‌سازی بک‌هال پرداخته خواهد شد. لینک بی‌سیم در باندهای فرکانسی متداول حدود ۵۷ درصد بک‌هال ایستگاه‌های پایه را در سال ۲۰۱۷ میلادی به خود اختصاص می‌داد که تا سال ۲۰۲۵ میلادی به ۴۵ درصد کاهش خواهد یافت. لینک بی‌سیم در باندهای فرکانسی جدید نیز تا سال ۲۰۲۵ میلادی حدود ۶ درصد بازار را به خود اختصاص می‌دهد. برای سلول‌های کوچک لینک‌های بی‌سیم با باندهای متداول در سال ۲۰۱۷ میلادی حدود ۳۵ لینک‌ها را پوشش می‌دادند که تا سال ۲۰۲۵ به ۲۱ درصد کاهش خواهد یافت. لینک‌های بی‌سیم با باندهای فرکانسی جدید تا سال ۲۰۲۵ میلادی حدود ۱۳ درصد این لینک‌ها را پوشش می‌دهند.

بک‌هال فیبر نوری حدود ۲۵ درصد اتصالات پشتی ایستگاه‌های پایه ماکرو را تا سال ۲۰۱۷ میلادی پوشش می‌داد که این عدد تا سال ۲۰۲۵ میلادی به ۳۹ درصد خواهد رسید. همچنین گزینه‌های دیگر به کارگیری در بک‌هال نیز تا سال ۲۰۲۵ میلادی کمتر از ۲ درصد را به خود اختصاص می‌دهند (شکل ۴-۹). در حالی که فیبر نوری عملکرد بسیار مطلوبی برای پیاده‌سازی به‌عنوان بک‌هال دارد شرایط اقتصادی و تجاری اپراتورها ممکن است چالش‌برانگیز باشد. هزینه‌های پیاده‌سازی فیبر اغلب به عملیات عمرانی پیاده‌سازی بستگی دارد. در این حال در مناطق شهری و پرتراکم لینک‌های بی‌سیم از پیاده‌سازی فیبر نوری به‌صرفه‌ترند و گزینه اصلی پیاده‌سازی باقی خواهند ماند. مقایسه‌ها نشان می‌دهد اشتراک‌گذاری زیرساخت بک‌هال نیز به کاهش هزینه اپراتورها منجر می‌شود [۱].



شکل ۴-۹ سهم بازار

۹-۶- جمع‌بندی

در شبکه نسل پنجم مخابرات، شبکه انتقال با چالش‌هایی نظیر رشد تعداد کاربران و ترافیک مصرفی، تراکم شبکه و نیازمندی‌های سرویس‌های نوین مواجه می‌باشند. اپراتورهای شبکه باید با انتخاب لینک مناسب و به‌کارگیری فناوری‌های نوین مانند شبکه مبتنی بر نرم‌افزار و باندهای فرکانسی جدید به نیازهای شبکه نسل پنجم پاسخ دهند. گزینه‌های متعددی برای پیاده‌سازی لینک بک‌هال وجود دارد که دارای خصوصیات متفاوتی می‌باشند. در کنار گزینه‌های قدیمی، طرح‌ها و پروژه‌های نوینی برای شبکه انتقال ارائه شده‌اند که در میان آن‌ها، طرح شبکه دسترسی و بک‌هال مجتمع به‌عنوان طرح موردنظر 3GPP در REL-16 مطرح شده است. وضعیت بازار و نفوذ فناوری‌های مختلف لینک انتقال نشان می‌دهد که لینک‌های موج میلی‌متری و ماکروویو و لینک‌های نوری بیشترین سهم را در شبکه انتقال نسل پنجم خواهند داشت.

۹-۷- مراجع

- [1] "Mobile Backhaul: An Overview", GSMA report.
- [2] Polese M, Giordani M, Zugno T, Roy A, Goyal S, Castor D, Zorzi M. , "Integrated access and backhaul in 5G mmWave networks: potentials and challenges.", arXiv preprint arXiv:1906.01099, 2019
- [3] Gabriel Brown, "New Transport Network Architectures for 5G-RAN": Heavy Reading Survey A Heavy Reading white paper produced for Fujitsu, 2019.
- [4] STERLING PERRIN, "Operator Strategies for 5G Transport", Heavy Reading Survey A Heavy Reading white paper produced for Ericsson, Fujitsu, Juniper, and Viavi, 2019.

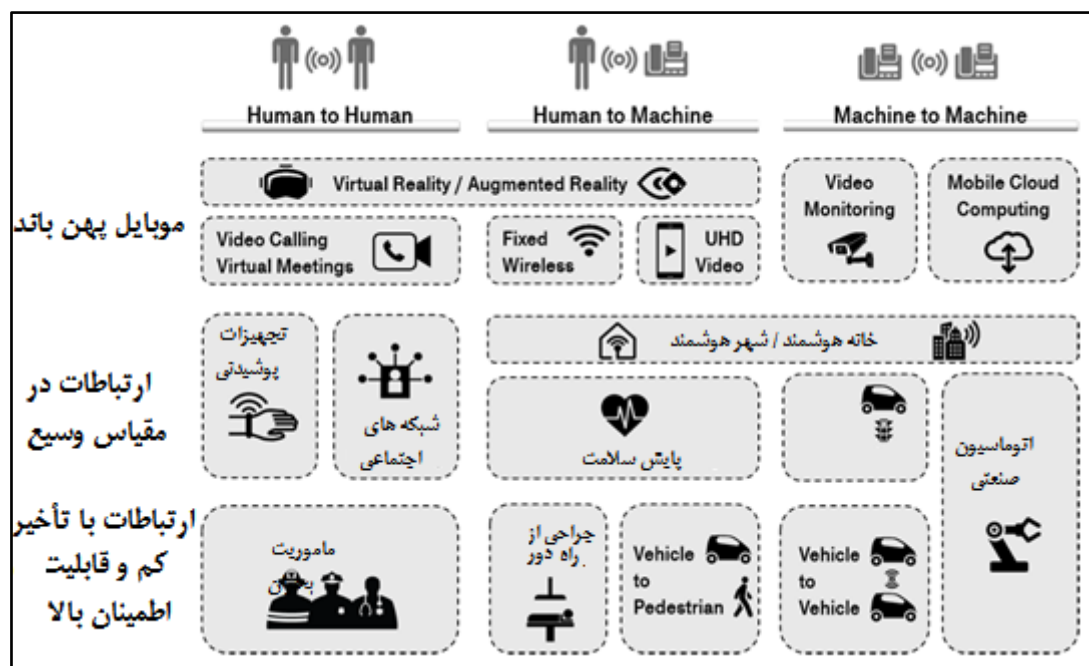
فصل ۱۰- کاربرد و سرویس‌های شبکه نسل پنجم

۱۰-۱- مقدمه

در این فصل به مطالعه سرویس‌هایی که توسط شبکه نسل پنجم ارائه می‌شوند پرداخته می‌شود. به این منظور، ابتدا کاربردهایی که توسط شبکه نسل پنجم پوشش داده می‌شوند بر اساس نیازمندی‌هایشان طبقه‌بندی می‌شوند. سپس انواع این کاربردها و بازه عملکردی هر یک شرح داده خواهند شد. در بخش سرویس‌های صنعتی و تجاری، سرویس شبکه نسل پنجم برای نیازمندی‌های اتوماسیون صنعتی و ارائه سرویس به صنعت برق مطالعه خواهند شد.

۱۰-۲- نمونه‌هایی از کاربردها

به صورت کلی و عمومی، کاربردهای شبکه نسل پنجم به خانواده‌هایی مانند «اینترنت اشیاء» و یا «دسترسی بی سیم ثابت» تقسیم‌بندی می‌شوند اما شکل ۱-۱۰، دسته‌بندی وسیع‌تر و مفهومی‌تر از کاربردهای گسترده شبکه نسل پنجم را در اختیار ما قرار می‌دهد.



شکل ۱-۱۰ دسته‌بندی برخی از کاربردهای شبکه نسل پنجم بر اساس نوع تعامل و نیازمندی‌های عملکردی [۲]

در توصیف چگونگی تغییرات صنایع عمودی و کاربرد شبکه نسل پنجم در آن‌ها، ابتدا باید گروه‌های اصلی کاربردهای شبکه نسل پنجم را بر اساس اثرات آن‌ها و در دسته‌بندی زیر در نظر گرفت [۲]:

- سیستم موبایل پهن باند پیشرفته

- ماشین‌های متصل
- کاربردهای چندرسانه‌ای پیشرفته
- اینترنت اشیاء حجیم (mIoT)
- کاربردهای با تأخیر کم و قابلیت اطمینان بالا
- دسترسی بی‌سیم ثابت (پیاده‌سازی زود هنگام شبکه نسل پنجم)

۳-۱۰- نیازمندی‌های کاربردها

توجه به انواع کاربردها و بررسی آن‌ها نشان می‌دهد که برای هر دسته از این فعالیت‌ها باید نیازمندی‌های مخصوص در نظر گرفته شود. نرخ داده، تأخیر و تحرک‌پذیری برای گروه‌های اصلی این کاربردها در جدول ۱-۱۰ ارائه شده‌اند.

3GPP نیازمندی‌های سطح عملکرد و سرویس برای سیستم‌های نسل پنجم را مشخص کرده است. اساساً نیازمندی‌های سطح سرویس منجر به تولید و تعیین نیازمندی‌های سطح عملکرد برای سیستم‌های نسل پنجم می‌شوند. به عنوان مثال، شبکه نسل پنجم باید مقیاس‌پذیر باشد تا بتواند تعداد بسیار زیاد ادوات را پشتیبانی کند و همچنین تطابق‌پذیر باشد و امکان تغییر شبکه بر طبق شاخص‌های کلیدی عملکرد مختلف وجود داشته باشد. خلاصه و جمع‌بندی نیازمندی‌ها و شاخص‌های کلیدی عملکردی به صورت زیر هستند:

- نیازمندی نرخ داده‌ای که کاربر تجربه می‌کند برای کانون اتصال داخل ساختمان از ۱ Gbps (برای فرسوس) و ۵۰۰ Mbps (برای فراسو) و برای محیط‌های وسیع شهری از ۵۰ Mbps (برای فرسوس) و ۲۵ Mbps (برای فراسو) تغییر می‌کند.
- کاهش تأخیر باهدف رسیدن به سطح ۰.۵ میلی ثانیه برای تعاملات بین انسان و ادوات است.
- افزایش ظرفیت با هدف دستیابی به سطح ۱۵ Tbps/km² با ۲۵۰۰۰ users/km² برای کانون اتصال داخل ساختمان مانند فضاهای اداری تعریف شده است.

جدول ۱-۱۰ نیازمندی‌های کاربردهای مختلف [۲]

Use Case	User Data Rate	Latency	Mobility
Hotspots: Broadband Access in Dense Areas	DL: 300 Mbps UL: 50 Mbps	NA	60 km/h
Coverage Everywhere	DL: 1Mbps UL: 100 kbps	NA	0 – 120 km/h
Homes and Offices	DL: 1 Gbps UL: 100 - 500 Mbps	NA	Pedestrian
Public Transport, MBB in Cars, High Speed Trains	DL: 25 – 50 Mbps UL: 10 – 25 Mbps	NA	Up to 120 kmph
Broadband Access in Events & Large Gatherings	DL: 10 - 25 Mbps UL: 25 - 50 Mbps	NA	Pedestrian
Connected Vehicles: V2X	DL: 1 Mbps - 1 Gbps	3-100 ms	250 km/h
Moving Hotspots	DL: 10 - 50 Mbps UL: 5 - 25 Mbps	10 ms	500 km/h
Enhanced Multi-Media: Live TV	DL: 50 - 200 Mbps UL: 500 kbps	NA	0 – 8 km/h
Enhanced Multi-Media: On Demand	DL: 50 - 200 Mbps UL: 500 kbps	NA	0 – 80 km/h
Enhanced Multi-Media: Mobile TV	DL: 10 - 50 Mbps UL: 500 kbps	NA	250 – 500 km/h
Massive IoT: Sensor Networks (Connected Roads, Railways, Buildings, Smart Cities, Parking, Lighting, Environment Monitoring)	DL: 1 – 100 kbps UL: 1 – 100 kbps	50 ms - hours	0 – 500 km/h
Massive IoT: Smart Grid/Utilities	DL: 1– 100 kbps UL: 1 – 100 kbps	50 ms - hours	Pedestrian
Massive IoT: Wearables	DL: 100 kbps - 5 Mbps UL: 100 kbps – 5 Mbps	1 - 10 ms	0 – 120 km/h
Massive IoT: Agriculture	DL: 1 – 100 kbps UL: 1 – 100 kbps	1 - 10 ms	Pedestrian
Industry Process Automation	DL: 100 kbps - 10 Mbps UL: 100 kbps – 10 Mbps	0.5 – 1 ms	Pedestrian
Automated Factories	DL: 100 kbps – 10 Mbps UL: 100 kbps – 10 Mbps	0.5 – 1 ms	Pedestrian
Tactile Interaction	DL: 100 kbps UL: 100 kbps	0.5 – 1 ms	Pedestrian
Emergency Services, Public Safety	DL: 100 kbps – 10 Mbps UL: 100 kbps – 10 Mbps	1 - 10 ms	0 – 120 km/h
Urgent Healthcare	DL: 100 kbps – 10 Mbps UL: 100 kbps – 10 Mbps	1 - 10 ms	0 – 120 km/h
Fixed Wireless	DL: 100 kbps - 5 Mbps UL: 100 kbps – 1 Mbps	10 ms	Pedestrian

۴-۱۰- تقسیم‌بندی سرویس‌های شبکه نسل پنجم بر اساس انواع تعامل و بازه عملکرد آنها

شبکه‌های سلولی نسل پنجم سرویس‌های متنوعی را برای کاربردهای گوناگون و حوزه‌های مختلف به کار خواهند گرفت. هر یک از این سرویس‌ها می‌توانند سطح متفاوتی از نیازمندی‌های مختلف از جمله جابجایی، نرخ داده، تأخیر و قابلیت اطمینان را ارائه دهند. بازه تغییرات نیازمندی در «جابجایی» می‌تواند از کاربردهایی با سرویس بی‌سیم ثابت تا خودروهای متصل (که می‌توانند با سرعت ۱۲۰ km/h حرکت کنند) باشد. «نرخ داده» برای برخی ادوات اینترنت اشیا ممکن است در حد چند بیت بر ثانیه باشد ولی برای واقعیت مجازی (VR) باید تا حد گیگا بیت بر ثانیه بالا رود. همچنین، «تأخیر» بسیار کمی برای کاربرد اتوماسیون صنعتی قابل قبول است در حالی که کاربردهای ساختمان هوشمند به تأخیر حساس نیستند. «قابلیت اطمینان» برای پایش سلامت بیماران، حیاتی است اما برای جمع‌آوری اطلاعات کنتورها و حسگرها می‌تواند در سطح پایین‌تری باشد [۲].

با توجه به شاخص‌های کلیدی عملکرد (KPI) متفاوت، سرویس‌های متنوع بر اساس ویژگی‌های عملکردی^۱ به سه گروه اصلی دسته‌بندی می‌شوند. این سه گروه که توسط ITU ارائه شده‌اند در شکل ۲-۱۰ نشان داده شده‌اند.

۱. سیستم موبایل پهن‌بند پیشرفته (eMBB^۲): این سرویس برای کاربردهایی که عموماً نیازمندی‌هایی برای نرخ داده بیشتر و پوشش بهتر دارند مناسب می‌باشد.

۲. اینترنت اشیا حجیم (mIoT): این سرویس عموماً در جهت پشتیبانی از تعداد بسیار زیاد ادوات در یک منطقه کوچک (چگالی بالای ادوات) است.

۳. ارتباطات حیاتی^۳: این سرویس برای تأمین نیازمندی‌های بسیار سخت‌گیرانه برای تأخیر و قابلیت اطمینان مناسب است و غالباً با عنوان «ارتباطات با تأخیر کم و قابلیت اطمینان بالا (URLLC^۴)» شناخته می‌شوند.

با در نظر داشتن سطح گسترده این عملکردها، می‌توان آن‌ها را از دیدگاه دیگری چون نحوه تعاملات، به صورت زیر دسته‌بندی کرد [۲]:

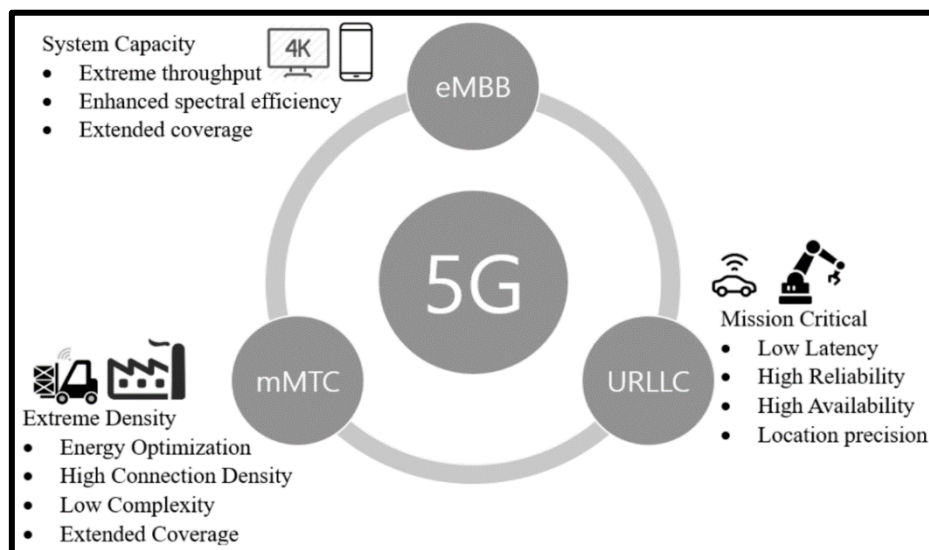
- ارتباطات بین انسان‌ها
- ارتباط بین ماشین‌ها
- تعامل مابین انسان‌ها و ماشین‌ها

¹ Performance attributes

² enhanced Mobile Broadband

³ Critical communications

⁴ Ultra Reliable and Low Latency Communications



شکل ۲-۱۰ سه دسته اصلی سرویس‌های شبکه نسل پنجم [۳]

با در نظر گرفتن تقسیم‌بندی‌های فوق و همچنین گروه‌بندی این کاربردها بر اساس عملکرد، می‌توان برخی از کاربردهای مهم شبکه نسل پنجم را به صورت شکل ۱-۱۰ طبقه‌بندی کرد. این شکل، دیدگاهی نوین از جایگاه این کاربردها برای انتخاب بهتر سرویس‌های شبکه نسل پنجم را در اختیار ما قرار می‌دهد. در ادامه به برخی از این موارد اشاره می‌شود.

۱۰-۴-۱ - سیستم موبایل پهن‌بند پیشرفته

این گروه از سرویس‌ها بر اساس ویژگی دسترسی پهن‌بند به داده در یک منطقه وسیع با ازدحام زیاد کاربران (مانند ساختمان‌های اداری و سیستم حمل‌ونقل پرسرعت عمومی) توصیف می‌شوند. هدف اصلی، فراهم ساختن امکان ارتباط در داخل ساختمان و خارج از آن با کیفیت بالای سرویس (QoS) برای بیشترین تعداد کاربر حتی در شرایط دشوار شبکه است. تعامل بین چند کاربر، واقعیت افزوده (AR^1) و شناخت محتوا² از جمله ویژگی‌های اساسی برای این گروه از کاربردها هستند. تعدادی از موارد کاربردی این گروه عبارت‌اند از:

- نقاط کانونی³ (دسترسی پهن‌بند در نقاط متراکم): این کاربرد جهت دسترسی به سرویس پهن‌بند پیشرفته در مناطق پرجمعیت مانند مجتمع‌های اداری و مسکونی، مناطق تجاری و مرکز شهر مورد توجه قرار دارد. تحرک‌پذیری و نرخ داده بالا برای این گروه مورد نیاز است.

¹ Augmented Reality

² Context Recognition

³ Hot Spots

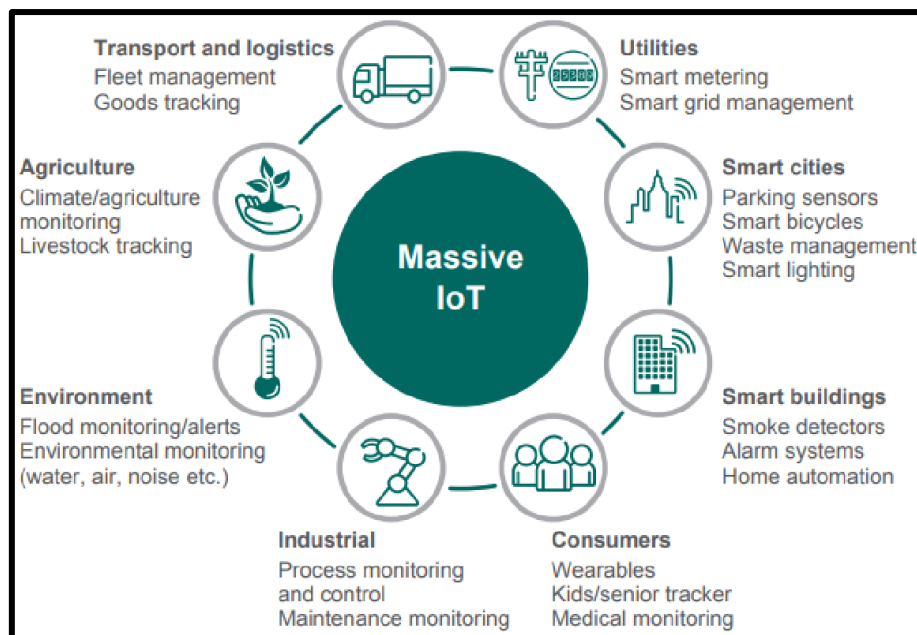
- ارتباط پهن‌بند عمومی در همه‌جا: این کاربرد برای فراهم ساختن ارتباطات سازگار با تضمین سرعت بیش از 50 Mbps در همه‌جا برای تحقق اجتماعی متصل است. داده کاربران باید به‌صورت سازگار و ثابت در منطقه تحت پوشش تحویل داده شود. تحرک‌پذیری زیاد نیز باید امکان‌پذیر باشد.
- حمل‌ونقل عمومی: این کاربرد نیازمند دسترسی پهن‌بند در سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی مانند قطارهای پرسرعت است. نیازمندی‌های این دسته شامل فراهم ساختن لینک مخابراتی مقاوم و اینترنت با کیفیت بالا برای اطلاعات، سرگرمی، تعامل یا کار با ادوات متحرک هستند.
- ادارات هوشمند: در فضای داخلی این ساختمان‌ها، حجم بسیار زیادی از اطلاعات در کنار تحرک بسیار پایین مورد استفاده هست. این گروه نیازمند تخصیص پهنای باند وسیع به صدها کاربری هست که به انجام کارهایی نیازمند به پهنای باند بالا می‌پردازند.
- وقایع خاص: این کاربردها اتصالات متراکم در سناریوهایی مانند استادیوم‌ها، کنسرت‌ها و همایش‌های بزرگ را شامل می‌شوند. این نوع اتصالات نیازمند نرخ داده زیاد و تأخیر کم هستند.

۱-۴-۲- اینترنت اشیاء با تعداد زیاد

شبکه نسل پنجم اتصال همه اشیاء را ممکن خواهد کرد. گروه سرویس‌های اینترنت اشیاء با تعداد ادوات بسیار زیاد، نیازهای ضروری مصرف‌توان کم در محدوده وسیع (LPWA) را برای ادوات ارزان با پوشش گسترده و عمر باتری طولانی دربر می‌گیرد. انتظار می‌رود این سرویس، بخش وسیعی از انواع سرویس‌های جدید شبکه نسل پنجم را با اتصال تعداد بسیار زیاد ادوات (مانند حسگرها، عملگرها، دوربین‌ها و غیره) به عرصه‌ی ظهور برساند.

نمونه‌هایی از این گروه از کاربردها در مناطق شهری و روستایی عبارت‌اند از: اندازه‌گیری مصرف انواع انرژی‌ها، مدیریت نور ساختمان‌ها و شهرها، پایش محیط‌زیست (آلودگی، دما، نویز و غیره) و کنترل ترافیک. همچنین این سرویس‌ها خواهند توانست از چگالی بسیار زیاد ادوات با ویژگی‌های مختلف در یک چارچوب مخابراتی رایج پشتیبانی نمایند.

کاربردهای اینترنت اشیاء با تعداد زیاد، در طیف وسیعی از صنایع شامل تعاملات بین ماشین‌ها و یا در ارتباطات مابین افراد و ماشین‌ها به‌صورت شکل ۳-۱۰ دسته‌بندی می‌شوند [۲]. بخش‌های مهمی از صنایع مانند به‌کارگیری تعداد بسیار زیاد کنتورهای هوشمند انرژی (برق، گاز و آب) و یا مدیریت شبکه هوشمند برق با کمک این گروه از سرویس‌های شبکه نسل پنجم پیاده‌سازی خواهند شد.



شکل ۳-۱۰ تحقق کاربردهای اینترنت اشیاء بزرگ با فناوری شبکه نسل پنجم [۲]

۳-۴-۱۰- ارتباطات حیاتی [۲]

این سرویس‌ها را می‌توان گروه اینترنت اشیاء حیاتی نیز نامید. نیازمندی تأخیر کم (در حد میلی ثانیه)، قابلیت اطمینان بسیار بالا و دسترسی زیاد، ارتباطات این گروه را با عنوان URLLC معرفی می‌کند. این کاربردها باوجود تقاضای کم برای حجم داده، ارزش تجاری بسیار زیادی دارند و مخابرات موردنیاز آن‌ها در گروه مخابرات نوع-ماشین (MTC^۱) و مأموریت‌های حیاتی^۲ قرار می‌گیرد.

مخابرات نوع-ماشین، در آینده کنترل بلادرنگ و اتوماسیون فرآیندهای پویا در زمینه‌های مختلف مانند اتوماسیون صنعتی و ساخت، توزیع انرژی و سیستم حمل‌ونقل هوشمند را امکان‌پذیر خواهد کرد. تعاملات این کاربردها، هر سه گروه ارتباطات بین انسان‌ها، ارتباط بین ماشین‌ها و تعامل مابین انسان‌ها و ماشین‌ها را شامل می‌شوند. تعدادی از موارد کاربردی این گروه عبارت‌اند از:

- اتوماسیون فرآیندها: این کاربردها بر اساس جمع‌آوری اطلاعات و تحلیل آن‌ها برای صنایع انرژی، نفت و گاز و آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. ادواتی مانند پمپ‌ها، کمپرسورها، تجهیزات پایش دما و فشار در این دسته از کاربردها مورد توجه هستند.
- کارخانه‌های خودکار: ارتباطات در این گروه برای اتوماسیون بسیاری از کارخانه‌هایی است که روند کار آن‌ها نسبت به زمان، وابسته و حساس است. تولیدات نیمه‌هادی‌ها، محصولات دارویی، صنایع

^۱ Machine-Type Communication

^۲ Mission critical

غذایی و غیره نیازمند مدیریت مواد اولیه، پروسه تولید، بسته‌بندی، جداسازی و غیره در این کارخانه‌ها هستند.

- تعاملات حسی: تعامل مابین انسان و سیستم در این گروه از کاربردها به صورت کنترل بی‌سیم اشیاء واقعی و یا مجازی از طرف انسان است و این تعامل به یک سیگنال کنترل حسی با بازخورد دیداری یا شنیداری نیازمند است. تعامل و کنترل رباتیک شامل انواع مختلف کاربردها از جمله ساخت و تولید، کنترل‌های پزشکی از راه دور و خودروهای خودران هست. تعاملات حسی به واکنش بلادرنگ در حد میلی‌ثانیه نیازمند است.
- ایمنی عمومی و بلایا، موارد اورژانسی: این کاربردها به مخابرات مطمئن و مقاوم نیاز دارد تا در حوادث غیرمترقبه و یا بلایای طبیعی (زمین‌لرزه، سیل، طوفان و غیره) به تشخیص دقیق محل وقوع حادثه و تبادل اطلاعات سریع بین سیستم و کاربران بپردازد. مصرف بهینه انرژی در شبکه ارتباطی و در باتری سمت کاربران بسیار حیاتی است. همچنین سازمان‌های ایمنی عمومی به مخابرات پیشرفته و مطمئن برای تبادل عکس‌های با کیفیت بالا و ویدیوهای بلادرنگ نیاز دارد.
- مراقبت‌های سلامتی/جراحی از راه دور: این گروه از کاربردها تشخیص بیماری و ارائه روش درمان از راه دور را میسر می‌کنند. در مورد برخی از بیماران، پایش از راه دور سیگنال‌های حیاتی آن‌ها مانند فشارخون، قند خون، ضربان قلب و غیره مورد نیاز است و تشخیص به موقع مشکلات از طریق پایش داده دریافت شده در مرکز پزشکی می‌تواند برای درمان به موقع و نجات جان بیمار بسیار ضروری باشد. سرویس مخابراتی با تأخیر کم و قابلیت اطمینان و امنیت بالا منجر به کنترل دقیق اطلاعات و درمان بیماران می‌گردد.

۵-۱۰- کاربردهای عمومی شبکه نسل پنجم

سرویس‌ها و خدماتی که اپراتورها در شبکه نسل پنجم به حوزه کسب‌وکار ارائه می‌دهند، مزایای زیادی در زمینه‌های بهبود جابجایی، انعطاف‌پذیری، قابلیت اطمینان و امنیت را در اختیار فعالیت‌های تجاری قرار می‌دهد. طیف مختلف کاربردها بر اساس نیازمندی‌های مشترکی که دارند در چند گروه با عنوان کاربردهای عمودی^۱ قرار می‌گیرند. کاربردهای عمودی مختلفی که برای استفاده در صنعت تا سال ۲۰۲۵ مورد توجه خواهند بود و سرمایه‌گذاری عظیمی برای تحقق آن‌ها شکل خواهد گرفت به ترتیب اهمیت در لیست زیر نوشته شده‌اند. همچنین صنایع مرتبط با هر کاربرد، دسته‌بندی شده‌اند [۴].

۱. پایش از راه دور:

¹ Vertical Use Cases

- صنایع: پایش صنایع مانند برق و آب
 - سلامت: پایش از راه دور بیماران
 - مصرف‌کننده: اعلان خطر، حسگرهای امنیت، موبایل برای سلامت
۲. ردیابی دارایی‌ها:

- حمل‌ونقل: پایش و مدیریت ناوگان‌های حمل‌ونقل
 - مصرف‌کننده: ردیابی دارایی‌ها
 - خودروها: مدیریت خودروها و بازیابی خودروهای سرقت شده
 - تولید: عملکرد انبارداری و خرده‌فروشی
۳. اتوماسیون فعالیت‌ها:

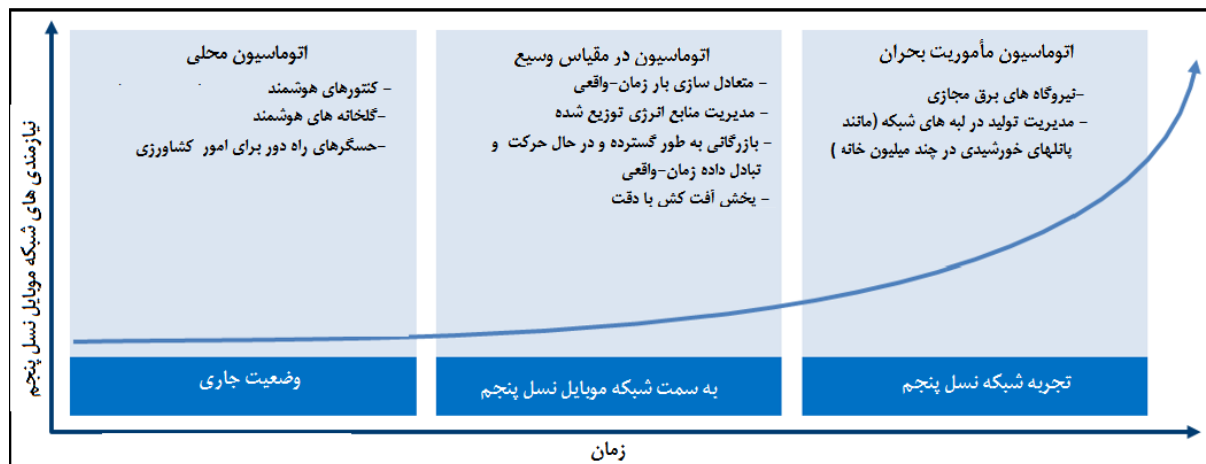
- تولید: اتوماسیون بلادرنگ
 - سلامت: جراحی از راه دور، ربات‌های کنترل‌پذیر
 - دارایی‌های تجاری: اتوماسیون ابزارها
 - ساخت‌وساز، نفت و گاز، معادن: اتوماسیون ماشین‌آلات
۴. تعمیرات پیشگیرانه:

- خودروها، حمل‌ونقل: تعمیرات خودروها، تعویض باتری
 - تولید: نگهداری ادوات
 - دارایی‌های تجاری: HVAC، گرم‌کننده‌ها، سیستم روشنایی، نگهداری
۵. تبادل ویدیو:

- مصرف‌کننده: دوربین‌های CCTV
 - دارایی‌های تجاری: دوربین‌های هوشمند امنیتی
۶. موارد دیگر:

- حمل‌ونقل و خودروها: خودروهای خودران
- مصرف‌کننده و خودروها: خودروهای متصل، اسباب و وسایل متصل
- بازار خرده‌فروشی: تبلیغات فروش حضوری بلادرنگ

با پیشرفت شبکه نسل پنجم، اتوماسیون بلادرنگ از حالت محلی به ابعاد وسیع و توزیع‌شده گسترش خواهد یافت. تکامل شبکه نسل پنجم در زمان، برای اتوماسیون بلادرنگ توسط شرکت اریکسون به‌صورت شکل ۴-۱۰ ارائه شده است.



شکل ۴-۱۰ تکامل شبکه نسل پنجم برای اتوماسیون بلادرنک (منبع: اریکسون) [۴]

۱۰-۵-۱۰ کاربرد اتوماسیون صنعتی

در گروه 3GPP، تلاش برای تعریف الزامات و اجماع در خصوص نیازمندی‌های اتوماسیون برای استانداردسازی ارتباطات شبکه نسل پنجم ادامه دارد. سندهای ارائه‌شده توسط این گروه برای تعیین نیازمندی اتوماسیون به‌صورت زیر هستند:

سند Release15 شامل معماری هسته و پیشبرد پروتکل‌ها جهت پشتیبانی از ادوات کاربران (UE^1) مانند اینترنت اشیاء، سرویس‌ها و فناوری‌ها است. این سند بر پشتیبانی از eMBB و URLLC تمرکز داشته و به تأمین نیازمندی‌های عملکردهای جدید مانند مدیریت تحرک‌پذیری، فناوری دسترسی چندگانه و برش شبکه پرداخته است. به‌علاوه، نیازها و الزامات اتوماسیون صنعتی، ارائه سیستم مخابراتی برای آن، کاربرد اینترنت اشیاء در اتوماسیون صنعتی و مباحث رایانش لبه موبایل (MEC^2) مورد مطالعه قرار گرفته‌اند.

در ادامه سند Release 15، موارد اصلی مورد بررسی در سند Release 16 عبارت‌اند از: تمرکز بر هسته برای کاربردی کردن سیستم نسل پنجم در اتوماسیون صنعتی بر اساس سرویس‌های اینترنت اشیاء سلولی، گسترش شبکه برای اتوماسیون در صنایع مختلف، شاخص‌های کلیدی عملکرد (KPI) برای انواع کاربردها، مدل کسب‌وکار برای برش شبکه، سرویس‌های شبکه محلی نسل پنجم و مکانیسم‌های امنیت و حفاظت. همچنین، مطالعات گروه 3GPP برای پشتیبانی از ارتباطات اتوماسیون در سه دسته انجام‌شده است [۴]:

- ارتباطات اتوماسیون در صنایع مختلف
- مطالعات امکان‌سنجی پشتیبانی LAN در شبکه نسل پنجم
- مدل کسب‌وکار برای برش شبکه

مطالعات تکمیلی بر طبق نتایج گزارش‌های فوق در دو بخش زیر انجام‌شده‌اند:

¹ User Equipment

² Mobile Edge Computing

- مطالعات بهبود برش شبکه
- بهبود پشتیبانی از صنایع و سرویس‌های شبکه محلی

۱۰-۵-۲- ارائه سرویس به صنعت برق

در شبکه هوشمند انرژی آینده، پیاده‌سازی ۴ گروه از کاربردهای اصلی نیازمند مخابرات بی‌سیم هستند و پیش‌بینی می‌شود که توسط برش‌های سرویس در شبکه نسل پنجم قابل اجرا شوند. این سناریوهای اصلی عبارت‌اند از [۵]:

۱. اتوماسیون توزیع شده و هوشمند فیدر: اتوماسیون توزیع عبارت است از سیستم مدیریت اطلاعات که از انتقال داده، ادوات و تجهیزات مدرن، فناوری‌های کنترلی و روش‌های نوین مدیریت بهره می‌گیرد. پیشرفت سیستم اتوماسیون توزیع در سه مرحله انجام می‌شود. مرحله اول توسط ادوات سویچ خودکار (مانند ریکلوزرها و سکشنالایزرها) و بدون نیاز به شبکه مخابراتی و سیستم‌های کامپیوتری انجام می‌شود. در مرحله دوم از شبکه مخابراتی، واحدهای پایانه فیدر و شبکه‌های کامپیوتری اختصاصی استفاده می‌شود. همچنین ارسال کننده^۱ می‌تواند از راه دور، منطقه خطا را از شبکه جدا نماید. با پیشرفت فناوری، سطح سوم از سیستم‌های اتوماسیون توزیع با اضافه شدن توابع کنترلی خودکار به ظهور می‌رسند. همکاری این توابع با سیستم‌های اسکادا، سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی^۲ (GIS) و سیستم‌های مدیریت توزیع یافته^۳ (DMS)، سرویس گزارش خطا و مدیریت اصلی منجر به ارائه سطح بالاتری از اتوماسیون می‌شود.

۲. کنترل بار جامع در سطح میلی ثانیه: کنترل بار شبکه برق شامل دو حالت کنترل بار برنامه‌ریزی شده و کنترل بار بازار است. سیستم کنترل بار جامع با کمک شبکه مخابراتی می‌تواند به جای قطع کردن بخش‌های بزرگی از شبکه که در (قسمت محدودی از) آن خرابی رخ داده است، تنها به محدوده خطا تمرکز کرده و آن را از شبکه برق جدا نماید.

۳. جمع‌آوری اطلاعات از سیستم‌های توزیع شده کم ولتاژ: اگرچه در حال حاضر جمع‌آوری اطلاعات در سطح کنتورها و بارهای مصرفی مشترکین در بازه‌های زمانی ۵ تا ۱۵ دقیقه انجام می‌شود، اما با کمک سرویس‌های شبکه نسل پنجم جمع‌آوری داده مصرف انرژی به صورت بلادرنگ انجام خواهد شد.

۴. تولیدکنندگان برق توزیع شده: انواع منابع انرژی از جمله تولیدات پراکنده خورشیدی و بادی، ایستگاه‌های شارژ خودروهای برقی، ادوات ذخیره‌ساز و شبکه‌های کوچک مانند ریزشبکه‌ها در سطوح

¹ Dispatcher

² geographic information system

³ Distribution Management System

توزیع و مصرف شبکه برق در حال گسترش هستند. اتصال این منابع به شبکه برق و عملکرد امن و مطمئن آن‌ها نیازمند یک سیستم پایش و کنترل توزیع‌شده با تأخیر کم و قابل اتصال به تعداد زیادی از تولیدکنندگان است.

۶-۱۰- کاربردهای باند میلی‌متری شبکه نسل پنجم

پایاده‌سازی شبکه نسل پنجم به باندهای فرکانسی مختلفی نیاز دارد تا بتواند از کاربردها و سرویس‌های گسترده پشتیبانی نماید. همکاری بین‌المللی در یکسان‌سازی طیف‌های فرکانسی برای امکان ارائه سرویس‌های موبایل بسیار ضروری است. با توجه به نقش پایه‌ای طیف فرکانسی، پایاده‌سازی شبکه نسل پنجم به دسترسی به منابع طیف شامل امواج میلی‌متری^۱ بین ۲۴ تا ۸۶ گیگاهرتز بستگی دارد. طیف میلی‌متری تقاضا برای سرویس‌های داده پیشرفته و نیاز بسیاری از کاربردهای شبکه نسل پنجم به پهنای باند و ظرفیت زیاد را برآورده می‌کند [۶].

طیف فرکانسی برای سرویس‌های شبکه نسل پنجم را می‌توان به دو گروه تقسیم‌بندی کرد که هر یک نقش متفاوتی را در زیست‌بوم کلی نسل پنجم بازی خواهند کرد. باندهای فرکانسی شبکه نسل پنجم عبارتند از:

- باند کمتر از ۶ GHz
- باندهای میلی‌متری

شکل ۵-۱۰ مقایسه‌ای از ویژگی‌های باندهای فرکانسی شبکه نسل پنجم را نشان می‌دهد.

باندهای زیر 6GHz	باندهای میلی‌متری
 Heavy incumbent use	 Spectrum relatively available due to light incumbent use
 ممکن است بلوک‌های طیفی پیوسته بزرگ موجود نباشند	 = بلوک‌های طیفی پیوسته بزرگ در دسترس هستند
 گذردهی کمتر به ازای هر هرتز	 گذردهی بالاتر به ازای هر هرتز
 منطقه تحت پوشش وسیع	 منطقه تحت پوشش کوچک

Source: TMG.

شکل ۵-۱۰ مقایسه ویژگی‌های باندهای فرکانسی شبکه نسل پنجم

برای مشخص کردن اثر فرکانس‌های میلی‌متری، تعدادی از کاربردهای وابسته به این باند بررسی می‌شوند [۶]:

¹ millimeter wave

۱. اینترنت بسیار پرسرعت در خانه‌ها و ادارات: باوجود تحرک ادوات در این حوزه، غالباً این سرویس به‌صورت ارائه داده بی‌سیم ثابت به کاربران ارائه می‌شود. اگرچه این سرویس می‌تواند در فرکانس‌های مختلف داده شود، اما پیاده‌سازی آن در باند میلی‌متری مزایای مختلفی دارد. مزایایی چون استفاده از فرکانس‌های هم‌جوار و کاهش هزینه در واحد Mbps به علت بازده بالای طیف منجر به مدل‌های کسب‌وکار متوعی چون اتصالات قابل نقل‌وانتقال می‌شود. همچنین در حوزه‌های مراقبت‌های پزشکی (درمان از راه دور) و آموزش (دسترسی به آموزش برخط) شبکه نسل پنجم می‌تواند منجر به پیشرفت شود.
۲. اتوماسیون صنعتی: برقراری ارتباط بین ادوات و ماشین‌ها که به‌دقت بسیار بالا نیازمند است، توسط سرویس‌های با تأخیر کم باند میلی‌متری امکان‌پذیر می‌شود. حجم زیاد داده‌ای که توسط ادوات صنعتی تولید خواهد شد در کنار تعداد بسیار زیاد این ادوات هوشمند باید توسط سرویس‌های شبکه نسل پنجم میلی‌متری پشتیبانی شوند.
۳. مدیریت ادوات از راه دور: کنترل از راه دور انواع مختلفی از ادوات کاربردی است که با اتوماسیون صنعتی تفاوت دارد. این کاربرد علاوه بر ارتباطات بین ماشین‌ها (مانند کنترل و یا ارسال فرمان‌ها از طرف ماشین‌ها)، شامل تعاملات بین انسان و ادوات نیز می‌شود. با توجه به نیازمندی تأخیر کم و امنیت زیاد در این کاربردها، پیش‌بینی می‌شود باند میلی‌متری نقش مهمی را داشته باشد. نمونه‌ای از این کاربرد در بخش پزشکی و جراحی و درمان از راه دور می‌تواند باشد.
۴. واقعیت مجازی و همایش‌ها: این کاربرد شامل دو زیرگروه واقعیت مجازی و واقعیت افزوده (VR/AR) و همچنین همایش مجازی. در بخش اول، واقعیت مجازی به معنای حضور مجازی در محل دیگر و واقعیت افزوده به معنای داشتن اطلاعات پیشرفته در فضای واقعی است. به‌علاوه، همایش مجازی به نسل جدیدی از کنفرانس‌های ویدیویی یا تلفنی اشاره دارد که در آن افراد به‌صورت مجازی در کنار هم قرار می‌گیرند. با در نظر گرفتن تأخیر کم و حجم اطلاعات به اشتراک گذاشته‌شده در این نوع تعاملات (مانند فعالیت‌های آموزشی مجازی)، استفاده از باند میلی‌متری می‌تواند به تحقق آن‌ها بیانجامد.
۵. اتصالات در حمل‌ونقل: دو نوع اتصالات در حمل‌ونقل شامل دسترسی به اینترنت در زمان جابجایی و همچنین وسایل نقلیه متصل هست. این کاربردها که می‌توانند در شبکه‌های ترابری عمومی یا خصوصی باشند گروه‌های مختلف خودروهای خودران و یا ارتباط مستقیم وسیله نقلیه به ادوات دیگر (V2X) را در برمی‌گیرند. تبادل بلادرنگ حجم زیاد داده نیازمند ارتباط مطمئنی است که با به‌کارگیری طیف میلی‌متری مخصوصاً در مناطق شهری ممکن خواهد شد.

۷-۱۰- کیفیت سرویس شبکه نسل پنجم

تأثیر فناوری شبکه‌های نسل چهارم در دنیا، افزایش استفاده از موبایل و بهبود کارایی شبکه بود. شبکه نسل پنجم در ادامه این راه، پیشرفت‌های قابل توجهی در شبکه شامل سرعت اتصال بیشتر، تحرک پذیری و ظرفیت بالاتر و همچنین تأخیر کم را ارائه خواهد داد. برای دستیابی به این اهداف، شبکه نسل پنجم کاربردها و استفاده‌های جدید و مؤثر در بخش‌های صنعتی را به ظهور خواهد رساند. کیفیت سرویس که شبکه نسل پنجم برای این کاربردها ارائه خواهد داد نیز متناسب با نیاز خاص هر کاربرد، متفاوت خواهد بود.

۱۰-۷-۱۰- کیفیت سرویس برای URLLC

کاربردهایی که در گروه URLLC قرار می‌گیرند نیازمند تبادل داده بین دو نقطه انتهایی شبکه^۱ (E2E) با قابلیت اطمینان و امنیت بالا و کمترین مقدار تأخیر هستند. گروه 3GPP برای نیازمندی‌های URLLC مقادیری را تعیین کرده است که عبارتند از: بیشینه تأخیر ۱ میلی ثانیه و قابلیت اطمینان ۹۹.۹۹۹٪. این نیازمندی‌ها برای کاربردهایی که زیرمجموعه URLLC قرار می‌گیرند در جدول ۲-۱۰ نشان داده شده‌اند [۳]. کیفیت نامطلوب کانال و نبود پهنای باند اختصاصی برای کاربردهای URLLC از جمله موانع رسیدن به تأخیر کم در ارتباطات هستند. همچنین به علت استفاده از روش‌های متنوع ارسال مجدد داده در ادوات مختلف، تأخیر ارسال بیشتر می‌شود. شبکه‌های نسل چهارم نوین LTE و یا شبکه‌های با قابلیت تقاضای ارسال خودکار هیبریدی (HARQ) در هنگام رخداد خطای دریافت داده، مبتنی بر ارسال مجدد بخشی از داده و یا کل بسته ارسالی هستند؛ لذا این شبکه‌ها برای تحقق نیازهای URLLC مناسب نیستند. روش دیگر برای کاهش نرخ خطا و عدم نیاز به ارسال مجدد بسته‌ها، تخصیص منابع به سیستم است، هرچند که این روش می‌تواند به استفاده کمتر از ظرفیت سیستم و کاهش کارایی طیف فرکانسی منجر شود. در این راستا سه نکته با اهمیت باید مورد توجه قرار گیرد:

۱. داده سربار سیستم (مانند داده دسترسی به کانال، زمان‌بندی کاربر و تخصیص منابع) باید به کمترین مقدار ممکن کاهش یابد.
۲. کمینه کردن احتمال خطای بسته‌ها که منجر به کاهش ارسال مجدد بسته‌ها و کاهش تأخیر کلی می‌شود.

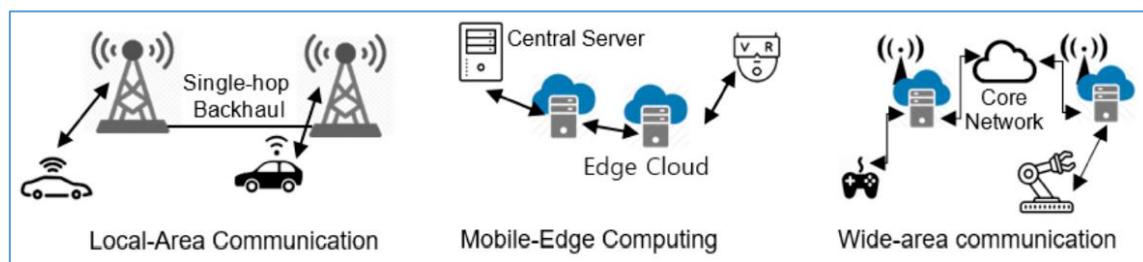
۳. ارسال بسته‌های URLLC دارای اولویت باشد و به محض تولید اطلاعات، ارسال شوند.

جدول ۲-۱۰ کیفیت سرویس برای کاربردهای URLLC [۳]

¹ End-to-End

Industry	Error Rate/Reliability	Latency (ms)
Augmented/Virtual Reality	$10^{-3} - 10^{-5}$	5-10
Autonomies/guided vehicle	$\geq 10^{-3}$	5-10
Automated Industry	$10^{-5} - 10^{-9}$	1
IoT (Internet of things/Tactile Internet)	10^{-5}	1

همچنین، راه‌حل‌های ارتباطی و روش‌های مخابراتی پیشنهاد شده برای بهبود کارایی کاربردهای URLLC در شکل ۶-۱۰ نشان داده شده‌اند. این سه روش عبارتند از: روش‌های ارتباطی در لبه (رایانش لبه سیار)، ارتباطات محلی و ارتباطات با مقیاس وسیع در منطقه گسترده.



شکل ۶-۱۰ سه سناریوی ارتباطی برای نیازهای کیفیت سرویس در گروه URLLC [۳]

استفاده از مخابرات محلی به صورت اتصال همه کاربران به تعداد محدودی از نقاط دسترسی (AP) است؛ در حالیکه این نقاط دسترسی بدون واسطه و غالباً با زیرساخت فیبر به یکدیگر متصل هستند. یکی از کاربردهای این نوع از اتصال، بحث ایمنی خودروها است که در آن پیام‌های ایمنی بین خودروهای نزدیک به اشتراک گذاشته می‌شوند [۷].

افزودن مبحث محاسبات لبه با قرار دادن بخشی از منابع و محاسبات در نزدیکی کاربران نهایی، برای دستیابی به تأخیر کمتر و قابلیت اطمینان بالاتر بسیار کمک‌کننده خواهد بود؛ هرچند که مباحث چگونگی پیاده‌سازی آن همچنان تحت مطالعه قرار دارد. این ساختار ارتباطی می‌تواند برای گسترش کاربردهای واقعیت مجازی/افزوده (VR/AR)، بخشی از محاسبات مورد نیاز کاربرانی که قابلیت محاسباتی کافی ندارند را به سیستم رایانش لبه سیار منتقل کند و تأخیر کل را کاهش دهد.

در ارتباطات با مقیاس وسیع و در منطقه گسترده نیز بازخوردهایی از کاربردهای حسی (مانند عمل جراحی از راه دور با کمک ربات‌ها) باید پشتیبانی شوند.

۱۰-۷-۲- کیفیت سرویس برای eMBB

eMBB که یکی از کاربردهای اصلی تعریف شده توسط ITU است که ویژگی‌های ترافیکی خاصی نیاز دارد. نرخ داده بسیار زیاد جهت تحقق نیاز دسترسی به داده با سرعت بالا در کاربردهایی چون تصاویر سه بعدی، انتقال ویدیو و واقعیت مجازی (VR) هدف‌گذاری شده است. در سناریوی eMBB، دستیابی به نرخ داده بالا

برای هر کاربر با تعریف اندازه بسته بزرگ و انتقال حجم زیادی از داده در جهت فروسو میسر می‌شود. به علاوه، برش شبکه برای این کاربردها داده را نزدیک‌تر به کاربران قرار می‌دهد. جدول ۳-۱۰ نیازمندی‌های نرخ داده در دو جهت فراسو و فروسو و ویژگی‌های ترافیکی را برای کاربردهای eMBB نشان می‌دهد. این نیازمندی‌ها بر اساس Release 15 در 3GPP نوشته شده‌اند [۸] و [۹].

جدول ۳-۱۰ نیازمندی‌های عملکردی و ویژگی‌های ترافیکی برای eMBB [۸] و [۹]

ویژگی‌های ترافیکی و چالش‌های پیش رو	نیازمندی‌های کلیدی اجرای سیستم	سناریوی کلیدی 5G
High data rate every user; downlink-dominated transmissions traffic; big data package transmission	Peak data rate: DL: 20 Gb/s, UL: 10 Gb/s User experienced data rate: DL: 100 Mb/s, UL: 50 Mb/s (dense urban) Area traffic capacity: DL: 10 Mb/s/m ² Latency: 4 ms	eMBB

۱۰-۷-۳- کیفیت سرویس برای mMTC

در جدول ۴-۱۰، نیازمندی‌های بررسی شده برای کاربردهایی که زیرمجموعه mMTC قرار می‌گیرند و ویژگی‌های ترافیکی لازم بر اساس نسخه ۱۵ 3GPP نشان داده شده‌اند [۸] و [۹]. تراکم زیاد اتصال ادوات، نرخ داده کم برای هر کاربر و مصرف توان پایین از جمله ویژگی‌های اصلی کاربردهای این گروه هستند. در آینده نزدیک پیش‌بینی می‌شود که شش دسته مختلف از کاربردها نیازمند ارتباطات گسترده مابین تعداد زیادی از ماشین‌ها باشند [۱۰]. این کاربردها عبارتند از:

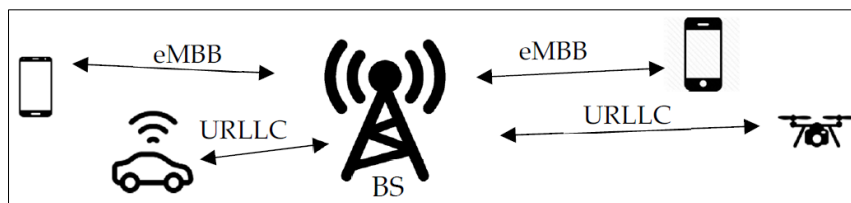
- اتوماسیون و کنترل عملکرد ساختارهای ساختمان‌ها
- سیستم‌های حمل و نقل و نظامی
- حوزه سلامت
- امنیت و نظارت عمومی
- پایش سرویس‌های محیطی و صنعتی
- پایش نیروگاه‌ها و شبکه توزیع برق

جدول ۴-۱۰ نیازمندی‌های عملکردی و ویژگی‌های ترافیکی برای mMTC [۸] و [۹]

ویژگی‌های ترافیکی و چالش‌های پیش رو	نیازمندی‌های کلیدی اجرای سیستم	سناریوی کلیدی 5G
Low data rate every user; high connection density; uplink-dominated transmissions	Connection density: 1 million devices/km ²	mMTC

۱۰-۷-۴- ارائه سرویس‌های همزمان به کاربردهای متنوع

شبکه نسل پنجم باید سرویس‌هایی را برای کاربردهای متنوع با نیازمندی‌های مختلف ارائه دهد. کاربردهای URLLC به قابلیت اطمینان بالا و تأخیر کم نیاز دارند در حالیکه برای کاربردهای eMBB باید نرخ داده زیاد ارائه شود. شکل ۷-۱۰ نشان می‌دهد که برای پیاده‌سازی همزمان هر دو دسته URLLC و eMBB در منابع فیزیکی مشترک، یک روش بهینه مورد نیاز است که قابلیت پیاده‌سازی نیازمندی‌های QoS برای هریک از کاربردها را داشته باشد. این نوع از پیاده‌سازی همزمان (مثلاً بر روی طیف رادیویی مشترک) می‌تواند مزایای زیادی از جهت بهینه‌سازی در اختیار قرار دهد.



شکل ۷-۱۰ پیاده‌سازی و تعامل همزمان کاربردهای URLLC و eMBB با ایستگاه پایه [۳]

یکی از پیشنهاد‌های موجود برای کاربردهای همزمان دو دسته URLLC و eMBB، استفاده از مالتی‌پلکس زمانی و تخصیص دو بازه زمانی ارسال^۱ (TTI) متفاوت برای هر یک از آنها است. مزیت اصلی این روش، کارایی زیاد طیف فرکانسی برای هریک از کاربردها است. به عنوان مثال، ترافیک مربوط به URLLC می‌تواند در بازه‌های زمانی کوتاه‌تر (تخصیص TTI کوچکتر برای دستیابی به تأخیر کمتر) ارسال شود. هر چند که این تعریف منجر به بیشتر شدن سربار سیگنال‌های کنترلی شود.

۸-۱۰- بهبود کیفیت سرویس با کمک مفهوم برش شبکه^۲

هدف اصلی دستیابی به شبکه نسل پنجم برآورده کردن نیازمندی‌های کیفیت سرویس برای کاربردهای مختلف است. برش شبکه به عنوان مفهومی است که همگرایی سرویس‌های شبکه برای پاسخ به نیازهای خاص مصرف‌کنندگان را میسر می‌سازد. «برش شبکه فیزیکی به تعدادی از شبکه‌های منطقی» به معنای پشتیبانی شبکه نسل پنجم از سرویس‌های لازم برای همه کاربردهایی است که در یک زمان از همان شبکه فیزیکی استفاده می‌کنند. به این ترتیب، منابع شبکه می‌توانند به صورت پویا و مؤثر به کاربردها اختصاص پیدا کنند. با توجه به تخصیص هر برش به یک کاربرد خاص، از این مفهوم به عنوان برش شبکه-به‌عنوان-سرویس^۳ نام برده می‌شود.

¹ Transmission Time Interval

² Slicing

³ Network Slice as a service

پیاده‌سازی مفهوم برش شبکه در کنار دو تکنیک نوین شبکه‌های نرم‌افزار محور (SDN) و مجازی‌سازی توابع شبکه (NFV) معنی پیدا می‌کند. مدیریت مجازی منابع (VIM) که در فصل پنجم به آن اشاره شده است، مسئول تخصیص منابع شبکه به برش‌های مختلف و به صورت پویا و کارآمد است. به این ترتیب، یک برش کامل از شبکه (انتها-به-انتها)، مجموعه خاصی از توابع شبکه و ماحول‌های تخصیص منابع است که از برش‌های دیگر مجزا بوده و دارای مدیریت مستقل هستند. این تعاریف ما را به تعریف «سرویس شبکه» هدایت می‌کند: یک سرویس شبکه ترکیبی از توابع شبکه است که بر اساس توابع شبکه مستقل و مکانیزم‌های اتصال آنها تعریف می‌شود [۱۱].

پیاده‌سازی برش‌های شبکه برای هر یک از سه گروه اصلی کاربردها در شبکه نسل پنجم شامل واحدهای زیر هستند [۱۲]:

۴. eMBB: برش شبکه شامل توابع حافظه نهان، واحد داده و واحد ابر در کنار توابع کنترلی
۵. URLLC: قرار گرفتن همه توابع در لبه ابر جهت کاهش تأخیر
۶. اینترنت اشیای حجیم (mIoT): استقرار همه کاربردها در لایه بالا به منظور پشتیبانی از اتصالات ادوات در سرویس‌های متنوع تجاری

۱-۸-۱۰ - مدیریت سرویس‌ها در پیاده‌سازی برش شبکه

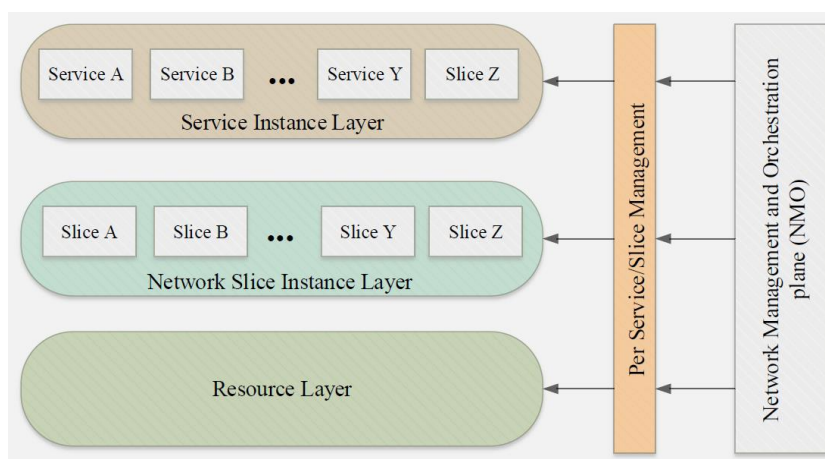
هر یک از برش‌های شبکه می‌تواند معماری، کاربردها و ظرفیت محاسباتی مخصوص به خود را داشته باشد. پیاده‌سازی هر برش از شبکه در دو مرحله انجام می‌شود: ایجاد برش و زمان اجرا. در مرحله اول یعنی ایجاد برش درخواست کاربر نهایی به اجاره‌کننده داده می‌شود و بلافاصله برش مورد نیاز به آن تخصیص می‌یابد. در مرحله بعد یعنی زمان اجرا بلوک‌های عملکردی مختلف درون هر برش (که از قبل ایجاد شده‌اند) به ایفای نقش پرداخته و بر اساس نیاز کاربر نهایی سرویس‌هایی را ارائه می‌دهند [۱۳].

منابع هر برش شبکه شامل NFVها و بلوک‌های عملکردی هستند که بر زیرساخت کلی/جزئی مشترک کار می‌کنند؛ به این معنی که سخت‌افزار موجود به دو صورت اختصاصی (المان‌های شبکه در RAN) و مشترک (منابع زیرساخت مجازی‌شده عملکرد شبکه (NFVI)) تقسیم‌بندی می‌شوند.

همچنین به منظور تخصیص بهینه منابع شبکه، دو گروه مختلف از اولویت‌دهی معرفی شده‌اند که بین کاربران و ارائه‌دهندگان سرویس تعریف می‌شوند و به شرح زیر هستند:

۱. اولویت‌دهی بین برش‌ها: سطوح مختلف اولویت برای برش‌های شبکه
 ۲. اولویت‌دهی درون هر برش: تعیین اولویت برای کاربران یک برش شبکه.
- از دیدگاه عملی، شبکه موبایل آینده مفهوم برش شبکه را به سه لایه تقسیم می‌کند. این لایه‌ها که در شکل ۸-۱۰ دیده می‌شوند برای هر سرویس خاص به صورت زیر هستند:

- لایه نمونه سرویس^۱: این لایه نشان‌دهنده سرویس‌های مخصوص کسب و کار و کاربران است که باید توسط شبکه پشتیبانی شوند. این سرویس‌ها می‌توانند توسط اپراتور شبکه و یا توسط طرف سوم ارائه شود.
- لایه نمونه برش شبکه: این لایه ویژگی‌های مورد انتظار از برش را ارائه می‌دهد. این لایه توسط اپراتور شبکه ممکن است به صورت مشترک برای چند لایه ارائه شود و می‌تواند شامل تعدادی از زیرشبکه‌ها باشد.
- لایه منابع: توابع شبکه توابع شبکه فیزیکی و مجازی که برای پیاده‌سازی یک برش به کار می‌روند در این لایه قرار دارند. توابع مدیریت برش شبکه نیز توسط هماهنگ‌کننده منابع (شامل هماهنگ‌کننده مجازی سازی توابع شبکه (NFVO) و پیکربندی منابع کاربردی) انجام می‌شود.



شکل ۸-۱۰ معماری مدیریت برش شبکه [۱۳]

۹-۱۰-۱- ارائه سرویس در ساختار شبکه دسترسی رادیویی

اگرچه شبکه دسترسی رادیویی شامل فناوری‌های مخابراتی نوینی از جمله مدولاسیون، روش‌های کدینگ و روش چند ورودی-چند ورودی حجیم است، اما این بخش تمرکز زیادی روی افزودن فناوری ابری و ایجاد Cloud-RAN دارد. کاربردهای جدید سرویس‌های ابری که در شبکه دسترسی رادیویی پیاده‌سازی می‌شوند در شبکه نسل پنجم از اهمیت بالایی برخوردار هستند. مزایای شبکه دسترسی رادیویی-به‌عنوان-سرویس^۲ (RANaaS) از نظر تاب‌آوری شبکه و کارایی انرژی اثبات شده است. ایده اصلی برای شبکه دسترسی رادیویی-به‌عنوان-سرویس مبتنی بر ابر، استقرار ظرفیت شبکه دسترسی در یک سرور مرکزی و ارائه آن به نیازهای مشتریان است [۱۴].

^۱ Service Instance Layer

^۲ RAN-as-a-service

با در نظر گرفتن معماری سرویس‌محور برای شبکه نسل پنجم، فناوری‌هایی که در شبکه دسترسی به کار می‌روند با هدف اصلی بهبود کیفیت سرویس پیاده‌سازی شده‌اند. بهبود سرویس در شبکه دسترسی در دو بخش اصلی مورد بررسی قرار می‌گیرد:

- برش شبکه (بخشی از این مفهوم در بخش شبکه دسترسی رادیویی انجام می‌شود)
- رایانش لبه سیار (MEC)

۱۰-۹-۱- سرویس‌های شبکه نسل پنجم با کمک فناوری رایانش لبه سیار (MEC)

محاسبات در لبه یکی از پایه‌های تحقق شبکه نسل پنجم است که با عنوان فناوری رایانش لبه سیار (MEC) شناخته می‌شود. با پیاده‌سازی فناوری رایانش لبه سیار (MEC)، بخش‌های هماهنگ‌سازی و مدیریت (MANO) و توابع اجرایی کردن کاربردها برای ارائه یک فضای مبتنی بر سرویس در مراکز داده لبه مشارکت می‌کنند. همچنین، سرویس‌های واسط برنامه‌های کاربردی (API)، اطلاعات شبکه زیرساخت و ارائه کاربردها را میسر می‌سازند. فضای سرویس محلی به صورت یک چارچوب منعطف می‌تواند سرویس‌های جدیدی را با کمک واسط‌های برنامه کاربردی در اختیار قرار دهد.

تعریف شبکه نسل پنجم و ویژگی‌های آن بر اساس معماری سرویس‌محور (SBA)، تعامل مبتنی بر سرویس مابین توابع شبکه را مشخص می‌کند و عملکرد شبکه را در راستای مفاهیم مجازی‌سازی و کاربرد شبکه مبتنی بر نرم افزار هدایت می‌کند. ویژگی‌های مشترک سرویس‌ها باید توسط تعاریف فناوری رایانش لبه سیار (MEC) به اشتراک گذاشته شوند. به عبارت دیگر، محاسبات در لبه به عنوان فناوری پایه در دستیابی به شبکه نسل پنجم جهت ارائه سرویس در لبه و پشتیبانی از اتصالات با تأخیر کم، سرویس‌های حیاتی و اینترنت اشیا در آینده ضروری خواهد بود. طراحی ارائه شده توسط 3GPP اجازه می‌دهد که رایانش لبه سیار (MEC) بر روی توابع کاربردی نگاشته شود و بر اساس تعریف از سرویس‌ها و اطلاعات استفاده کند. همچنین سیستم رایانش لبه سیار (MEC) با بهبود کنترل و مسیریابی انتقال داده، ویژگی‌های سرویس‌ها را بهبود می‌دهد [۱۵].

از نظر معماری شبکه نسل پنجم، یکی از تغییرات اصلی در ارتباطات توابع هسته و تعامل آنها بر طبق معماری مبتنی بر سرویس ایجاد شده است. در این معماری تعدادی از توابع به ارائه سرویس و تعدادی به مصرف سرویس‌ها می‌پردازند. برای سرویس‌های ساده یا درخواست اطلاعات، یک مدل درخواست-پاسخ و برای پروسه‌های طولانی مدت یک مدل تصدیق-اعلام می‌تواند به کار گرفته شود. فناوری رایانش لبه سیار (MEC) نیز در راستای این اصول برای کاربردهای خود به صورت مشابه رفتار می‌کند. لذا کاربرد فناوری رایانش لبه سیار (MEC) در ابر توزیع شده سیستم رایانش لبه سیار (MEC) می‌تواند به یک یا چند برش شبکه (که در هسته شبکه نسل پنجم شناخته شده هستند) تعلق داشته باشد. در پیاده‌سازی این مفهوم، واحدهایی از معماری چون تابع نشست شبکه (NSSF) و تابع سطح کاربری (UPF) نقش مهمی را ایفا می‌کنند.

پایه‌سازی سیستم رایانش لبه سیار (MEC) در کنار معماری سرویس‌محور شبکه نسل پنجم مزایایی را برای انواعی از کاربردها دارد از جمله [۱۵]:

- طرف سوم ارائه‌دهندگان سرویس ابری
- رایانش لبه سیار (MEC) برای محاسبات بدون سرور و تجمیع ابر برای ادوات بسیار زیاد اینترنت اشیا
- رایانش لبه سیار (MEC) برای سرمایه‌گذاران
- اینترنت اشیا صنعتی (کاربرد رایانش لبه سیار (MEC) برای دستیابی به امنیت، ایمنی و تحلیل داده، ردیابی مکان ادوات فعال، انتقال محاسبات به منابع قدرتمند محاسباتی در لبه)

۱۰-۹-۲- نقش طرف سوم در سرویس‌های شبکه نسل پنجم

طرف سوم به عنوان یک بازیگر مهم، در بخش‌های مختلفی از شبکه موبایل وارد می‌شود که نقش و عملکرد آنها را می‌توان به صورت‌های زیر دسته‌بندی کرد:

- طرف سوم می‌تواند به عنوان مالک بخش‌های سخت‌افزاری بخشی از زیرساخت فیزیکی شبکه را فراهم سازد.
- ممکن است طرف سوم ارائه دهنده بخش/بخش‌هایی از توابع شبکه در هسته و یا شبکه دسترسی باشد (مانند ارائه سرویس ابری در شبکه دسترسی رادیویی).
- برش‌های شبکه می‌تواند توسط یک اپراتور شبکه موبایل (MNO) ایجاد شود و به یک موسسه یا طرف سوم (مانند یک سرمایه‌گذار) اجاره داده شود. این برش ممکن است با توجه به نیازمندی‌های گروهی از کاربردها یا بر اساس نیازمندی‌های خاص یک طرف سوم ایجاد شده باشد.
- طرف سوم می‌تواند به عنوان واسطه^۱ در شبکه نسل پنجم نقش ایفا کند. در این صورت، اپراتورهای شبکه مجازی موبایل، ارائه‌دهندگان سرویس‌های رسانه‌ای (OTT)^۲ و بازیگران بازارهای صنایع می‌توانند زیرساخت‌های مورد نظر خود و یا سرویس‌های اختصاصی خود را از طرف سوم درخواست و اجاره کنند [۱۶].

۱۰-۱۰-۱- زنجیره سرویس شبکه^۳ (NSC)

زنجیره سرویس شبکه که با عنوان زنجیره تابع سرویس^۴ (SFC) نیز شناخته می‌شود، به قابلیت شبکه مبتنی بر نرم افزار در ایجاد زنجیره‌ای از سرویس‌ها اطلاق می‌شود. اپراتورهای شبکه با استفاده از این مفهوم می‌توانند دسته‌هایی از مسیرهای عبور داده با ویژگی‌های مختلف را ایجاد کنند که هر دسته شامل ترکیبی از سرویس‌ها

^۱ Broker

^۲ Over-the-top

^۳ Network Service Chaining

^۴ Service Function Chaining

با نیازمندی‌های متفاوت (مانند امنیت، تأخیر کم یا به صورت کلی کیفیت سرویس بالا) است. زنجیره سرویس شبکه در بسیاری از کاربردها که از مفاهیم شبکه مبتنی بر نرم افزار و فناوری مجازی سازی توابع شبکه برخوردار هستند دیده می‌شود. مزیت مهم زنجیره سرویس، خودکار کردن عملکرد شبکه با وجود ویژگی‌های مختلف کاربردها است.

از آنجا که معماری برش شبکه نسل پنجم در همه لایه‌ها انجام می‌شود، هماهنگی زنجیره سرویس (در نیازمندی‌هایی چون قابلیت اطمینان) اهمیت بیشتری دارد. ویژگی‌های مورد نیاز شبکه نسل پنجم مشکلاتی را برای زنجیره سرویس شبکه مطرح می‌کند که برخی از آنها عبارتند از [۱۷]:

- شبکه نسل پنجم کاربردهای بسیار زیادی را به صورت همزمان حتی در سلول‌های کوچک به اجرا خواهد گذاشت. لذا سرویس‌های شبکه نسل پنجم باید مازولار باشند (که این امر اهمیت روش‌هایی مانند میکروسرویس‌ها را مشخص‌تر می‌کند) و همچنین در شبکه ناهمگن به صورت توزیع‌شده باشند.
- شبکه نسل پنجم سناریوهای متفاوتی را با چند اپراتور و با مدیریت توزیع‌شده اجرا خواهد کرد. لذا بخش مدیریت بر مبنای زنجیره سرویس و شامل توابع مجازی شبکه و کاربردهای مدیریت خارجی خواهند بود.
- دسترسی رادیویی در شبکه نسل پنجم بر اساس مجازی‌سازی و زنجیره سرویس (مانند شبکه دسترسی رادیویی ابری و یا شبکه دسترسی مجازی) تعریف می‌شود. برش در لایه فیزیکی و لایه سرویس تجمیع برای توابع شبکه دسترسی رادیویی را مشکل‌تر می‌کند. به علاوه، عملکرد خودکار در سرویس‌های دسترسی رادیویی ضروری است تا اینکه این سرویس‌ها خودگردان و پویاتر (مدیریت و کنترل بلادرنگ) باشند.
- شبکه نسل پنجم به پویایی نیاز دارد که این امر با انعطاف در زنجیره سرویس و ارائه راه‌حل‌های نوین تحقق می‌یابد. مواردی چون پیکربندی، کارآیی و مدیریت امنیت باید مازولار و برای سرویس‌های Ad hoc (که توسط مشتریان تعریف می‌شوند) در بخش‌های دسترسی و هسته آزاد باشند.

۱۰-۱۱- جمع‌بندی

با پیشرفت و تکامل مطالعات فناوری‌های بکار رفته در طراحی شبکه سلولی نسل پنجم، سطوح مختلف این شبکه در حال پیاده‌سازی است. قابلیت‌های شبکه نسل پنجم سطح سرویس‌های قابل ارائه توسط شبکه‌های مخابراتی سلولی را افزایش خواهد داد. لذا این فناوری نقش بیشتر و مؤثرتری را در نیازمندی‌های ارتباطی خواهد داشت، تعداد زیادی از کاربردهای نوین را تحقق خواهد بخشید و صنایع مختلف را ارتقاء خواهد داد. در این فصل به معرفی قابلیت‌های شبکه سلولی نسل پنجم از منظر ارائه سرویس‌ها پرداخته شده است. کاربردهای اصلی و نیازمندی‌های مرتبط و نیز تقسیم‌بندی آنها به سه گروه اصلی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند.

همچنین سرویس‌های صنعتی و تجاری و کاربردهای باندهای فرکانسی شبکه نسل پنجم ارائه شده‌اند. در ادامه، به بررسی کیفیت سرویس شبکه نسل پنجم در سه دسته کاربردها پرداخته شده است. سپس بهبود کیفیت سرویس با کمک مفهوم برش شبکه و در ساختار شبکه دسترسی RAN (با تمرکز بر فناوری راینش لبه سیار (MEC)) مورد مطالعه قرار گرفته‌اند.

۱۰-۱۲ - مراجع

- [1] <https://www.nokia.com/networks/services/5g-services/>.
- [2] "5G Services & Use Cases", 5G Americas, Nov. 2017.
- [3] MA. Siddiqi, H. Yu, J. Joung, "5G Ultra-Reliable Low-Latency Communication Implementation Challenges and Operational Issues with IoT Devices," *Electronics Journal*, vol. 8, no. 9, 2019.
- [4] "5G Communications for Automation in Vertical Domains", 5G Americas, 2018.
- [5] "5G Network Slicing Enabling the Smart Grid", China Telecom, State Grid, Huawei, 2018.
- [6] "5G Services Innovation", 5G Americas, 2019
- [7] D. Feng, et.al., "Toward Ultrareliable Low-Latency Communications: Typical Scenarios, Possible Solutions, and Open Issues," *IEEE Vehicular Technology Magazine* , vol. 14, no. 2, pp. 94-102, 2019.
- [8] Y. Fu, S. Wang, C-X. Wang, X. Hong, S. McLaughlin, "Artificial Intelligence to Manage Network Traffic of 5G Wireless Networks", *IEEE Network* , vol. 32, no. 6, pp. 58-64, 2018.
- [9] "3GPP Release 15 Overview", *IEEE Spectrum*, [Online]. Available: <https://spectrum.ieee.org/telecom/wireless/3gpp-release-15-overview>.
- [10] I. Jovović, I. Forenbacher, M. Periša, "Massive Machine-Type Communications: An Overview and Perspectives Towards 5G", in 3rd Int. Virtual Research Conf. In Technical Disciplines (RCITD), 2015.
- [11] J. Ordonez-Lucena, P. Ameigeiras, D. Lopez, J.J. Ramos-Munoz, J. Lorca, J. Folgueira, "Network Slicing for 5G with SDN/NFV: Concepts, Architectures and Challenges," *IEEE Communications Magazine* , vol. 55, no. 5, pp. 80-87, 2017.
- [12] H. Zhang, N. Liu, X. Chu, K. Long, A-H. Aghvami, V. C.M. Leung, "Network Slicing Based 5G and Future Mobile Networks: Mobility, Resource Management, and Challenges", *IEEE Communications Magazine*, vol. 55, no. 8, pp. 138-145, 2017.
- [13] M.A. Habibi, B. Han, H.D. Schotten, "Network Slicing in 5G Mobile Communication: Architecture, Profit Modeling, and Challenges", in Int. Symp. on Wireless Communication Systems (ISWCS), 2017.
- [14] R.N. Mitra, D.P. Agrawal, "5G mobile technology: A survey", *ICT Express*, vol. 1, no. 3, pp. 132-137, 2015.
- [15] S. Kekki, et.al., "MEC in 5G networks," ETSI , 2018.
- [16] K. Samdanis, X. Costa-Perez, V. Sciancalepore, "From network sharing to multi-tenancy: The 5G network slice broker", *IEEE Communications Magazine*, vol. 54, no. 7, pp. 32-39, 2016.

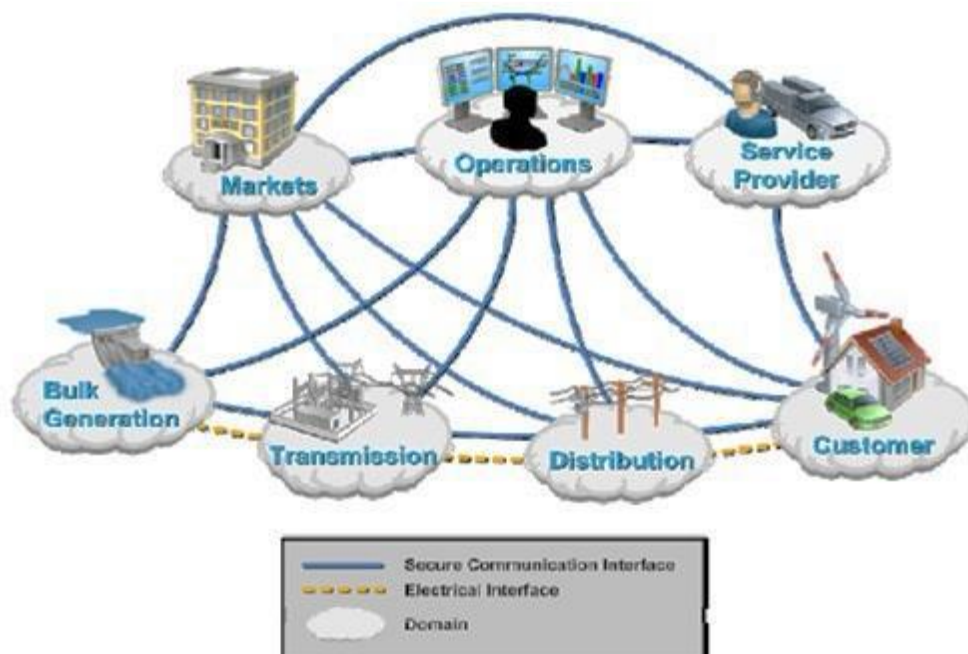
- [17] J.M. Batalla, et.al., "Network Services Chaining in the 5G Vision," IEEE Communications Magazine, 2017.
- [18] "Study on Socio-Economic Benefits of 5G Services Provided in mmWave Bands," GSMA, 2018.

فصل ۱۱- کاربرد شبکه نسل پنجم در صنعت برق و انرژی

۱۱-۱- مقدمه

اصطلاح شبکه هوشمند معمولاً مجموعه عملکردهای دیجیتالی در شبکه انتقال قدرت را شامل می‌شود که هدف آن بروز کردن سیستم قدرت مرسوم است. یک شبکه هوشمند یک شبکه تولید برق بهینه و دیجیتالی شده است که قابلیت تغییر در معماری سنتی صنعت برق را دارد، به همین دلیل کشورهای توسعه‌یافته در حال سرمایه‌گذاری و ساخت شبکه‌های هوشمند برای تحول در صنعت برق خود هستند به‌طور مثال چین حدود ۷۷ میلیارد دلار در زیرساخت شبکه‌های هوشمند خود برای دهه آتی سرمایه‌گذاری کرده است. از دید استاندارد، مدل‌های مفهومی متعددی توسط مراکز معتبر مانند NIST، ETSI و IEEE ارائه شده است و بازیگران و ارتباطات آن‌ها در این مدل‌ها تعیین شده است [۱].

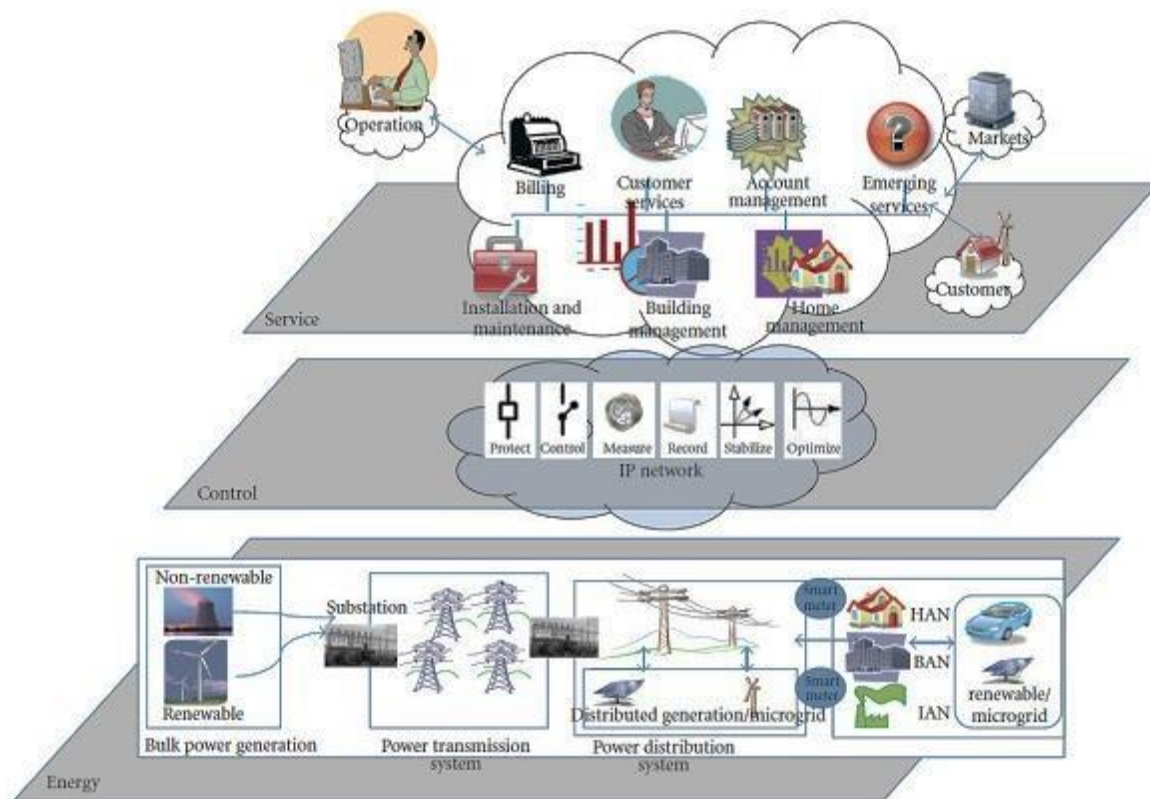
در مدل مفهومی شبکه هوشمند برق مؤسسه NIST شبکه هوشمند در هفت حوزه تولید، انتقال، توزیع، مصرف، تأمین‌کنندگان سرویس، بازار و بهره‌برداری مطابق شکل ۱-۱۱ دسته‌بندی شده است. در این مدل واسطه‌های الکتریکی و مسیر انتقال برق بین تولید، انتقال، توزیع و مصرف وجود دارد و برای ایجاد یک شبکه هوشمند با قابلیت‌هایی از جمله رؤیت‌پذیری، کنترل‌پذیری و ... نیاز به واسطه‌های ارتباطی بین کلیه بخش‌ها وجود دارد.



م

شکل ۱-۱۱ مدل مفهومی NIST برای شبکه هوشمند

مؤسسه ETSI برای شبکه هوشمند برق یک مدل سه لایه‌ای شامل: لایه انرژی، لایه کنترل و ارتباطات و لایه سرویس در نظر گرفته است. المان‌های هر یک از این لایه‌ها در شکل ۱۱-۲ نشان داده شده است.



شکل ۱۱-۲ مدل مفهومی شبکه ETSI

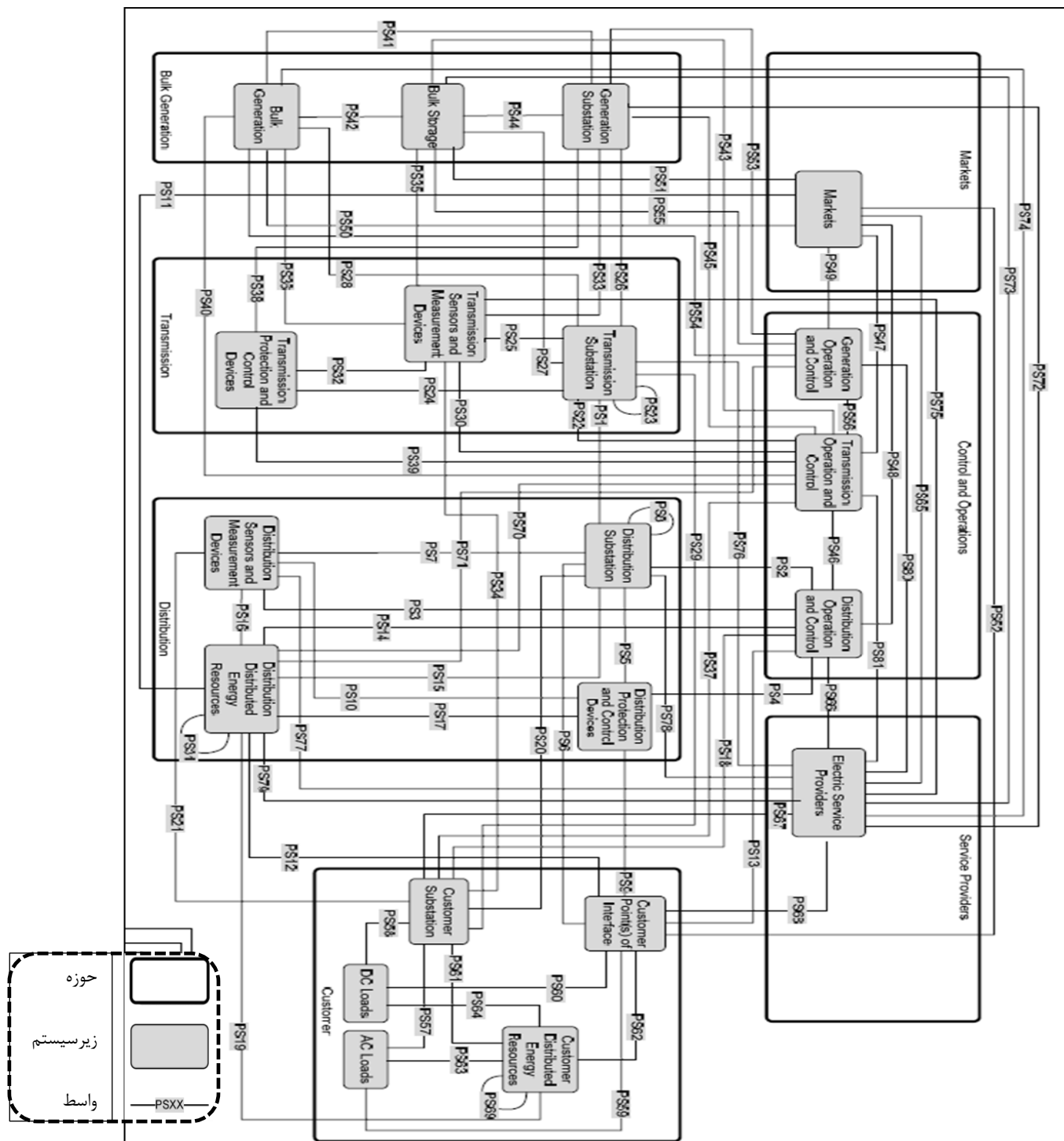
لایه انرژی شامل تولید، منابع تولید پراکنده، انتقال و توزیع است؛ در لایه سرویس، اپراتور، مشترکین و بازیگران بازار برق قرار دارند.

مؤسسه IEEE در سال ۲۰۱۱، استاندارد IEEE Std. 2030-2011 را در زمینه همکاری‌پذیری بین بخش‌های مختلف شبکه هوشمند منتشر نمود که در آن مدلی مرجع برای هماهنگی در شبکه هوشمند تحت عنوان SGIRM¹ ارائه شده است. در معماری شبکه هوشمند از سه منظر مورد بررسی قرار می‌گیرد [۲، ۱].

- سیستم قدرت
- فناوری ارتباطی
- فناوری اطلاعات

این مدل نیز مشابه مدل NIST حوزه‌های هفت‌گانه را تعریف کرده است و زیرسیستم‌ها و واسط‌ها و فلوئی اطلاعات در آن مشخص شده است. در شکل ۱۱-۳ مدل SGIRM شبکه قدرت نشان می‌دهد.

¹ Smart Grid Interoperability Reference Model (SGIRM)



شکل ۳-۱۱ مدل سیستم قدرت در SGIRM [۲۰۱]

از دیدگاه ارتباطات، در حوزه‌های شبکه هوشمند می‌توان موارد لیست شده زیر را از این مدل استخراج نمود:

- تولید انبوه
 - شبکه مخابراتی مربوط به ژنراتورها
 - ارتباطات مربوط به ذخیره‌سازها

- انتقال

- شبکه مخابراتی پست‌های انتقال (داخل پست، بین پست‌ها با هم و بین پست با مراکز کنترل)
- انتقال اطلاعات ادوات اندازه‌گیری و پایش خطوط در حوزه انتقال
- انتقال اطلاعات ادوات کنترلی و حفاظتی در حوزه انتقال

- توزیع

- شبکه مخابراتی فیدرها با مراکز کنترل
- شبکه مخابراتی پست‌های توزیع (داخل پست، بین پست‌ها با هم و بین پست با مراکز کنترل)
- شبکه مخابراتی منابع تولید پراکنده با مراکز کنترل
- انتقال اطلاعات ادوات اندازه‌گیری در حوزه توزیع
- انتقال اطلاعات ادوات کنترلی و حفاظتی در حوزه توزیع
- ارتباط نقطه دسترسی سیستم توزیع با کاربران و کنتورهای مشترکین و با شبکه بالادستی

- بازار

- انتقال اطلاعات قیمت متغیر برق به فروشندگان و خریداران انرژی الکتریکی
- انتقال اطلاعات سرویس‌های انرژی از/به مشترکین و شرکت‌های برق

- مشترکین

- شبکه مخابراتی کنتور هوشمند/واسط با نقاط دسترسی شبکه توزیع یا با مراکز پایش و کنترلی
- انتقال اطلاعات سرویس انرژی و بازار برق از/به مشترکین
- ارتباطات خودروی الکتریکی با ایستگاه شارژ و ارتباطات خودروی الکتریکی با مرکز نظارت-کنترل شبکه توزیع (به واسطه کنتور) به‌عنوان بار یا به‌عنوان ذخیره‌ساز و مولد برق
- شبکه ارتباطی منابع تولید پراکنده سمت مشترکین (به‌واسطه کنتور یا واسط سرویس انرژی^۱) با مراکز پایش و کنترل
- ارتباطات شبکه خصوصی مشترکین
- تبادل اطلاعات مدیریت بار در بارهای سمت مشترکین به‌واسطه کنتور یا واسط سرویس انرژی

- ارائه‌دهنده خدمات

- خدمات عامل سوم

¹ Energy service Interface

○ شبکه‌های جانبی

● کنترل و بهره‌برداری

○ انتقال اطلاعات بهره‌برداری و کنترل شبکه از/به مراکز کنترل به/از پست‌ها

از آنجایی که یکی از سه وجه اصلی در شبکه هوشمند، تأمین زیرساخت مخابراتی می‌باشد فناوری‌های مخابراتی مختلفی به‌صورت بی‌سیم و باسیم توسط شرکت‌های ارائه‌دهنده سرویس‌های برق برای دستیابی به توابع و عملکردهای شبکه‌های هوشمند بکار گرفته شده است. فناوری PLC، NB-IoT، مخابرات سلولی و فیبر نوری برخی از راهکارهای پیشنهاد شده برای زیرساخت مخابراتی در شبکه‌های هوشمند می‌باشند. زیرساخت مخابراتی ایده آل برای شبکه‌های هوشمند باید قابل اطمینان و مقیاس پذیر باشد. سیستم‌های کنونی دارای محدودیت‌های خاص خود هستند که قبل از به‌کارگیری باید در نظر گرفته شوند. جدول ۱-۱۱ چالش‌های هریک از فناوری‌های مخابراتی برای به‌کارگیری هر یک از کاربردهای شبکه‌های هوشمند نشان می‌دهد [۳].

جدول ۱-۱۱ محدودیت‌های فناوری‌های مخابراتی مورد استفاده در شبکه‌های هوشمند [۳]

فناوری ارتباطی رایج	محدودیت در کاربرد شبکه
PLC	مقیاس پذیری موضوع تداخل پهنای باند محدود تعمیر و نگهداری مشکل
فیبر / DSL	هزینه‌های بالای پیاده سازی و اجرا هزینه توسعه بالا سختی اجرا (حفاری و خواباندن کابل) زمان طولانی اجرا
رادیوی بی‌سیم یا وای فای	پهنای باند محدود شبکه منطقه تحت پوشش محدود تهدیدات امنیتی
فناوری سلولی (نسل ۳، ۴، LTE، LTE)	مصرف توان بالا مشکل پوشش دهی داخل ساختمان و زیرزمین (برای کاربرد AMI) اشتراک گذاری شبکه بین کاربران و فقدان ضمانت کیفیت سرویس از سمت اپراتورها در شبکه عمومی هزینه سرمایه‌گذاری و تعمیر و نگهداری بسیار بالا برای پوشش دهی کامل در مقیاس وسیع در شبکه LTE اختصاصی
ماهواره	هزینه اجرای بالا تأخیر بالا پهنای باند پایین

از نسل‌های مختلف شبکه موبایل از GPRS تا LTE در بخش‌های مختلف شبکه هوشمند مانند قرائت کنتور، پایش فیدرها و ارتباطات منابع تولید پراکنده استفاده شده است. لکن تکامل شبکه‌های هوشمند باعث شده توابع کنترلی پیچیده و دقیق‌تری مورد استفاده قرار گیرند که بالطبع آن نیازمندی‌های ارتباطی این توابع سخت‌گیرانه‌تر شده است و نیاز به فناوری مخابراتی تکامل یافته‌تری می‌باشد. چگالی بالای دستگاه‌ها و گرہ‌ها در یک موقعیت و نیاز به پهنای باند بالا برای انتقال داده‌های حجیم و نیاز به تأخیر حداقل برای تشخیص خطا و همچنین نیاز به امنیت شبکه هوشمند برخی از این نیازمندی‌ها است.

در این فصل، هدف شناسایی کاربردهایی از شبکه هوشمند است که در آن می‌توان از بستر ارتباطی موبایل نسل پنجم استفاده نمود. تعیین نیازمندی مخابراتی زیرسیستم‌های شبکه هوشمند به کرات در پروژه‌های دیگر مورد توجه قرار گرفته است بنابراین در این بخش به‌طور خلاصه به آن پرداخته خواهد شد و نیازمندی‌های مخابراتی به تفکیک حوزه‌های ارتباطی مختلف شبکه هوشمند مشتمل بر شبکه‌های دسترسی، بک هال و ستون فقرات ارائه خواهد شد که در آن تمرکز بر امکان استفاده از شبکه موبایل نسل پنجم در حوزه‌های مذکور شبکه هوشمند می‌باشد.

شایان ذکر است که در بررسی‌های به‌عمل آمده، استفاده از نسل‌های پیشین موبایل مورد نظر نبوده است؛ نکته دیگری که می‌بایست به آن توجه شود این است که اگر کاربردی خاص از شبکه هوشمند برای استفاده از شبکه موبایل نسل پنجم مطرح شود به معنای اینکه در آن کاربرد نمی‌توان از نسل‌های پیشین موبایل استفاده کرد نخواهد بود؛ البته بدیهی است که توانایی‌های شبکه موبایل نسل پنجم از قبیل تأمین پهنای باند و ظرفیت بالاتر، تأخیر کمتر، قابلیت اطمینان بالاتر، امکان اتصال تعداد بسیار بالاتر دستگاه‌ها برای ارتباطات اینترنت اشیا نسبت به شبکه LTE (شبکه موبایل نسل چهارم) و امکان ارائه سرویس‌های متنوع، باعث خواهد شد که کاربرد آن در شبکه هوشمند گسترش یابد لکن تعیین نقطه دقیق اینکه برای کاربردی خاص در شبکه هوشمند نسل‌های پیشین موبایل جوابگو نمی‌باشند و فقط موبایل نسل پنجم نیازمندی‌های ارتباطی را پوشش خواهد داد مجال بررسی دیگری می‌طلبد.

در ادامه این فصل، شناسایی کاربردها و سرویس‌های شبکه موبایل نسل پنجم در شبکه هوشمند مورد بررسی قرار گرفته است. در این بررسی سه رویکرد مورد توجه بوده است. در رویکرد اول، بررسی کاربردهای شبکه موبایل نسل پنجم در شبکه هوشمند آتی و پیشرفته، انجام شده است. در حالی که در رویکرد دوم، بررسی موضوع در شبکه نسل پنجم به‌طور کلی است. در آخر در رویکرد سوم، بررسی موضوع با تمرکز بر فناوری‌های نوین مانند برش شبکه یا فناوری مجازی‌سازی می‌باشد. در انتها مزایا و معایب استفاده از موبایل نسل پنجم در شبکه هوشمند بررسی شده است.

۱۱-۲- تعیین نیازمندی‌های کلی ارتباطاتی شبکه هوشمند

همان‌طور که در مقدمه هم اشاره شد ارتباطات شبکه هوشمند چند حوزه مختلف را در برمی‌گیرد. هر حوزه، نیازمندی منحصر به خود را دارد که وابسته به نوع موارد کاربردی است که در آن حوزه به کار گرفته می‌شود. یک نمونه از معماری شبکه ارتباطی شبکه قدرت که از همکاری سازندگان بزرگی چون اریکسون، ABB، هواوی و شرکت‌های معتبر مشاور مخابرات صنعت برق چون موسسه غیرانتفاعی مشاوره مخابرات صنعت برق در اروپا (EUTC) و Utility Connect برآمده است در شکل ۴-۱۱ نشان داده شده است [۴]. در این شکل، ایستگاه اولیه، همان پست فشارقوی (همانند پست‌های ۱۳۲ کیلوولت و ۶۳ کیلوولت در ایران) و ایستگاه ثانویه همان پست‌های فشار ضعیف (همانند پست‌های ۲۰ کیلوولت) می‌باشد.

مطابق شکل ارائه شده شبکه‌های مخابراتی تعبیه شده در شبکه هوشمند برق عبارت‌اند از :

- شبکه مخابراتی ستون فقرات^۱: این شبکه ارتباطی، شبکه محلی (LAN) پست‌های اولیه^۲ برق را به یکدیگر و سپس به مراکز کنترل منطقه‌ای^۳ (غالباً مشترک است) و مراکز کنترل مرکزی متصل می‌کند. (پست اولیه ولتاژ متوسط را به ولتاژ بالا تبدیل می‌کند).
- شبکه محلی (LAN) پست‌های اولیه: به یک زیرساخت ارتباطی خاص نیاز دارد که بین یک مسیر (باس) فرایند (که در استاندارد ۶۱۸۵۰ به‌طور دقیق تعریف شده است) را به یک مسیر ایستگاه متصل می‌کند و عمدتاً مبتنی بر زیرساخت‌های اترنت گیگابیت است.
- شبکه ارتباطی بک‌هال^۴: این شبکه ارتباطی، شبکه پست‌های ثانویه را به یکدیگر و سپس به یک مرکز کنترل وصل می‌کند. این شبکه ممکن است به شبکه محلی (LAN) پست اولیه نیز متصل شود. (پست ثانویه ولتاژ متوسط را به ولتاژ پایین تبدیل می‌کند).
- شبکه محلی (LAN) پست‌های ثانویه: این شبکه داخلی ممکن است فقط از سوئیچ یا روتر تشکیل شده باشد.
- شبکه ارتباطی دسترسی^۵: شبکه ارتباطی که مشترکین را به ایستگاه ثانویه (پست فشار ضعیف) متصل می‌کند.

¹ Grid Backbone Communication Network

² Primary substation

³ Reional Control Center

⁴ Grid Backhaul Communication Network

⁵ Grid Access Communication Network

- شبکه محلی سمت مشتری^۱: شبکه ارتباطی درون ساختمان مشترکینی که مصرف‌کننده یا «تولید-مصرف‌کننده»^۲ می‌باشند. این مشترکین می‌توانند خانگی، تجاری، صنعتی، کشاورزی باشند.
- شبکه داخلی منابع تولید پراکنده^۳ (DERs)^۴: این شبکه داخلی برای کنترل و مدیریت منابع تولید پراکنده با سایز متوسط (مثل مزارع بادی و توربین‌های بادی) در نظر گرفته می‌شود. برای اهداف کنترل، مدیریت و نظارت این منابع، به شبکه محلی نیاز هست.
- شبکه داخلی مراکز کنترل^۵: این شبکه محلی داخلی بین اپراتور توزیع (DSO) یا اپراتور سیستم انتقال (TSO) ایجاد شده است.
- شبکه بیرونی^۶: یک شبکه ارتباطی ثابت یا متحرک که سرویس ارتباطی متفاوتی را از طریق زیرساخت اختصاصی یا اینترنت ارائه می‌دهد.

¹ Customer Premises LAN

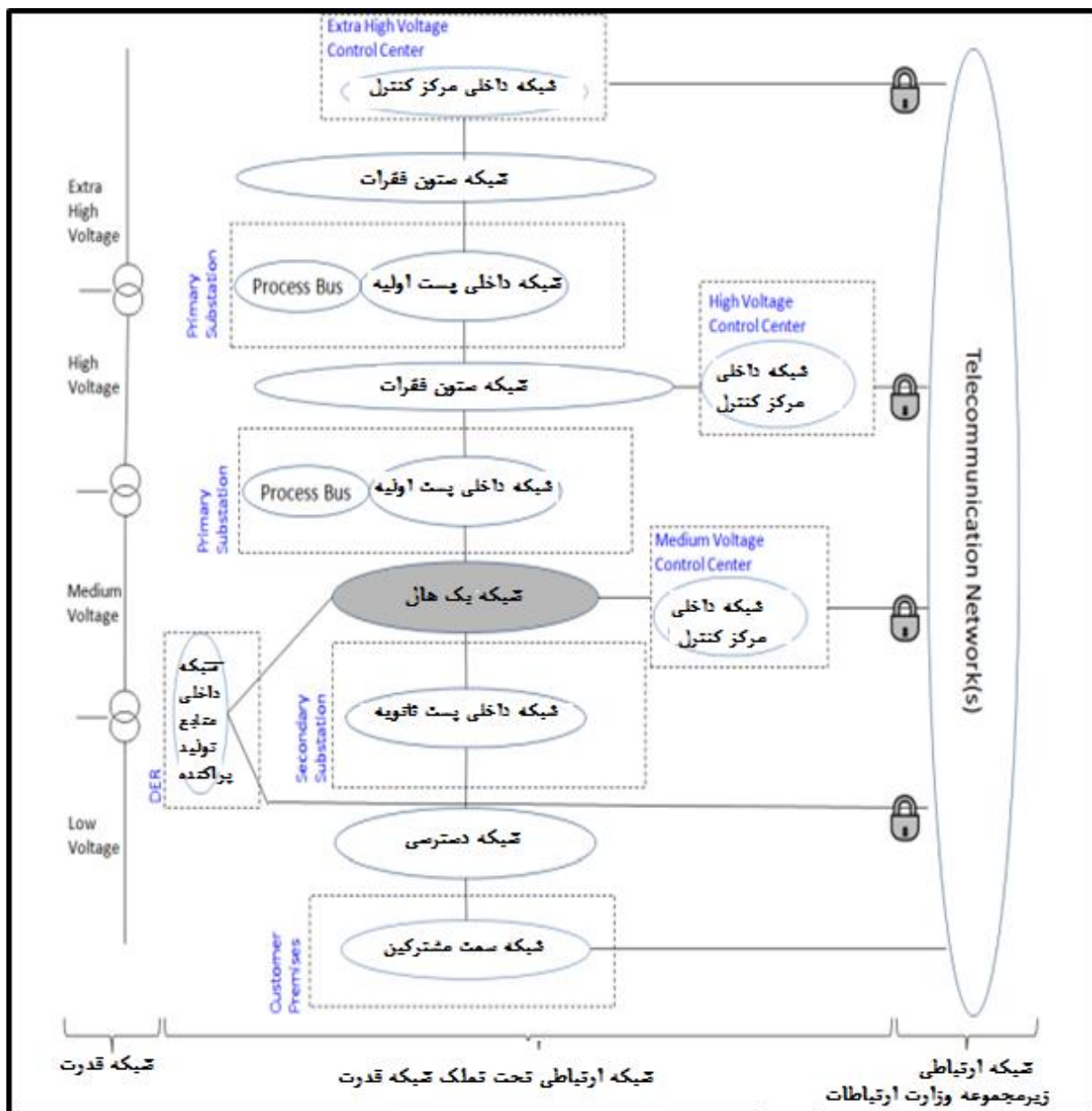
² Prosumer

³ - Intra DER Network

⁴ -Distributed Energy Resources

⁵ - Intra-Control-Center Network

⁶ External Network



شکل ۴-۱۱ حوزه‌های مختلف در ارتباطات شبکه هوشمند [۴]

انتظار می‌رود که شبکه نسل پنجم نقش بسیار مهمی را در شبکه‌های دسترسی و برای اتصال اجزای فشار ضعیف ایفا کند. همچنین نقش آن در شبکه بک‌هال و برای اتصال اجزای فشار متوسط پراهمیت خواهد بود. در شبکه ستون فقراتی و برای اتصال اجزای فشارقوی، شبکه نسل پنجم در انتهای فاز دوم خود ممکن است بتواند نقش ایفا کند؛ به دلیل اینکه نیازمندی‌های ارتباطات از قبیل قابلیت اطمینان و ارتباط زمان-واقعی در این بخش بسیار سخت‌گیرانه است.

حوزه‌های مطرح‌شده برای شبکه ارتباطی که در بالا ارائه شد ساختار ارتباطی منطقی صنعت برق برای برپایی شبکه هوشمند هست. از میان این حوزه‌ها، برخی از آن‌ها را می‌توان به‌صورت نمونه‌های مجازی در زیرساخت فیزیکی مشترک استفاده نمود، به‌عنوان نمونه، شبکه ارتباط دسترسی شبکه قدرت و شبکه ارتباطی بک‌هال

را می‌توان به‌عنوان نمونه‌های مجازی (همان برش شبکه) در زیرساخت شبکه نسل پنجم یکسانی در نظر گرفت.

نیازمندی‌های ارتباطی حوزه‌های مختلف فوق‌الذکر از دید جنبه‌های عملیاتی و غیرعملیاتی به شرح زیر هست:

- ضمانت سرویس: برای عملیات مأموریت بحران مانند عملکرد رله‌های حفاظتی در موارد بروز خطا در صورتی می‌توان از شبکه نسل پنجم به‌عنوان یک راه‌حل در کنار راه‌حل‌های مخابراتی دیگر استفاده نمود که سرویس ارتباطی ضمانت شده‌ای وجود داشته باشد. از دید فنی، بدین معنا که ضمانت روی مقادیر متوسط کافی نیست و باید مقادیر حداقل و حداکثر نیز ضمانت شوند. از دید قوانین و مقررات، بی‌طرفی^۱ باید برای چنین موارد خاصی در شبکه هوشمند مجاز شود.
 - مؤثر بودن هزینه کرد: راهکارهای ارتباطی ارائه‌شده توسط شبکه نسل پنجم فقط برای موضوعات فنی ارائه نشده است بلکه از دید کسب‌وکاری، حتی در صورتی که راهکارهای ارتباطی ارائه‌شده توسط شبکه نسل پنجم تحقق یابد و استانداردسازی آن تکمیل شود از لحاظ هزینه‌های سرمایه‌گذاری^۲ (CAPEX) و هزینه‌های عملیاتی^۳ (OPEX) نیز ارائه قیمت باید متناسب باشد به‌نحوی که بازیگران مختلف شبکه هوشمند بتوانند هزینه آن را پرداخت نمایند.
 - رسیدگی به قرارداد سطح سرویس (SLA): به دلیل مأموریت بحران بودن برخی از برنامه‌های کاربردی شبکه هوشمند و راه‌حل‌های ارتباطی شبکه نسل پنجم برای آن‌ها، نیاز است که پایش قرارداد سطح سرویس و مدیریت مناسب آن پیش‌بینی شود و راه‌حل‌های ارتباطی توسط طرف سوم فراهم شود.
 - زمان‌های تهیه سرویس: برای سرویس‌های راه دور، ممکن است که نیاز باشد تنظیم مسیر ارتباطی برای ایستگاه اختصاصی با میزان کیفیت سرویس خاص سریع‌اً آماده شود. زمان تنظیم اتصال باکیفیت بالا باید ده دقیقه تا یک ساعت باشد.
 - مدیریت دارایی: به دلیل تعداد بی‌شمار دستگاه‌هایی چون کنتور هوشمند نیاز است که مدیریت دارایی به‌طور مؤثری انجام شود.
 - پوشش: اتصال دستگاه‌های زیادی با یکدیگر نیاز به پوشش فراگیر تمامی المان‌های مرتبط شبکه هوشمند حتی در مناطق روستایی دارد.
- علاوه بر موارد مذکور، نیازهای ارتباطی هر سه حوزه شبکه ارتباطی در ادامه بررسی خواهد شد.

¹ net neutrality

² Capital expenditures

³ operating expenditures

در حوزه شبکه ارتباطی دسترسی شبکه قدرت، وسعت منطقه تحت پوشش قطری کمتر از ۱۰ کیلومتر و ارتباطات مأموریت بحرانی نمی‌باشند. تنها نقاط انتهایی مولد یا بار شبکه که مرتبط با پایداری شبکه قدرت می‌باشند به ارتباط زمان-واقعی نیاز دارند که این الزامات در زیر لیست شده است:

- پهنای باند: یک کیلوبیت بر ثانیه برای هر کاربر خانگی
- تأخیر انتها به انتها (E2E): کمتر از یک ثانیه از پست توزیع/مرکز مدیریت داده‌های اندازه‌گیری شده/مرکز کنترل تا کنترلر هوشمند
- حد مجاز از دست رفتن بسته^۱: تا زمانی که تأخیر E2E پوشش داده شود، الزام خاصی وجود ندارد چراکه ارتباطات مبتنی بر TCP غالب است.
- دسترسی‌پذیری: ۹۹ درصد برابر با مدت زمان خرابی برابر ۹ ساعت در یک سال
- زمان همگرایی عدم موفقیت^۲: کمتر از ۱ ثانیه
- عملکرد در شرایط بحران: نیاز نیست
- منبع تغذیه پشتیبان: نیاز نیست

در حوزه شبکه ارتباطی بک‌هال شبکه قدرت، که در مناطق با ولتاژ متوسط نیاز هست وسعت منطقه پوشش با قطر کمتر از ۱۰۰ کیلومتر مناسب است و به دلیل وجود عملیات مأموریت بحران در این شبکه، مانند عملیات حفاظتی در آشکارسازی نقص خودکار برای ممانعت از قطعی برق در مقیاس بزرگ‌تر نیاز است که ارتباط زمان واقعی و امن با قابلیت اطمینان بالا برقرار شود و کیفیت سرویس ضمانت شود. برخی از این الزامات در زیر لیست شده است:

- پهنای باند: در محدوده چند مگابیت بر ثانیه بین پست‌های ثانویه با یکدیگر و با مرکز کنترل
- تأخیر انتها به انتها (E2E): کمتر از ۵۰ میلی‌ثانیه که حد بالای آن ضمانت شده باشد بین پست‌های ثانویه و مرکز کنترل
- حد مجاز از دست رفتن بسته: کمتر از 10^{-6} تا زمانی که تأخیر E2E پوشش داده شود، که این مستلزم این است که بر اساس استاندارد و پروتکل GOOSE به‌درستی کار کند.
- دسترسی‌پذیری: ۹۹.۹۹ درصد برابر با مدت زمان خرابی ۵۰ دقیقه در یک سال
- زمان همگرایی عدم موفقیت: کمتر از یک ثانیه
- عملکرد در شرایط بحران: اجباری است. این امر می‌تواند با پشتیبان‌گیری از باتری مناسب یا راه‌حل‌های فنی دیگر شبکه نسل پنجم که سوئیچ بین فناوری‌های ارتباطی مختلف را ممکن می‌سازد امکان‌پذیر باشد، که می‌تواند ضمانت قطع نشدن ارتباط، برای وضعیت بحران را مدیریت نماید. اتصال

¹ - Packet-loss

² - Failure Convergence Time

برق توان متوسط در مقیاس بزرگ و جلوگیری از خاموشی کل شبکه یکی از مواردی است که باید در وضعیت شرایط بحران به آن رسیدگی شود

- منبع تغذیه پشتیبان: اجباری است.

در حوزه شبکه ارتباطی ستون فقرات شبکه قدرت که ارتباطات نقاط پایانه در سطوح ولتاژ قوی یا ایستگاه‌های اولیه را پوشش می‌دهد منطقه تحت پوشش در ابعادی با قطر کمتر از ۱۰۰۰ کیلومتر هست و مهم‌ترین عملیات در این حوزه، عملیات حفاظتی یا همان حفاظت از راه دور^۱ هست و در آن به ارتباطاتی بسیار پایدار، امن و با قابلیت اطمینان بسیار بالا و ارتباطات زمان-واقعی برای ارتباطات بین ایستگاه‌های اولیه با مراکز کنترل نیاز هست. در این قسمت، در حال حاضر از ارتباطات نوری استفاده می‌شود. برخی از این الزامات در زیر لیست شده است:

- پهنای باند: در محدوده چند مگابیت بر ثانیه تا گیگابیت بر ثانیه بین پست‌های اولیه با یکدیگر و با مرکز کنترل
- تأخیر انتها به انتها (E2E): کمتر از ۵ میلی‌ثانیه بین پست‌های اولیه و مرکز کنترل
- حد مجاز از دست رفتن بسته: کمتر از 10^{-9} تا زمانی که تأخیر E2E پوشش داده شود، که این مستلزم این است که بر اساس استاندارد و پروتکل GOOSE به درستی کار کند.
- دسترس‌پذیری: ۹۹.۹۹۹ درصد برابر با مدت زمان خرابی ۵ دقیقه در یک سال
- زمان همگرایی عدم موفقیت: غلبه بر خطا و خرابی به صورت یکپارچه مورد نیاز است، یعنی بدون از دست رفتن اطلاعات در زمان رخداد خطا یا خرابی، اطلاعات در زمان واقعی (در چند میلی‌ثانیه) تحویل داده شود.
- عملکرد در شرایط بحران: اجباری است.
- منبع تغذیه پشتیبان: اجباری است.

بنابراین در کاربردهای مخابراتی شبکه هوشمند برق، قابلیت اطمینان در هر سه حوزه بسیار مهم خواهد بود، از طرفی تأخیر به همراه قابلیت اطمینان برای شبکه‌های بک‌هال و شبکه ستون فقراتی نقش حیاتی دارد. همچنین در شبکه ارتباطی دسترسی انتظار می‌رود با وجود تعداد زیاد کنترلهای هوشمند و حس‌گرهای موجود در بخش اتوماسیون مسئله تعداد زیاد دستگاه‌ها و اینترنت اشیا حجیم مطرح باشد. با وجود نیازمندی‌های متفاوت سرویس‌های شبکه هوشمند، برحسب قابلیت اطمینان، امنیت، نرخ از دست دادن بسته و پهنای باند، شبکه نسل پنجم باید نیازمندی‌های متفاوت را پوشش می‌دهد و رنج وسیعی از موارد کاربردی مختلف را در خود جمع داشته باشد. برای تجمیع سرویس‌ها در پیکره‌بندی شبکه واحد، فناوری‌های نوینی

¹ teleprotection

لازم هست. طراحی شبکه دسترسی رادیویی جدید، واسط‌های رادیویی زیادی به‌صورت تجمیع شده را در برمی‌گیرد. تجمیع فناوری‌های دسترسی شبکه نسل پنجم، روش‌های اتصال چندگانه را شامل می‌شود و کاربر باید بتواند هم‌زمان با چندین فناوری شبکه دسترسی یا باندهای فرکانسی متفاوت ارتباط برقرار کند تا بتواند نیازمندی متفاوت برای رسیدگی به شرایط بحران را پوشش دهد.

۳-۱۱- موارد کاربردی آتی ارتباطات در شبکه هوشمند

در سال‌های اخیر، واژه انرژی هوشمند که از نظر مفهومی وسعت بیشتری از شبکه هوشمند دارد مطرح‌شده است. شبکه هوشمند تمرکز بر حوزه انرژی دارد درحالی‌که انرژی هوشمند، با نگاهی کلی‌نگر و یکپارچه بر حوزه‌های بیشتری (برق، گرمایشی، سرمایشی، صنعت، ساختمان و حمل‌ونقل) تمرکز دارد و راه‌حل‌های قابل‌دستیابی برای انرژی‌های تجدید پذیر و انرژی پایدار را دنبال می‌کند. پیچیدگی سیستم‌های انرژی در دهه‌های اخیر در حال افزایش هست. تکامل سیستم‌های تجدید پذیر، توسعه فناوری تولید انرژی، ذخیره‌سازی انرژی و استفاده انرژی، طراحی بازار سرویس‌های منعطف همگی چالش‌های جدیدی را در آینده ایجاد خواهد کرد [۵].

از آنجایی‌که در فعالیت پیش روی این پروژه، شبکه هوشمند مدنظر می‌باشد، بررسی‌های کاربردی شبکه نسل پنجم در محدوده شبکه هوشمند (و نه انرژی هوشمند) انجام‌شده است؛ پیشرفت‌های آتی شبکه هوشمند عمدتاً به حوزه انرژی محدود می‌شود و به دنبال راه‌حلی برای یکپارچه‌سازی انرژی‌های پرنوسان تجدید پذیر می‌باشد. موارد کاربردی نوینی که در شبکه‌های هوشمند آینده مطرح‌شده است در تحقیقات زیادی مورد بررسی قرار گرفته است. در این میان، گزارشی با عنوان "شبکه نسل پنجم و انرژی"، که از فعالیت‌های انجمن PPP¹ (که در زمینه شبکه نسل پنجم فعالیت داشته است) استخراج‌شده است موارد کاربردی اصلی مرتبط با شبکه هوشمند آینده را معرفی کرده است. در تهیه این گزارش، سازندگان بزرگی چون اریکسون، ABB، هواوی و شرکت‌های معتبر مشاور مخابرات صنعت برق چون موسسه غیرانتفاعی مشاوره مخابرات صنعت برق در اروپا (EUTC) و Utility Connect همکاری داشته‌اند [۴]. طبق این گزارش، موارد کاربردی که با پیشرفت‌های آتی در زمینه انرژی هوشمند و شبکه هوشمند، مطرح خواهد بود در ادامه لیست شده است:

- شبکه‌ها با قابلیت خودترمیمی، مکان‌یابی خطا با سرعت بسیار بالا، جداسازی و ترمیم کردن توان الکتریکی در شبکه هوشمند فعلی و آتی ضروری هست. در شبکه فعال، پاسخ سریع به وضعیت خطا نیازمند این است که عملکردهای حفاظتی بتوانند با تأخیر بسیار اندک با یکدیگر ارتباط برقرار کنند. شبکه‌های خودترمیم، موضوعی گسترده است و شامل خصوصیات متعددی هست: سایر دستگاه‌های

¹ Public private partnership

² Ultra-fast

حفاظتی در زمان اجرای عملیات حفاظتی بلوکه شوند تا مناطقی که به دلیل ایجاد خطا از مدار خارج شده‌اند قبل از اینکه قطع‌کننده^۱ مدار باز شود حداقل شوند. همچنین برنامه‌های کاربردی حفاظتی با قابلیت انتخاب مانند حفاظت تفاضلی خطوط در این دسته قرار می‌گیرند.

- قطع کردن واحدهای تولید پراکنده همسایه برای جلوگیری از تغذیه جریان‌های خطا می‌بایست فعال شود.

- واحدهای تولید پراکنده دوردست بیشتری می‌بایست در شرایطی که آن واحدها در منطقه جغرافیایی که نیاز به قطعی دارند نباشد متصل نگه‌داشته شوند.

- پیکره‌بندی شبکه در مدت‌زمان وقوع خطا باید به راحتی بتواند بازسازی شود و بنابراین ترمیم توان در اسرع وقت انجام خواهد شد.

- در اتوماسیون توزیع توان، بر اساس استاندارد باید پیام‌های زیاد و متعددی بین بخش‌های مختلف مانند سویچ‌ها و قطع‌کننده‌ها ردوبدل شود که نیازمند یک شبکه ارتباطی قابل اطمینان و امن است.

- یکپارچه‌سازی منابع انرژی توزیع‌شده (DERها) نیازمند کنترل تغذیه منابع انرژی تجدید پذیر هست تا از اضافه‌بار سیستم جلوگیری شود و قابلیت اطمینان سیستم از طریق پیغام‌های حفاظتی حفظ شود و روش جدیدی را برای مدیریت و تحویل برق به مشترکین محلی ایجاد می‌کنند تا یکپارچه‌سازی منابع تجدید پذیر در سطح اجتماع انجام شود و مشارکت مشترکین در بنگاه‌های اقتصادی فعال شود. مدیریت آن‌ها و عملیات منظم در حالت‌های متصل به شبکه یا جزیره‌ای نیازمند سیگنالینگ پیام گسترده هست.

- پروفایل ولتاژ و جریان‌های توان برای فراهم کردن ولتاژ پایدار در سمت مشترکین بهینه خواهد شد.

- پیش‌بینی تولید و مصرف می‌تواند به اپراتورهای توزیع کمک کند تا طرحی مناسب برای شرایط عدم تعادل داشته باشند. این امر نیازمند داشتن اطلاعات دقیق از تولید در بازه کوتاه‌مدت و بلندمدت و پروفایل مصرف‌کنندگان و پیش‌بینی مشترکین هست.

علاوه بر موارد مذکور، توسعه منابع تجدید پذیر، چالش‌های جدیدی را برای شبکه‌های توزیع برق به وجود آورده است. درواقع تولید انرژی تجدید پذیر در طی ساعات روز به دلیل شرایط آب‌وهوایی متغیر و نامطمئن هست. همچنین منابع تولید انرژی تجدید پذیر نسبت به نیروگاه‌های انرژی فسیلی و گازی توزیع‌شده‌تر می‌باشند؛ ازاین‌رو برای جلوگیری از قطع برق و بهینه‌سازی استفاده از تجدیدپذیرها، مسیریابی پویا به صورت زمان-واقعی از جریان برق لازم هست. این مسیریابی نیازمند تجهیزات الکتریکی جدید و شبکه کنترلی و نظارتی نوسازی شده در شبکه‌های توزیع برق هست؛ شبکه کنترلی و نظارتی نیازمند ارسال و پردازش داده‌های

¹ Breaker

زمان-واقعی توزیع شده از اندازه‌گیرهایی مانند کنتور و حتی از حس‌گرهای آب و هوایی می‌باشد. حتی شاید نیاز شود که زیرساخت متقابلی با سایر بخش‌ها ایجاد شود.

کنتورهای هوشمند و درگاه‌های تجمیع در مسیر تکاملی خود به کوتاه شدن فواصل ارسال تمایل دارند بنابراین هزاران کاربر در شبکه‌های آتی، بسته‌های داده کوتاه در زمان نزدیک به واقعی ارسال می‌کنند که باعث بهینه‌سازی نزدیک به زمان واقعی در زیرساخت ولتاژ ضعیف و متوسط خواهد شد؛ این امر بر روی نیازمندی ارتباطی مشترکین مسکونی و تجاری/صنعتی تأثیرگذار خواهد بود. در مناطق شهری که شبکه نسل پنجم در دسترس باشد به راحتی می‌توان از این فناوری برای این کاربردها بهره برد.

نیاز به یکپارچه‌سازی خودروهای برقی در سیستم انرژی، دلیل دیگری است که شبکه نسل پنجم می‌تواند کاتالیزور یا شتاب‌دهنده‌ای برای حوزه انرژی باشد. به عنوان مثال، در منطقه جغرافیایی که خودروهای برقی بتوانند با انرژی تجدیدپذیر شارژ شوند، ارتباطات نزدیک به زمان-واقعی بین ایستگاه‌های شارژ و خودروهای برقی، گزینه‌های جدید متعددی را برای تأمین سرویس‌ها به همراه بهینه‌سازی زیرساخت انرژی فعال خواهد کرد و باعث یکپارچه‌سازی شارژ خودروها در زیرساخت انرژی خواهد شد.

علاوه بر گزارش انجمن PPP برای موارد کاربردی شبکه موبایل نسل پنجم، موسسه غیرانتفاعی مشاوره مخابرات صنعت برق در اروپا (EUTC) در فعالیت مشترکی که با اجتماعی از اپراتورهای توزیع بانام ADSO4SC انجام دادند جزئیات استفاده از فناوری نوین شبکه نسل پنجم برای اپراتورهای برق را بررسی کردند. این بررسی در سال ۲۰۱۷، در قالب فعالیت‌های 5G PPP در بخش استفاده از این فناوری در صنایع مختلف انجام شده است. دو مورد اصلی مطرح شده در شبکه هوشمند آتی که در آن به طور دقیق تمرکز به استفاده از شبکه نسل پنجم است به این شرح است [۶]:

- فعال‌سازی شبکه انرژی محلی که نیازمند ارتباطات شبکه‌های دیجیتال شده هست؛ شبکه‌های ولتاژ متوسط و ضعیف نقش مهمی را در یکپارچه‌سازی حجم وسیعی از منابع انرژی تجدید پذیر ایفا می‌کند.

- فعال‌سازی مدیریت انعطاف‌پذیری، که بر نقش مهم مشترکین تولید-مصرف کننده^۱ برق تمرکز دارد.

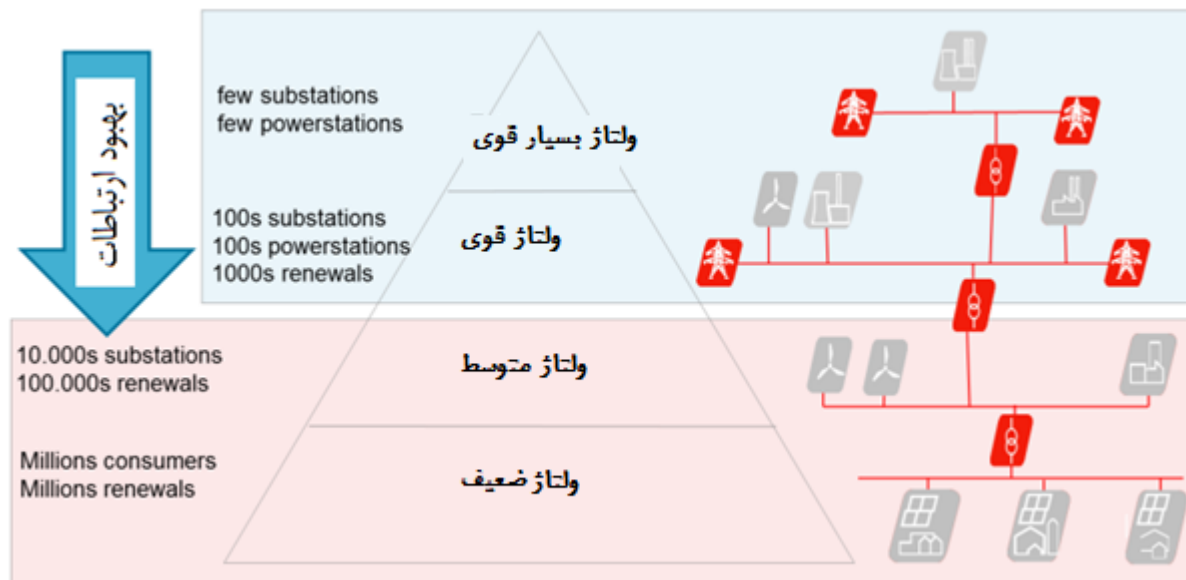
که در ادامه هر دوی این موارد با جزئیات بیشتر توضیح داده شده است.

۱-۳-۱۱ - فعال‌سازی شبکه انرژی محلی

برخلاف شبکه برق سنتی که با استفاده از سیستم متمرکز، عملیات شبکه را سامان‌دهی می‌کرد در سیستم‌های توزیع شده آینده، بهینه‌سازی شبکه‌های توزیع شده انرژی محلی و منطقه‌ای هدف می‌باشد و

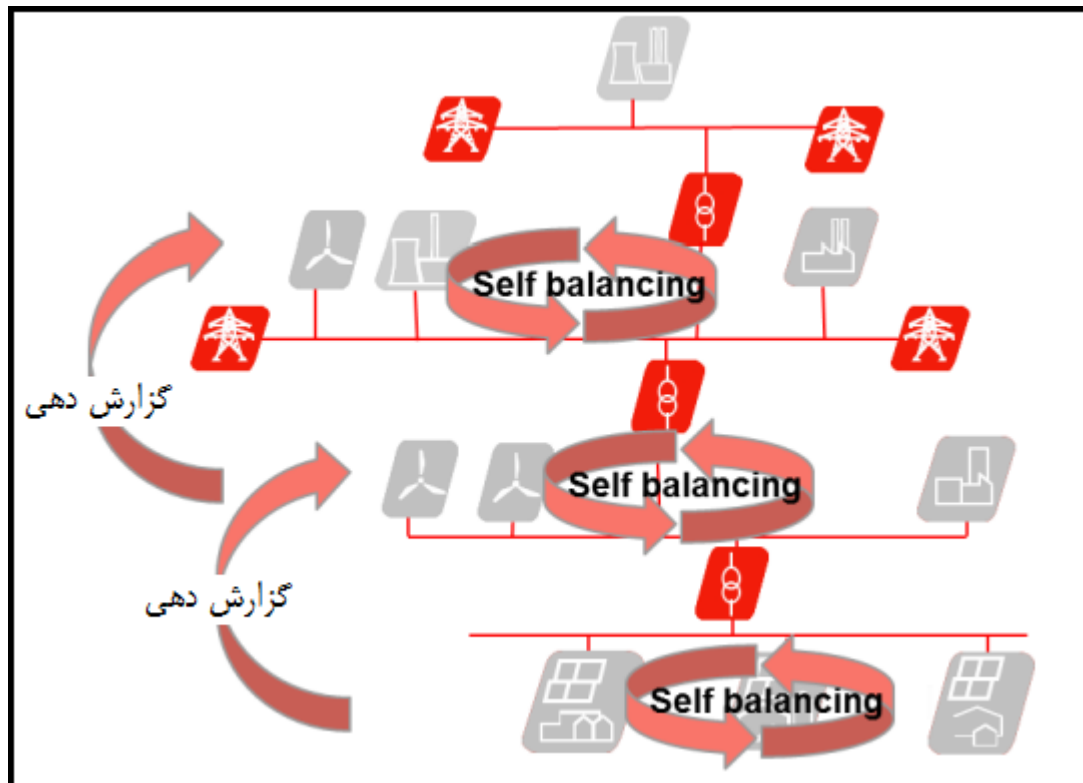
¹ prosumer

کنترل پویای تولیدکنندگان، بارها و ذخیره‌سازی با حفظ تعادل میان تولید و مصرف پیاده‌سازی خواهد شد. از این‌رو ارتباطات با تأخیر پایین در شبکه‌های محلی و منطقه‌ای نیاز هست. برهم‌کنش مستقیم بین بارها و تولیدکنندگان از طریق ارتباطات دستگاه به دستگاه میسر خواهد بود. شکل ۵-۱۱ چالش ارتباطات را در شبکه آتی برق نشان می‌دهد.



شکل ۵-۱۱ چالش ارتباطات در شبکه هوشمند آتی [۶]

شرکت‌های برق باید زیرساخت ارتباطات خود را برای شبکه‌های ولتاژ ضعیف و ولتاژ متوسط بهبود بخشند. هم‌زمان با آن کنترل و نظارت شبکه‌های انرژی باید از روش‌های متمرکز به روش‌های غیرمتمرکز انتقال یابد.



شکل ۶-۱۱ متعادل‌سازی شبکه انرژی غیرمتمرکز [۶]

برای پیاده‌سازی شبکه‌های انرژی محلی، تعامل بسیار خوبی میان شبکه توزیع برق و سیستم کنترلی صنعتی (کارخانه هوشمند)، و خانه هوشمند نیاز می‌باشد. به این طریق می‌توان تعادل را به‌صورت منطقه‌ای بین تولید و مصرف انرژی بدون از دست رفتن کیفیت برق برقرار می‌کند. در شرایط وصل شدن دوباره برق بعد از قطعی آن، نیاز است که شبکه‌های انرژی محلی و منطقه‌ای بتواند مستقل از خطوط انتقال عمل نمایند. زمانی هماهنگی و تعادل شبکه‌های انرژی محلی ممکن خواهد بود که ارتباطات میان مراکز کنترل محلی برقرار باشد. فناوری‌های ارتباطی شبکه نسل پنجم از قبیل ارتباط دستگاه به دستگاه، برش شبکه‌ها، تأخیر بسیار پایین و ارتباطات ماشین به ماشین گسترده برای این نوع ارتباطات مفید هست.

۲-۳-۱۱- فعال‌سازی مدیریت انعطاف‌پذیری^۱

سیاست‌گذاری اتحادیه اروپا در حوزه انرژی، توسعه تأمین انرژی امن، رقابت‌پذیر و پایدار هست به‌نحوی که با در نظر گرفتن اقلیم هواشناسی تولید کربن از بین رود. در این راستا، توسعه و تجمیع منابع تولید پراکنده مقیاس-بزرگ بر پایه منابع تجدیدپذیر، منعطف بودن سمت تقاضا و مدیریت انعطاف‌پذیری هوشمند،

¹ Flexibility Management

مؤلفه‌های اصلی سیستم می‌باشند. از دید مفهومی، هماهنگ‌سازی زمان-واقعی عرضه و تقاضا برای نیل به سیستم پایدار و کارآمدی حداکثری، نیازمند آنالیزهای پیشرفته، محاسبات توزیع‌شده و سیستم ارتباطی مناسب بین بازیگران اصلی می‌باشد.

اپراتورهای سیستم توزیع (DSO) نقش کلیدی در بهینه‌سازی و پایداری شبکه برعهده دارند که با هماهنگ‌سازی انعطاف‌پذیری در پیکربندی شبکه به‌طور مستقیم یا به‌واسطه سایر سهام‌داران بازار مشارکت دارند و مدیریت پیشرفته وضعیت، پایداری و ظرفیت شبکه را میسر می‌سازند. در مدل مفهومی مدیریت انعطاف‌پذیری در شبکه هوشمند، اپراتورهای سیستم توزیع، تصمیم‌گیرندگان اصلی برای کنترل زمان-واقعی شرایط و پیکربندی شبکه ولتاژ ضعیف و ولتاژ متوسط می‌باشند که بر روی پایداری کیفیت ولتاژ و میزان مشارکت شبکه توزیع مقرون‌به‌صرفه با در نظر گرفتن بدترین سناریوهای ظرفیتی تأثیرگذار هستند. بنابراین این اپراتورها باید سیستم اسکادای خود را به سمت سیستم‌های مدیریت توزیع پیشرفته تکامل دهند و از سرویس‌های ارتباطی با زمان چرخش^۱ (RTT) کمتر از ۱۰ میلی‌ثانیه و دسترسی بالاتر از ۹۹.۹۹٪ استفاده کنند تا بتوانند عملیات مکان‌یابی خطا، ایزولاسیون، استقرار مجدد، بهینه‌سازی توان راکتیو، مدیریت اوج تقاضا و پشتیبانی از میکروگریدها را در محیط پویای منابع تولید پراکنده و "تولید-مصرف کننده‌ها" (مانند خودروی برقی، پانل‌های خورشیدی، باتری و ...) انجام دهند. این اپراتورها برای حفظ پایداری می‌توانند به‌صورت فعال برای سرویس‌های انعطاف‌پذیری درخواست دهند و در شرایط اضطرار دستورات مستقیمی ارسال کنند.

در چنین مدل‌های تکامل‌یافته‌ای مدیریت انعطاف‌پذیری، سرویس‌های ارتباطی که توسط شبکه مخابراتی ارائه می‌شود بسیار اهمیت پیدا می‌کنند و از آنجایی که قطع ارتباط می‌تواند باعث جدا شدن یک بازیگر سیستم شود و تبعات اقتصادی زیادی را با خود به همراه آورد (به‌طور مثال، یک پانل خورشیدی به دلیل قطع سیستم ارتباطی و در نتیجه تکمیل نشدن فرآیند رجیستری از شبکه قطع شود)، فرآیند حسابرسی و بازرسی سیستم ارتباطی باید به‌صورت پیش‌فرض در محل انجام شود.

ملاحظات شبکه ارتباطی برای این مورد کاربردی به شرح زیر است:

- رجیستری و احراز هویت دستگاه‌ها باید به‌صورت "اتصال و اجرا" باشد تا به شبکه دسترسی و سرویس‌های برنامه کاربردی متصل شوند.
- استانداردسازی قابلیت‌های شبکه ارتباطی برای تجهیزات انتهایی (مثل مشتری، منبع تولید پراکنده، حس گر شبکه) قابل اجرا باشد.

¹ Round Trip Time

- تأخیر به میزان تعیین‌شده و ترافیک با اولویت بالا از دیگر نیازمندی‌های شبکه ارتباطی می‌باشد.
 - تضمین پایداری شبکه هوشمند ترافیک اولویت بالا و رزرو کانال‌های ارتباطی برای کاهش تأخیر مابین ارسال و دریافت در عملیات مأموریت بحران میسر می‌شود.
 - شبکه مجازی خصوصی برای ترافیک شبکه باید بتواند منابع مناسب و اولویت‌دهی را بدون تأثیرپذیری از سایر منابع در زیرساخت شبکه کلی تخصیص دهد.
 - نیازمندی‌های تأخیر باید با قابلیت‌های شبکه مبتنی بر نرم‌افزار و رایانش ابری نظیر باشد تا اپراتور سیستم توزیع بتواند توزیع جغرافیایی و موارد کاربردی را گسترش دهد.
 - واحدهای هماهنگ‌سازی باید قادر به مدیریت اتصال باشند و اطلاعات لازم برای آگاهی از کیفیت سرویس داشته باشند تا در صورت نیاز بتوانند دوباره شبکه مخابراتی را انتخاب کنند.
 - باید محدودیت‌های تراکمی برای تجهیزاتی که همیشه روشن هستند و تأخیر بسیار پایینی احتیاج دارند در نظر گرفته شود.
 - در مدل‌های قراردادی باید احراز هویت، پروفایل سرویس نظیر، انتخاب شبکه و ویژگی آزمایش خودکار پشتیبانی شود.
 - تجهیزات فیلد در طراحی و معماری باید ویژگی‌هایی چون امنیت، شرایط محیطی و اطمینان از در دسترس بودن و سرویس پذیر بودن از راه دور را برای چرخه حیات توسعه‌یافته رعایت کنند.
 - فناوری‌هایی چون برش شبکه و مجازی‌سازی توابع شبکه باید کنترل دسترسی کارکنان اپراتورها را ارتقا دهد و امنیت کلی سیستم را بهبود دهد.
 - در وضعیتی که تجهیز با قطع و وصل تغذیه، شروع مجدد^۱ می‌کند.
- به نظر می‌رسد در این مورد کاربردی شبکه هوشمند، شبکه نسل پنجم با پتانسیل اتصال فراگیر می‌تواند نیازمندی‌های مختلف تعداد اتصال در ابعاد وسیع، بخش‌بندی و مدیریت شبکه برای سهام‌داران متفاوت، امنیت و قابلیت اطمینان و ارائه سرویس‌هایی باکیفیت مناسب را پوشش دهد.

۴-۱۱- کاربردهای مطرح برای استفاده 5G در شبکه هوشمند برق

شبکه هوشمند به‌عنوان یک استراتژی ضروری در ساختارهای انرژی دنیا شناخته می‌شود. شبکه مخابراتی نسل پنجم می‌تواند به تبادل حجم وسیعی از اطلاعات برای پیاده‌سازی شبکه هوشمند (که ماهیت توزیع‌شده دارد) بپردازد. به‌علاوه، شبکه نسل پنجم، هوشمندسازی ادوات زیرمجموعه و متصل به شبکه برق را امکان‌پذیر ساخته است و پاسخگوی تعاملات موردنیاز آن‌ها جهت پایش و کنترل عملکرد می‌باشد. به‌این‌ترتیب، یک

¹ Cold/hard restart

سیستم مخابراتی کارآمد برای پوشش تعداد بسیار زیاد ادوات و برقراری ارتباطات دوطرفه آن‌ها در محدوده جغرافیای وسیع در اختیار خواهد بود [۷].

ترافیک داده در ارتباط ادوات شبکه هوشمند آینده را می‌توان به دو گروه تقسیم‌بندی کرد:
۱. شبکه محدوده خانگی (HAN) که تعامل با کاربران را از طریق ادواتی چون کنتورها و حسگرها انجام می‌دهد.

۲. ارتباط بین تعداد بسیار زیاد تولیدکنندگان انرژی و ارائه‌دهندگان سرویس‌های مرتبط
برش‌های شبکه نسل پنجم هر دو حوزه ارتباطی فوق را بهبود می‌دهد. ویژگی مهم دیگر کاربرد شبکه نسل پنجم قابلیت انعطاف و گسترش سرویس در هنگام درخواست است. درمجموع، تنوع سرویس‌هایی که شبکه نسل پنجم ارائه می‌دهد، می‌تواند به راه‌حلهایی برای حل مشکلات و چالش‌های اجرایی شبکه هوشمند منجر شود. در ادامه دو گروه ارتباطی فوق موردبررسی قرار می‌گیرند. همچنین باید تبادل اطلاعات بین این دو بخش مورد مطالعه قرار گیرد (در دهه گذشته، PLC به‌عنوان بهترین فناوری مخابراتی برای تبادل اطلاعات بین این دو بخش شناخته می‌شد).

۱۱-۴-۱- کاربرد در حوزه مشتریان

این حوزه، سیستم توزیع ولتاژ ضعیف شبکه برق را شامل می‌شود که در حرکت به سمت شبکه هوشمند تغییرات مهمی را خواهد داشت. شبکه نسل پنجم، اولین پیشنهاد سیستم‌های ارتباطی برای تحقق معماری نوین این حوزه است [۷].

۱۱-۴-۱-۱ کاربران خانگی

تولید انرژی به‌صورت پراکنده و در مقیاس‌های کوچک به‌سرعت در حال گسترش است و از این میان، تولیدات از منابع تجدیدپذیر بخش وسیعی را به خود اختصاص می‌دهند. با توجه به اینکه تولید انرژی در سطح کاربران و مصرف‌کنندگان نیز انجام خواهد شد، از آن‌ها با نام «تولید-مصرف‌کننده»^۱ یاد می‌شود. لذا کاربران در سه بخش اصلی به فعالیت خواهند پرداخت:

- تولید انرژی: تولید انرژی در مقیاس کوچک، در راستای تحقق شبکه توزیع‌شده تولید برق
- ذخیره انرژی: جهت استفاده از انرژی خورشیدی در شب
- مصرف انرژی: مصرف محلی و استفاده از بازار خرده‌فروشی برق

¹ Prosumer

در اتصال کنتورهای کنونی به شبکه اتوماسیون و فیدرهای توزیع، پهنای باند کم و تأخیر زمانی نسبتاً زیاد قابل قبول است. اما در معماری نوین اتوماسیون هوشمند، پهنای باند کم در کنار تبادل اطلاعات با تأخیر کمتر مورد نیاز است. کنتورهای هوشمند به عنوان ادوات اصلی در حوزه کاربران و مشتریان شناخته می‌شوند که انتظار می‌رود قابلیت‌هایی از جمله اندازه‌گیری‌های بلادرنگ، امنیت بالا، تعامل در لحظه با بازار برق جهت خرید و فروش انرژی و ارتباط با سامانه‌های پیش‌بینی (وضعیت هوا و قیمت‌های آینده) را داشته باشند. در نهایت، پیاده‌سازی کامل ویژگی‌های فوق برای میلیون‌ها کنتور که با عنوان سیستم AMI شناخته می‌شود، نیازمند اتصال همه آن‌ها به یک زیرساخت مخابراتی قدرتمند و با پوشش وسیع هست.

اگرچه شبکه نسل پنجم می‌تواند ارتباطات با تأخیر ناچیز و نرخ داده بالا را برای حوزه کاربران فراهم کند اما چالش‌هایی مانند تأمین امنیت بالا، تطبیق هویت ادوات و پیکربندی خودکار نیز باید در نظر گرفته شوند.

۱۱-۴-۲- خودروها

بخش مهم دیگر در سطح مشتریان، ارتباطات متنوع و وسیع خودروها است که به عنوان یکی از سه کاربرد اصلی شبکه نسل پنجم تعریف شده است. افزایش سریع و روزافزون استفاده از خودروهای برقی نیز سیستم‌های مخابراتی را با اهمیت‌تر و استفاده از آن را گسترده‌تر ساخته است. خودروهای برقی در آینده بار بزرگی را بر شبکه هوشمند برق تحمیل خواهند کرد که باید با برنامه‌ریزی و ایجاد زیرساخت‌های مورد نیاز، به درستی مدیریت شوند.

عملکرد بهینه خودروهای آینده به توانایی آن‌ها در ارتباطات گسترده با دنیای بیرونی و تبادل حجم بسیار زیاد داده وابسته است. با توجه به نیاز به تبادل اطلاعات بین خودرو و مراکز بیرون از آن (مانند ایستگاه‌های کنترل ترافیک)، سازندگان خودروها ادوات مورد نیاز برای ارسال و دریافت داده را در آن‌ها پیش‌بینی کرده و قرار داده‌اند [۸].

شبکه ارتباطی مورد نیاز خودروها که با عنوان $V2X^1$ شناخته می‌شود را می‌توان در شاخه‌های زیر مورد بررسی قرارداد:

- ارتباطات خودرو با کاربر و با افراد پیاده: تعامل خودرو با کاربر آن به عنوان ارتباط اولیه و اصلی و همچنین ارتباط با انسان‌ها در محدوده تردد خودرو (افراد پیاده و یا دوچرخه‌سوار) که $V2P^2$ نام‌گذاری شده است، از اهمیت بالایی برخوردار هستند.
- ارتباط بین خودرو برقی و ایستگاه شارژ: خودرو برقی به اطلاعاتی از ایستگاه شارژ از جمله نمونه‌های شارژ قابل ارائه، هزینه انواع شارژ و تغییرات قیمت در زمان، نیازمندی و قیمت بازار برق جهت فروش

¹ Vehicle to Everything

² Vehicle to Pedestrian

(دشارژ) انرژی، انواع سرویس‌های موجود در ایستگاه شارژ و سطح رضایت‌مندی مشتریان از ایستگاه شارژ نیازمند است. همچنین در زمان توقف خودرو در ایستگاه شارژ، تعاملی مابین خودرو برقی و کنترل‌کننده ایستگاه شارژ موردنیاز است. اطلاعاتی چون سطح شارژ خودرو و زمان باقیمانده تا شارژ کامل به‌صورت متناوب باید بین واحدهای کنترلی ارسال شود.

- تبادل اطلاعات بین خودرو و زیرساخت مدیریت شهری ($V2I^1$): این گروه تعامل هر نوع خودرو با سیستم‌هایی مانند دوربین‌ها، پارکینگ‌ها و ایستگاه‌های اطلاع‌رسانی را شامل می‌شود. به اشتراک گذاشتن اطلاعات در این گروه در دو جهت انجام می‌شود: الف) ارسال داده از خودرو به زیرساخت نظارت شهری جهت جمع‌آوری داده مکان و سرعت متوسط حرکت خودرو، چگونگی استفاده کاربر از خودرو (مانند مسافت طی شده، میزان حرکت در ترافیک و با سرعت کم، میانگین سرعت) و ب) ارسال اطلاعات و اطلاع‌رسانی از طرف مدیریت شهری به خودروها شامل اعلام شرایط جاده‌ها، ترافیک و تصادفات، محل‌های پارک خودرو، هدایت به ایستگاه شارژ و مکان نزدیک‌ترین آن‌ها، تعداد مکان‌های شارژ خالی در ایستگاه‌های شارژ منطقه (و نزدیک‌ترین آن‌ها).
- تبادل اطلاعات مابین خودروها: شبکه خودرو-به-خودرو ($V2V^2$) عبارت است از ارتباط خودروها که با کمک ایستگاه پایه و یا به‌صورت ارتباط مستقیم به تعامل می‌پردازند. اهداف اصلی از این ارتباط، کنترل ترافیک، استفاده بهینه از زیرساخت‌های شارژ خودرو و تبادل انرژی بین خودروها (برای خودروهای برقی) است. در این حالت، خرید و فروش انرژی بین دو خودرو با توجه به قیمت روزانه برق انجام می‌شود.

با توجه به گروه‌های فوق، چهار نیازمندی اصلی برای ارتباطات خودروهای برقی باید موردنظر قرار گیرد: تأخیر، قابلیت اطمینان، نرخ داده و محدوده پوشش سیگنال [۹]. به‌منظور برآورده ساختن این نیازمندی‌ها توسط شبکه سلولی، شاخه‌ای با عنوان $C-V2X^3$ تعریف شده است. نهاد 3GPP اولین سری از استاندارد ارتباطی خودروهای برقی با عنوان LTE-V2X را تصویب کرده است. اما نیازمندی‌های سخت‌گیرانه در مورد تأخیر و قابلیت اطمینان (مثلاً برای پیاده‌سازی کنترل از راه دور خودرو) توسط شبکه LTE کنونی برآورده نمی‌شود. بر این اساس، تدوین سیستم سلولی آینده 5G V2X برای پشتیبانی از ارتباطات خودروها و ارائه سرویس‌های لازم (مخصوصاً برای کاربردهای خاص) ضروری خواهد بود.

¹ Vehicle to Infrastructure

² Vehicle to Vehicle

³ Cellular V2X

در طراحی C-V2X تبادل داده مستقیم خودروها با یکدیگر و یا ارتباط آن‌ها با شبکه زیرساخت و افراد پیاده نیز مدنظر قرار داشته است؛ به نحوی که در مناطقی که پوشش رادیویی شبکه سلولی وجود ندارد، این تبادل اطلاعات به صورت محلی تداوم داشته باشد (به عنوان مثال ایمنی در تردد حفظ شود).

۱۱-۴-۲- کاربرد در ارتباطات بالادستی

این حوزه مجموعه وسیعی از ادوات اصلی شبکه کنونی برق از جمله نیروگاه‌ها، سیستم انتقال و تبادل اطلاعات هوشمند آن را شامل می‌شود. بخش‌های اصلی در این سطح عبارت‌اند از:

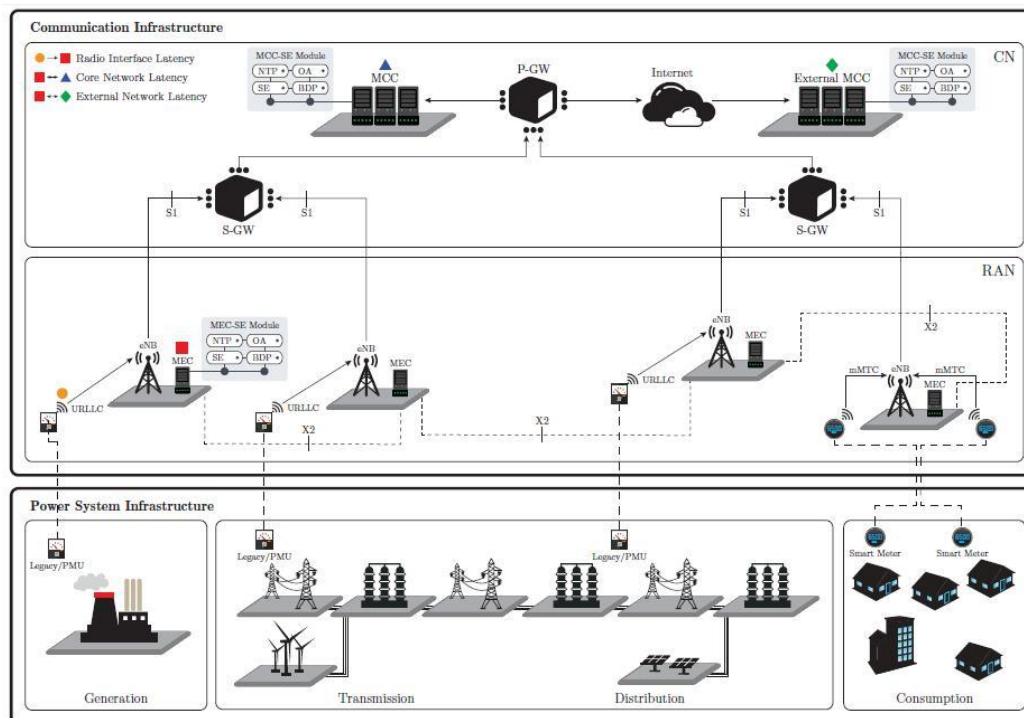
- اتوماسیون توزیع
- منابع انرژی پراکنده و نیروگاه‌های مجازی
- پایش هوشمند ایستگاه‌های انتقال و توزیع

از دیدگاه شبکه ارتباطی، شبکه هوشمند برق به ارتباطات وسیع بین ادوات نیاز دارد. اپراتور شبکه مخابراتی، سرویس‌های مورد نیاز شبکه هوشمند را در سه دسته قرار می‌دهد [۳]:

۱. سرویس‌های کنترل صنعتی: علاوه بر ایجاد بستر مناسب برای جریان اطلاعات، کنترل بخش‌های صنعتی با سرعت بالا مورد نیاز است مانند اتوماسیون توزیع و سرویس‌های پاسخ-تقاضا. برش‌های شبکه نسل پنجم می‌توانند نیازهای تأخیر بسیار کم و قابلیت اطمینان زیاد این بخش را در زیرمجموعه کاربردهای URLLC برآورده سازند.
۲. سرویس‌های جمع‌آوری اطلاعات: پایش بخش‌های مختلف شبکه هوشمند، نیازمند پشتیبانی از جریان داده بین تعداد بسیار زیاد ادوات است. نمونه‌هایی از کاربردهای مرتبط عبارت‌اند از جمع‌آوری داده کنتورهای هوشمند در زیرساخت AMI، واحدهای تولید پراکنده و اتوماسیون توزیع. از نظر اپراتور شبکه نسل پنجم، این گروه با چگالی بالای ادوات در دسته کاربردهای mMTC قرار می‌گیرند.
۳. پردازش ویدیو و تصاویر با کیفیت HD: کاربردهایی مانند بازرسی شبکه با ادوات پرنده بدون سرنشین (UAV) و پایش هوشمند ایستگاه‌های توزیع نیازمند پهنای باند بسیار زیاد (جهت ارسال داده بلادرنگ و با کیفیت بالای تصاویر و ویدیو برای پردازش در ابر) می‌باشند. این کاربردها در حوزه برش‌های شبکه نسل پنجم برای بخش eMBB قرار می‌گیرند.

یکی از زیرساخت‌های مهم جمع‌آوری اطلاعات، واحدهای PMU هستند که پارامترهای ولتاژ و جریان را با نرخ بالایی نمونه‌برداری می‌کنند. استفاده از اطلاعات PMU ها که به صورت توزیع شده‌ای در شبکه برق نصب شده‌اند برای سیستم‌های پایش وسیع (WAMS) آینده و سرویس‌های تحلیلی آن‌ها، نیازمند شبکه مخابراتی نسل پنجم است. در کنار این واحدها، ادوات RTU هستند که داده آن‌ها می‌تواند برای تحلیل

معماری توزیع‌شده شبکه هوشمند بسیار مفید باشد [۱۰]. شکل ۷-۱۱ نمایی از معماری ارتباطی با دو لایه اصلی برای استفاده از شبکه نسل پنجم در شبکه هوشمند را نشان می‌دهد.



شکل ۷-۱۱ معماری استفاده از شبکه ارتباطی نسل پنجم در شبکه هوشمند [۱۰]

۵-۱۱- کاربرد 5G در شبکه هوشمند با تمرکز بر فناوری مجازی‌سازی

یکی از پیشنهادهای اصلی برای غلبه بر چالش‌ها و عبور از مشکلات ارائه سرویس به صنایع، طراحی گروه‌هایی از توابع مجازی شبکه است. این توابع مجازی شبکه برای تسهیل عملکرد توزیع‌شده و مطمئن ادوات و سخت‌افزارها و همچنین قابلیت گسترش برای امکان اتصال و اجرا^۱ ادوات تعریف می‌شوند [۱۱].

صنعت انرژی یکی از مهم‌ترین موارد کاربردی برای فناوری‌های فعال شبکه نسل پنجم هست که در آن نیاز به آدرس دادن محدوده بزرگی از نیازمندی‌های متفاوت در تنوع زیادی از برنامه‌های کاربردی هست. در هر حال برای پشتیبانی مؤثر شبکه نسل پنجم از صنعت انرژی که در حال گذر به سمت سیستم‌های تجدید پذیر غیر مرکزی بیشتر می‌باشد، چندین چالش در بخش‌های مدیریت شبکه نسل پنجم، امنیت، تاب‌آوری، مقیاس‌پذیری و تحرک‌پذیری وجود دارد. برای مواجهه با این موضوعات، پروژه NRG-5²، پلتفرم کاری نرم‌افزاری موافق با نهاد زیرساخت PPP که به‌طور خاص برای حوزه انرژی تعبیه‌شده است را بررسی و توسعه می‌دهد [۱۲]. این پلتفرم مقاوم و امن و غیرمتمرکز قادر خواهد بود به‌صورت مدلی همگن، منابع رایانشی لبه

¹ Plug and Play

Enabling Smart Energy as a Service via 5G Mobile Network advances²

و تجهیزات با سخت‌افزار محدود شده (همانند کنتور) متحرک یا ساکن را مجازی نماید و سرویس‌های مجازی را بر روی زیرساخت صنعت گاز و برق در کنار زیرساخت مخابرات به کار خواهد گرفت تا تمامی نیازهای محاسباتی و ارتباطی پوشش داده شوند. پشتیبانی شبکه نسل پنجم از صنعت برق برای حرکت به سمت منابع تجدید پذیر غیرمتمرکز، با چندین چالش در شبکه همچنان مواجه است. اتوماسیون مدیریت شبکه، امنیت، تاب‌آوری، مقیاس‌پذیر، تحرک پذیری ازجمله این موارد می‌باشند.

پروژه NRG-5، فناوری مجازی‌سازی توابع شبکه در حوزه انرژی هوشمند را به‌طور گسترده به کار خواهد گرفت و سرویس‌های انرژی هوشمند را به‌صورت گراف انتقال تابع مجازی شبکه در نظر خواهد گرفت تا به‌منظور مدیریت انرژی مؤثر، بر اساس نیازهای عملیاتی و اولویت‌های کاری و قوانین سیاست‌گذاری، توابع مدیریت انرژی با پویایی به هم متصل شوند.

این پروژه ذیل برنامه‌های پژوهشی اتحادیه اروپا CORDIS برای فناوری اطلاعات و ارتباطات قرار دارد و با بودجه حدود ۷ میلیون یورو در بازه زمانی ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۹ با هماهنگ‌کنندگی شرکت مهندسی ایتالیایی با نام Ingegneria Informatica Spa انجام شده است. شرکت‌ها و مؤسسات پژوهشی و دانشگاه‌ها از کشورهای یونان، فرانسه، رومانی، انگلیس، اسپانیا، آلمان، اسلونی، دانمارک و آمریکا در کنار شرکت ایتالیایی در این پروژه فعالیت داشته‌اند. این پروژه، فناوری مجازی‌سازی توابع شبکه در حوزه انرژی هوشمند را به‌طور گسترده به کار خواهد گرفت؛ این پلتفرم به موارد ذیل می‌پردازد:

- پشتیبانی از قابلیت "اتصال و اجرا"، مقیاس‌پذیری و قابل اعتماد بودن تنوعی از دستگاه‌ها
- ایزوله بودن تجهیز شبکه نسل پنجم برای نمایش انواع سرویس‌های ارتباطی mMTC، uMTC و xMBB و امنیت انتها به انتها و ارتباطات مقیاس‌پذیر، امن با مصرف بهینه انرژی برقرار شود.
- استفاده از ریزبرها^۱ با فناوری رایانش لبه سیار توسعه‌یافته (xMEC) برای کاهش بار بک‌هال، افزایش ظرفیت کلی شبکه، و کاهش تأخیر و تسهیل توسعه فناوری مجازی‌سازی توابع شبکه مرتبط با ارتباطات از نوع ماشین و توابع مجازی با محوریت صنعت برق.
- قالب کاری تحلیلگر و پیشگوی واحد مدیریت و هماهنگ‌سازی مجازی‌سازی توابع شبکه (MANO) توسعه‌یافته برای پشتیبانی از پیکربندی مجدد توابع مجازی شبکه به‌طور پویا و خودکار؛
- اعتبارسنجی آزمایشگاهی به‌طور گسترده با داده‌های واقعی در دو سایت پایلوت در کشورهای فرانسه و ایتالیا کامل شده است و پیاده‌سازی برای مدیریت بهینه شبکه توزیع برق و گاز که در آن‌ها از شبکه نسل پنجم استفاده شده بود پیشنهاد می‌شود. نتایج این پروژه به دلیل پتانسیل تکرار آن در سایر صنایع عمودی می‌تواند برای پشتیبانی پروژه‌های فاز سوم نهاد زیرساخت 5G PPP ارائه شود.

¹ Micro-cloud

در این پروژه، همچنین سناریوها و موارد کاربردی که برای برطرف کردن چالش‌های انرژی هوشمند مجهز به 5G مؤثر بود تعریف و آنالیز شد. سه سناریوی انرژی هوشمند به شرح زیر در نظر گرفته شدند:

- کنتور هوشمند (مورد کاربردی الف)
- تعمیر و نگهداری قابل پیش‌بینی (مورد کاربردی ب)
- پاسخ تقاضای قابل مخابره (مورد کاربردی پ)

موارد کاربردی الف و ب به ارتباطات از نوع ماشین حجیم (M-MTC) نیاز دارند. مورد کاربردی ب به ارتباطات موبایل پهن باند نیز نیاز دارد و مورد کاربردی پ به ارتباطات با تأخیر کم و اطمینان بالا (URLLC) احتیاج دارد. برای برآورده سازی این نیازمندی‌ها از فناوری رایانش لبه موبایل توسعه‌یافته (xMEC) در یک گره ایستگاه پایه استفاده شده است؛ معماری این فناوری مطابق معماری مرجع شبکه نسل پنجم در 5G-PPP هست.

فعالیت اصلی در دو گروه دسته‌بندی شده است. دسته اول، توسعه توابع شبکه مجازی عمومی و دسته دوم توسعه کاربردی و توابع شبکه مجازی خاص صنعت برق هست. در دسته اول، طراحی و نمونه اولیه توابع مجازی اولیه با در نظر گرفتن موارد ذیل انجام شد.

۱. بهبود سرویس پایانه و پشتیبانی از شبکه مش با پروتکل اختیاری برای لایه‌های فیزیکی، MAC، شبکه، و انتقال (vTSD)

۲. افزایش تاب‌آوری و سرعت رایانشی در لبه از طریق حافظه نهان داده قابل تطبیق (vMCM)

۳. به کار بردن تحرک پذیری بهتر بر پایه هماهنگی GPS و حضور NRG-5 در یک منطقه (vMME)

۴. بالا بردن سطح امنیت با تمرکز بر بلاک چین برای ارتباطات خاص و گزارش دهی داده‌هایی که برای صنعت برق حساس هست (vAAA و vBCP)

در دسته دوم، طراحی و نمونه اولیه توابع مجازی اولیه با در نظر گرفتن موارد ذیل انجام شد:

۱. توابع شبکه مجازی برای آنالیز ویدیوی خودکار (vMPA)

۲. توابع شبکه مجازی برای کنترل پهنادهای خودکار (vDFC برای پایش وضعیت خطوط برق)

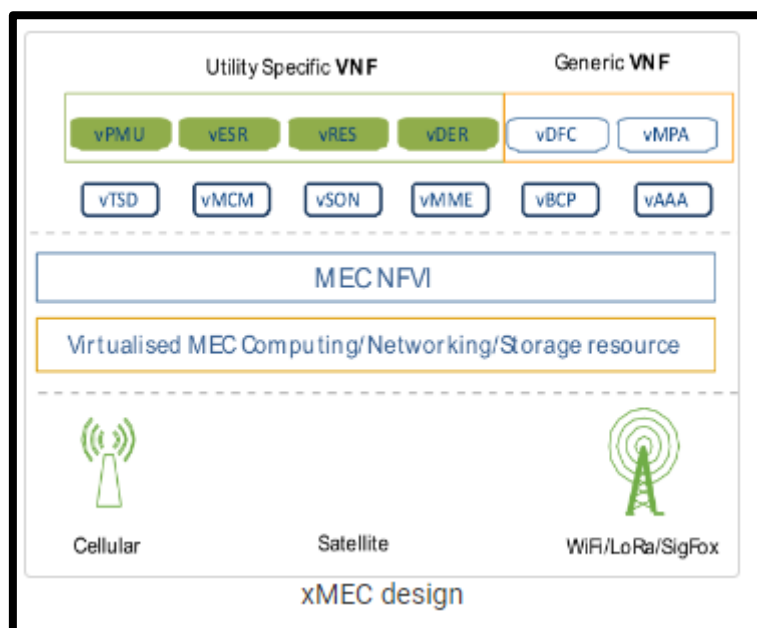
۳. توابع شبکه مجازی برای اتوماسیون پست‌ها (vESR)

۴. توابع شبکه مجازی برای دستگاه‌های ذخیره انرژی (vDES)

۵. توابع شبکه مجازی برای توسعه منابع انرژی تجدید پذیر (vRES)

۶. توابع شبکه مجازی برای واحدهای اندازه‌گیری فازور (vPMU)

توسعه‌های فوق‌الذکر، با پیاده‌سازی ماژول‌های نرم‌افزاری زیرساخت اندازه‌گیری پیشرفته به‌عنوان سرویس^۱ (AMIaaS)، تعمیر و نگهداری پیشگیرانه به‌عنوان سرویس^۲ (PMaaS)، پاسخ تقاضای قابل مخابره^۳ (DDRaaS) مطابق با موارد کاربردی الف تا پ انجام گرفته است. از زاویه دید پلتفرمی، این پروژه، حلقه کنترلی MAPE-K برای بهینه‌سازی استفاده از منابع در رایانش لبه سیار پیشرفته و تصمیم‌گیری روی گزینه‌های توسعه بهینه را نتیجه‌گیری کرده است. آنالیز اولیه قرارداد سطح سرویس (SLA) برای زیرساخت مأموریت بحرانی مرتبط با انرژی اجرا شده است. از زاویه دید شبکه مبتنی بر نرم‌افزار، استفاده از پروتکل OpenStack به‌عنوان پلتفرم مجازی‌سازی با مدیریت قالب کاری ETSI OSM MANO را نتیجه‌گیری کرده است که در آن یکپارچه‌سازی کامل هردو پلتفرم تحقق پذیرفته است.



شکل ۸-۱۱ توابع مجازی در پروژه NRG-5

فعالیت‌های این پروژه با پروژه H2020 SUCCESS که با دستگاه‌های کنتر هوشمند نسل آتی مجهز به ارتباطات نسل پنجم (5G-NORM) مرتبط هست یکپارچه‌سازی شده است. انتظار می‌رود که این پروژه پیشگام ارائه راه‌حلی برای فعال‌سازی و خودکار سازی فعالیت‌های غیر-زمان-واقعی صنعت برق باشد تا کیفیت انرژی بهبود یابد و زیرساخت انرژی تاب‌آوری بیشتری داشته باشد. همچنین پیشرفت‌های قابل‌توجهی در حوزه اینترنت اشیا از طریق پشته توابع شبکه مجازی جدید در NRG-5 تحقق یابد و اتصال تجهیزات تاب‌آوری بیشتری داشته باشد و امنیت آن بالاتر رود به‌نحوی که داده‌های تجهیزات اینترنت اشیا برای کاربردهای آگاه از موقعیت، ایمن و با دسترسی قابل کنترل باشد.

¹ Advanced Metering Infrastructures as a Service

² Preventive Maintenance as a Service

³ Dispatchable Demand Response as a Service

ترکیب ارتباطات شبکه نسل پنجم و انرژی هوشمند و تقویت نفوذ منابع انرژی تجدید پذیر در کل برای اجتماع اروپا که پشتیبان این پروژه می‌باشند بسیار سودآور خواهد بود. همچنین اقتصاد اروپا از تعامل فعالانه در بنگاه‌های اقتصادی خرد و متوسط با صنایع سود خواهد برد و این رقابت بین بازار شبکه نسل پنجم و انرژی را افزایش خواهد داد. همچنین فعال بودن چنین پروژه‌هایی تأثیر خوبی روی استانداردسازی و تقویت یکپارچه‌سازی بازار انرژی در سرتاسر اروپا خواهد داشت.

۱۱-۶- کاربرد 5G در شبکه هوشمند با تمرکز بر فناوری برش بندی شبکه

یکی از فناوری‌های کلیدی شبکه نسل پنجم، فناوری برش شبکه است که در آن اپراتورهای موبایل می‌توانند چندین شبکه مجازی بر روی یک زیرساخت فیزیکی واحد ایجاد کنند. برش شبکه، خودکارسازی و مجزاسازی سرویس و تنوع قابلیت‌های شبکه را ایجاد می‌کند.

صنعت انرژی یکی از صنایع عمودی است که برش شبکه قادر به ایجاد تحول بنیادی در آن است. کاربردهای شبکه هوشمند مانند بازرسی شبکه قدرت از طریق پهپاد^۱ و کنترل دقیق بار در حد میلی ثانیه^۲ و زیرساخت اندازه‌گیری هوشمند (AMI) با نیازمندی‌های ارتباطی متفاوت می‌توانند در برش‌های مختلفی از شبکه سرویس‌دهی شوند تا عملکرد آن‌ها بهبود پیدا کند. کاربرد برش شبکه در شبکه هوشمند هنوز در فاز آزمایش است و برآورد می‌شود به‌کارگیری آن در مقیاس بزرگ تا سال ۲۰۲۲ میلادی اتفاق بیفتد [۳].

شبکه هوشمند نیاز به زیرساخت ارتباطی امن دارند تا نیازهای مشترکان و شرکت‌های برق را پاسخگو باشند. مزایای برش شبکه نسل پنجم مخابرات سلولی می‌تواند به صنایع و بخش انرژی در مواجهه با این چالش کمک کند. محاسن شبکه نسل پنجم در زمینه چگالی شبکه، تأخیر پایین، گذردهی بالا و تضمین کیفیت سرویس موجب می‌شود پیاده‌سازی آن در شبکه هوشمند قریب‌الوقوع باشد. در ادامه برخی از موارد کاربرد برش شبکه برای ارتباطات شبکه هوشمند بررسی شده است.

۱۱-۶-۱ - برش شبکه در زیرساخت اندازه‌گیری پیشرفته (AMI)

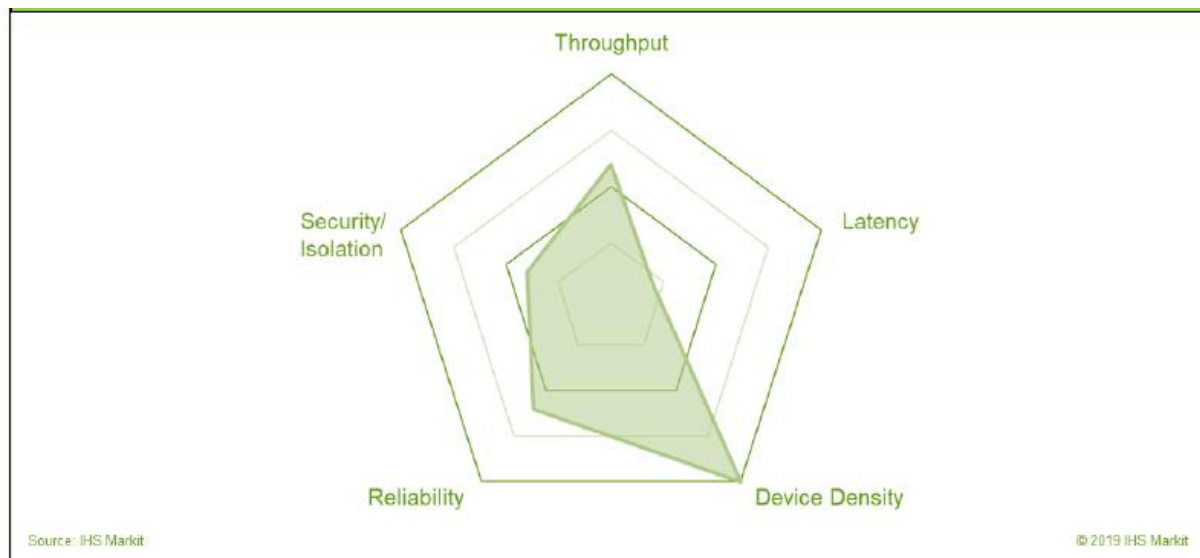
اگرچه در حال حاضر جمع‌آوری اطلاعات در سطح کنتورها و بارهای مصرفی مشترکین در بازه‌های زمانی ۵ تا ۱۵ دقیقه انجام می‌شود، اما با کمک سرویس‌های شبکه نسل پنجم جمع‌آوری داده مصرف انرژی به‌صورت بلادرنگ انجام خواهد شد. استفاده از شبکه نسل پنجم در AMI، صنایع و بخش انرژی را قادر می‌سازد درخواست کاربران را برای بار الکتریکی به‌صورت زمان- واقعی بدانند. در زیر به مزایای استفاده از شبکه نسل پنجم در AMI اشاره شده است:

^۱ UAB based grid maintenance

^۲ millisecond level precise load control

- آگاهی از بار الکتریکی مصرفی و درخواستی کاربران به صورت زمان حقیقی
 - تطبیق سریع منابع و انرژی توزیع شده
 - بهبود مدیریت بازده انرژی
 - تهیه الگوهای مصرف و قیمت‌گذاری کارآمد
 - تهیه راهنمای دقیق برای افزایش کیفیت تولید انرژی
- نیازهای کلیدی فناوری برش شبکه برای زیرسیستم AMI در شبکه هوشمند عبارت‌اند از:
- چگالی و تراکم بالای گره‌ها
 - امنیت بالا
 - دسترسی و ناحیه پوشش مناسب

این مشخصات و نیازها از طریق برش شبکه مربوط به سرویس MMTC در شبکه نسل پنجم قابل پاسخگویی است.



شکل ۹-۱۱ برش شبکه نسل پنجم برای مورد کاربرد AMI [۳]

۲-۶-۱۱- برش شبکه در اتوماسیون توزیع و فوق توزیع

اتوماسیون توزیع و فوق توزیع، سیستم مدیریت اطلاعاتی است که از انتقال داده، ادوات و تجهیزات مدرن، فناوری‌های کنترلی و روش‌های نوین مدیریت بهره می‌گیرد. پیشرفت سیستم اتوماسیون توزیع و فوق توزیع در سه مرحله انجام می‌شود. مرحله اول توسط ادوات سویچ خودکار (مانند ریکلوزرها و سکشنالایزرها) و بدون نیاز به شبکه مخابراتی و سیستم‌های کامپیوتری انجام می‌شود. در مرحله دوم از شبکه مخابراتی، واحدهای پایانه فیدر و شبکه‌های کامپیوتری اختصاصی استفاده می‌شود. همچنین دیسپاچر می‌تواند از راه دور، منطقه خطا را از شبکه جدا نماید. با پیشرفت فناوری، سطح سوم از سیستم‌های اتوماسیون توزیع با اضافه

شدن توابع کنترلی خودکار به ظهور می‌رسند. همکاری این توابع با سیستم‌های اسکادا، سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی^۱ (GIS) و سیستم‌های مدیریت توزیع یافته^۲ (DMS)، سرویس گزارش خطا و مدیریت اصلی منجر به ارائه سطح بالاتری از اتوماسیون می‌شود.

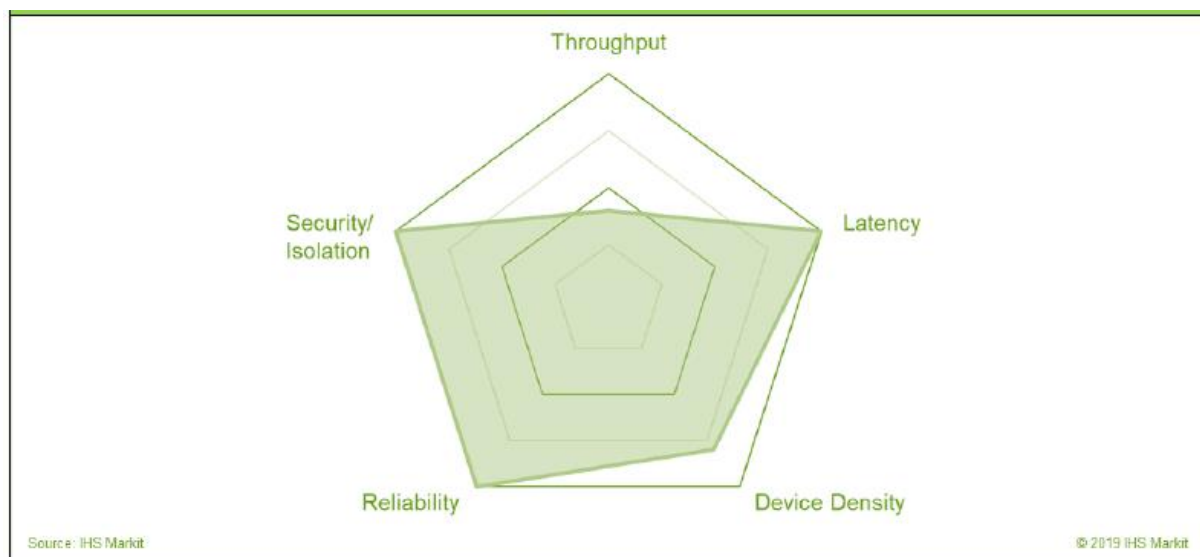
بر اساس مشخصات سرویس URLLC، انتقال اطلاعات با تأخیر حداقل و به‌صورت امن در مورد کاربرد اتوماسیون توزیع و فوق توزیع ممکن است که تشخیص خطا در خط انتقال را به چند میلی‌ثانیه برساند و موجب ایزوله کردن سریع قسمت دارای خطا از سیستم و عملیات بهبود سریع در سیستم شود.

در ادامه مزایای استفاده از شبکه نسل پنجم در کاربرد اتوماسیون آورده شده است:

- تشخیص و ایزوله کردن قسمت دارای خطا با تأخیر حداقل
 - قابلیت اطمینان بالا که باعث عملکرد برخط و زمان حقیقی دستگاه‌های اتوماسیون توزیع می‌شود
 - افزایش اطمینان و بهینه‌سازی شبکه‌های توزیع برای رسیدن به هدف 99.9999% اطمینان
- نیازهای کلیدی فناوری برش شبکه برای این زیرسیستم شبکه هوشمند عبارت‌اند از:

- تأخیر حداقل برای عملیات تشخیص و کنترل
- امنیت بالا برای مقابله با خطرات و حملات احتمالی
- چگالی و تراکم بالای دستگاه‌ها
- اطمینان بالا

این مشخصات و نیازها از طریق برش شبکه مربوط به سرویس URLLC در شبکه نسل پنجم قابل پاسخگویی است.



شکل ۱۰-۱۱ برش شبکه نسل پنجم برای اتوماسیون توزیع و فوق توزیع [۳]

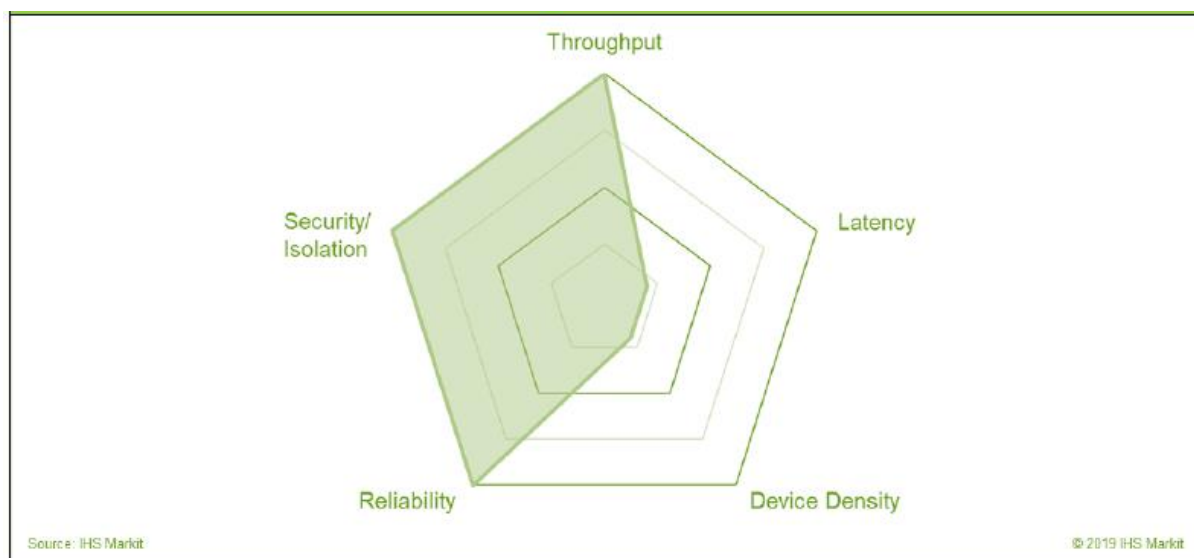
1 geographic information system

2 Distribution Management System

۳-۶-۱۱- برش شبکه در زیرسیستم بازرسی شبکه قدرت با استفاده از پهپادها^۱

این زیرسیستم موجب تشخیص و عیب‌یابی شبکه‌های هوشمند از طریق بررسی تصاویر از راه دور گرفته به‌وسیله پهپاد می‌شود و همچنین مزایای استفاده از شبکه نسل پنجم در کاربرد بازرسی فوق به این شرح است:

- گشت زنی در خطوط انتقال در نقاطی با دسترسی سخت
 - ارسال تصاویر هنگام بروز هشدار و خطا در سیستم
 - افزایش قابلیت‌های مدیریتی برای اصلاحات سیستم
- نیازهای کلیدی فناوری برش شبکه برای موارد کاربرد شبکه هوشمند عبارت‌اند از:
- نرخ داده بالا برای ارسال تصاویر باکیفیت
 - پوشش و تحرک پذیری مناسب برای پهپاد
 - بازدهی مناسب انرژی مصرفی پهپاد



شکل ۱۱-۱۱ برش شبکه نسل پنجم برای بازرسی پهپاد [۳]

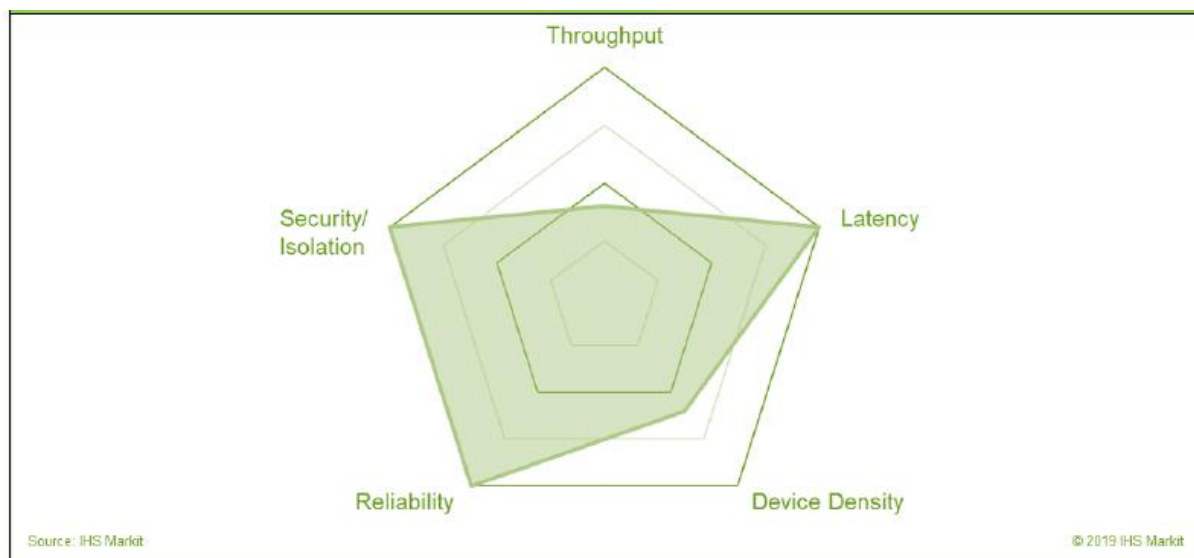
۴-۶-۱۱- برش شبکه برای کاربرد کنترل دقیق بار در سطح میلی‌ثانیه

کنترل دقیق بار، مدیریت سنتی در شبکه را که شامل قطع کامل خط انتقال بود به‌کلی تغییر داد. کنترل بار شبکه برق شامل دو حالت کنترل بار برنامه‌ریزی‌شده و کنترل بار بازار است. سیستم کنترل بار جامع با کمک شبکه مخابراتی می‌تواند به‌جای قطع کردن بخش‌های بزرگی از شبکه که در (قسمت محدودی از) آن خرابی

¹ Unmanned aerial vehicle

رخ داده است، تنها به محدوده خطا تمرکز کرده و آن را از شبکه برق جدا نماید. این فناوری بار قابل وقفه کاربر را مدیریت می‌کند و سازوکاری دوطرفه برای به حداقل رساندن تأثیر قطع بار روی کاربر را اجرا می‌کند. برش شبکه مربوط به سرویس‌های URLLC می‌تواند پاسخ میلی‌ثانیه‌ای به کاربر و کنترل بار دقیق را میسر کند. در زیر مزایای استفاده از شبکه نسل پنجم در کاربرد کنترل سریع بار آورده شده است:

- مدیریت بار سریع کاربران
- مدیریت بار و کاهش تأثیرات منفی در بهره‌وری
- در مقیاس بزرگ کاهش منطقه‌ای بار، کنترل و توزیع بار دقیق بین مشتریان
- نیازهای کلیدی فناوری برش شبکه برای موارد کاربرد شبکه هوشمند عبارت‌اند از:
- تأخیر در حد میلی‌ثانیه
- قابلیت اطمینان بالا 99.9999%
- امنیت بالا
- چگالی و تراکم بالا



شکل ۱۱-۱۲ برش شبکه نسل پنجم برای کاربرد کنترل دقیق بار در سطح میلی‌ثانیه [۳]

۵-۶-۱۱- سایر فعالیت‌های مرتبط با کاربرد برش شبکه در شبکه هوشمند

انتظار می‌رود که شبکه نسل پنجم برای رنج وسیعی از کاربردها و سناریوهای متفاوت قابل عرضه باشد. تأمین‌کنندگان شبکه نسل پنجم مشتاقانه به دنبال ارائه "شبکه به‌عنوان سرویس" هستند به‌نحوی که برش‌های منطقی شبکه که به‌طور مؤثری با موارد کاربردی مختلف انعطاف‌پذیر می‌باشند را در محیط چند اپراتوری ایجاد و تخصیص دهند.

در این راستا پروژه SliceNet¹ از مجموع پروژه‌های CORDIS ابزارها و مکانیسم‌هایی را برای دستیابی به این رؤیا ایجاد کرده است. این پروژه با بودجه حدود ۸ میلیون یورو در بازه زمانی ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۰ با هماهنگ‌کنندگی شرکت تحقیقاتی آلمانی EURESCOM (تحقیقات استراتژیک در زمینه مخابرات) انجام شده است. شرکت‌ها و مؤسسات پژوهشی و دانشگاه‌ها از کشورهای پرتقال، فرانسه، اسرائیل، ایرلند، اسپانیا، ایتالیا، انگلیس، یونان و رومانی در کنار آلمان در این پروژه فعالیت داشته‌اند.

این پروژه، یک قالب کاری برش شبکه نسل پنجم را به صورت خلاصه با استفاده از تجربه کاربر^۲ و با جهت‌دهی برای صنایع عمودی طراحی کرده است سپس نمونه اولیه را ایجاد و نمایش داده است. در این فعالیت، از مدیریت شبکه شناختی^۳ و فن‌های هماهنگ‌سازی و کنترل استفاده شده است تا برش انتها به انتهای شبکه در دامنه‌های چند اپراتور شبکه نسل پنجم ایجاد و عملیاتی شود. سه مورد کاربردی شبکه هوشمند، سلامت الکترونیکی و شهر هوشمند در این پروژه در نظر گرفته شده است تا موفقیت‌ها، نوآوری‌ها و تأثیرات فعالیت‌ها برای آن‌ها به صورت پررنگی نمایان گردد. پروژه SliceNet، برای صنایع عمودی با نیازمندی‌های سرویس متفاوت، راه‌حلی مبتکرانه ارائه می‌دهند و صنایع عمودی را فعال می‌کند تا موارد کاربردی خود را به صورت "اتصال و اجرا"، در برش‌های شبکه نسل پنجم که مقیاس‌پذیر و مقرون به صرفه هستند به طور سفارشی کنترل نمایند. همچنین اپراتورهای شبکه نسل پنجم، بتوانند از قالب کاری ایمن، قابل اجرا، قابل پیکربندی، قابل حساسرسی و شکست (FCAPS) استفاده کنند تا بتوانند هماهنگ‌سازی، کنترل و مدیریت انتها به انتهای برش‌ها را برای عملیات امن، سازگار پذیر با قابلیت اطمینان برای دامنه‌های چند اپراتوری ایجاد نمایند.

علاوه بر پروژه‌های مذکور برخی از آزمون‌های فیلد و پایلوت نیز برای بررسی نحوه عملکرد شبکه نسل پنجم در بخش انرژی انجام گرفته است. به عنوان مثال پروژه مشترک شرکت هواوی و China Telecom با شرکت برق چینی State GRID را می‌توان ذکر کرد. در این پروژه، به طور مشترک اولین آزمون استاندارد شبکه نسل پنجم در حالت SA را برای آزمون برش شبکه در صنعت برق انجام می‌دهند و از مزیت تأخیر در مقیاس چند میلی‌ثانیه در شبکه نسل پنجم و اطمینان از قرارداد سطح سرویس (SLA) در برش خاصی از شبکه بهره می‌برد. در این پروژه همچنین، ارتباطات بین شبکه قدرت و کاربران بهبود می‌یابد و مدیریت یکپارچه واحدهای توان کوچک در ترمینال‌های شبکه قدرت که در اوج بار هست ایجاد می‌شود. حداقل سازی اثرات اجتماعی-اقتصادی قطع شدن برق از مزایای این پروژه هست. بعد از اتمام فاز اول این پروژه، فعالیت این پروژه به کل صنعت برق بسط داده می‌شود [۱۳].

End-to-End Cognitive Network Slicing and Slice Management Framework in Virtualised Multi-Domain, Multi-Tenant 5G Networks

² Quality of Experience

³ Cognitive network management

همچنین مراکز تولید پراکنده، گروهی دیگر از زیرسیستم های شبکه هوشمند هستند که نیازمند مخابرات بی سیم هستند و پیش بینی می شود که توسط برش های سرویس در شبکه نسل پنجم قابل اجرا باشند. انواع منابع انرژی از جمله تولیدات پراکنده خورشیدی و بادی، ایستگاه های شارژ خودروهای برقی، ادوات ذخیره ساز و شبکه های کوچک مانند ریزشبکه ها در سطوح توزیع و مصرف شبکه برق در حال گسترش هستند. اتصال این منابع به شبکه برق و عملکرد امن و مطمئن آنها نیازمند یک سیستم پایش و کنترل توزیع شده با تأخیر کم و قابل اتصال به تعداد زیادی از تولیدکنندگان است.

۷-۱۱- کاربرد 5G در شبکه هوشمند با تمرکز بر رایانش لبه سیار (MEC)

با به کارگیری دستگاه‌ها و گره‌های هوشمند در محیط شبکه‌های هوشمند، انتقال و اشتراک‌گذاری اطلاعات بر روی زیرساخت مخابراتی بیش‌ازپیش شد. تحلیل و پردازش این اطلاعات که توسط گره‌های شبکه‌های هوشمند تولید می‌شوند یکی از چالش‌برانگیزترین وظایفی است که باید انجام شود. این چالش بر اساس حجم و تأخیر انتقال و بزرگی شبکه متغیر است. گاهی ممکن است شبکه مخابراتی به دلیل حجم بار شبکه قادر به انتقال اطلاعات نباشد که منجر به تأخیر و کاهش عملکرد شبکه‌های هوشمند می‌گردد. همان‌طور که در فصل ششم عنوان شد فناوری رایانش لبه سیار قادر به کاهش بار از روی هسته شبکه و همچنین کاهش تأخیر در پردازش اطلاعات مربوط به سرویس‌هاست که نیاز به تأخیر پایین دارند. شرکت‌های مشاوره‌ای تخمین زده‌اند تا حدود ۲۰ درصد موارد کاربرد رایانش لبه مربوط به بخش انرژی شود؛ کاربردهای این فناوری در بخش انرژی عبارت‌اند از:

- پایش کردن وضعیت و شرایط محیط‌های کار به‌صورت زمان حقیقی
 - بررسی وضعیت ابزار و تجهیزات برای بهبود عملکرد
 - استفاده از ابزار اندازه‌گیری هوشمند برای پایش وضعیت شبکه به‌صورت زمان حقیقی
- شبکه هوشمند یکی از حوزه‌های کاربرد اینترنت اشیا در صنعت شناخته می‌شود، که در آن تولید و انتقال و مصرف الکتریسیته از لحاظ کارآمدی و امنیت و اطمینان بهینه می‌شود. شبکه‌های هوشمند کنونی با چالش‌های گوناگونی چون اختلالات پیش‌بینی‌نشده، قیمت‌گذاری ناکارآمد مواجه‌اند. شبکه‌های هوشمند باهدف بهبود کارایی به‌وسیله مدیریت درخواست هوشمند، پیش‌بینی درخواست و پایش دائمی شبکه توسعه داده شده‌اند و برای این منظور از مفاهیمی مثل قیمت‌گذاری پویا^۱ و ابزارهای اندازه‌گیری هوشمند^۲ و تولید انرژی توزیع شده بهره می‌برند.

با به کارگیری رایانش لبه سیار در شبکه هوشمند برخی امور مدیریتی و پردازش اطلاعات جمع‌آوری شده از ابزارهای اندازه‌گیری هوشمند به‌صورت توزیع شده و در لبه شبکه انجام می‌گیرند. انتقال و توزیع الکتریسیته به‌صورت ناکارآمد چالش اصلی در شبکه‌های هوشمند است. برای پاسخگویی به این چالش و مدیریت کارآمد شبکه هوشمند، نظارت و کنترل بر شبکه اهمیت دوچندانی پیدا کرده است. با این حال روش‌های مرسوم نظارت و اندازه‌گیری قابلیت پاسخ به چالش ارائه شده را ندارند. در شبکه‌های هوشمند نظارت خودکار مانند بازرسی مبتنی بر پهباد و کنترل مبتنی بر اتوماسیون و روش‌های اندازه‌گیری پیشرفته^۳ به‌وسیله فن‌های پیشرفته موردتوجه قرار گرفته است. این فن‌ها غالباً از پلتفرم‌های محاسبات ابری و الگوریتم‌های هوش مصنوعی بهره

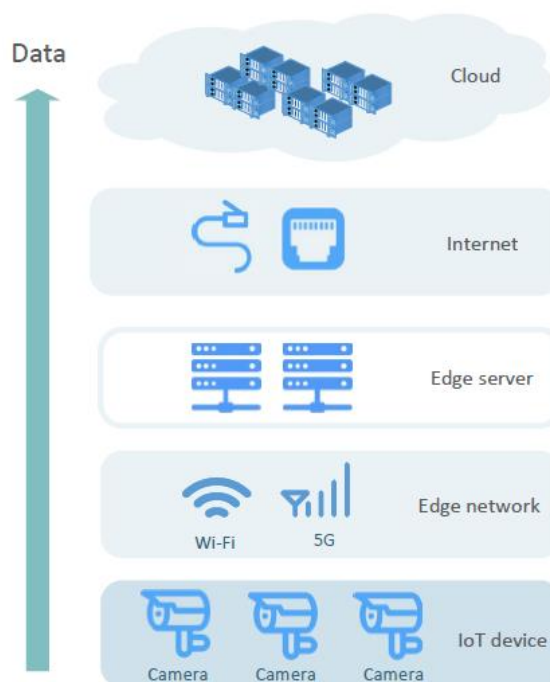
¹ Dynamic pricing

² Smart meters

³ Advanced metering infrastructure

می‌برند، با این حال به دلیل چالش‌های محاسبات ابری که عبارت است از نیاز به پهنای باند انتقال بالا و تأخیر قابل توجه، اخیراً روش‌های محاسبات لبه و محاسبات مه گونه مورد توجه بخش صنعتی و دانشگاهی قرار گرفته است.

با انتقال برخی کاربردها و سرویس‌ها از واحد متمرکز پردازش ابری به سرورهای لبه در مجاورت کاربر می‌توان طرح محاسبات ابری را به طرح تعاملی محاسبات لبه و محاسبات ابری تبدیل کرد که چالش‌های طرح قبلی را برطرف می‌کند.



شکل ۱۳-۱۱ ساختار محاسبات لبه برای نظارت در شبکه هوشمند [۱۴]

روش‌های نظارت بر شبکه‌های سنتی سابقاً نیاز به مأموران متخصصی برای بررسی و تحقیق خطوط انتقال شبکه داشت. در شبکه‌های هوشمند نوین واحدهای نظارت و پایش به صورت دستگاه‌های اینترنت اشیا در شبکه به کار گرفته می‌شوند. سپس واحد پردازشی به صورت متمرکز یا لبه‌ای اطلاعات را پردازش می‌کنند. در لایه اینترنت اشیا، دستگاه‌های نظارتی مانند دوربین یا پهپاد وجود دارند. این دستگاه‌ها علاوه بر تصویربرداری باید قابلیت مخابره اطلاعات به شکل مطلوب را داشته باشند. در لایه لبه شبکه و لایه سرورهای لبه، سرورهای محاسبات لبه سیار وجود دارند. هر سرور قابلیت پردازش چندین دستگاه در لایه اینترنت اشیا را بر عهده دارند. اتصال دستگاه‌ها با سرورها و سرورهای لبه با واحد پردازش مرکزی ابری عمده‌تاً از طریق شبکه نسل پنجم برقرار می‌شود و دلیل آن، مزایای به کارگیری طرح محاسبات توأم ابری و لبه‌ای در شبکه مخابرات سلولی نسبت به فناوری‌های دیگر مثل ZigBee و بلوتوث است. در لایه ابری نیز کنترل‌کننده اصلی شبکه و سیستم پایش و نظارت شبکه وجود دارد [۳].

به‌جز سیستم نظارت و پایش شبکه هوشمند، سیستم‌های اندازه‌گیری شبکه هوشمند و کنتور هوشمند نیز می‌توانند از مزایای طرح محاسبات لبه‌سیار در شبکه استفاده کنند. آگاهی از وضعیت شبکه به‌طور زمان حقیقی همراه با چگالی و تعداد بالای دستگاه‌های اندازه‌گیری و تطبیق انرژی و نیاز مصرف کاربران در محدوده تحت پوشش خاص منجر به افزایش توجهات برای استفاده از محاسبات لبه‌سیار برای این کاربرد شده است. به‌عنوان کاربرد دیگر محاسبات لبه‌سیار می‌توان سیستم اتوماسیون توزیع را در نظر گرفت که از وظایف این سیستم می‌توان به تشخیص خطا در حداقل زمان و ایزوله کردن بخش معیوب از سیستم کلی اشاره کرد. سیستم محاسبات لبه‌سیار می‌تواند در مواردی با پردازش با حداقل تأخیر این ویژگی سیستم اتوماسیون توزیع را پیاده‌سازی کند. البته طبق توضیحاتی که در فصل ششم گزارش ارائه شد مسئله امنیت سیستم محاسبات لبه‌سیار و مسئولیت سرویس‌دهی این سیستم باید به‌طور دقیق پاسخ داده شود [۱۴].

شبکه تحمل‌پذیر تأخیر نقلیه‌ای^۱ (VDTN) یکی دیگر از روش‌های به‌کارگیری رایانش لبه‌سیار در شبکه‌های هوشمند است که از مکانیسم حفظ و حمل و انتقال استفاده می‌کند و وسیله نقلیه در واقع نقش رله را برای انتقال پیام بین منبع و مقصد ایفا می‌کند و می‌تواند با به‌کارگیری رایانش لبه‌سیار تأخیر را در زمان بار کامل روی شبکه کاهش دهد. نتایج دانشگاهی نشان می‌دهد با به‌کارگیری این فناوری، زمان پاسخگویی شبکه تا ۲۰ درصد کاهش می‌یابد و همچنین گذردهی شبکه نیز تا ۱۵ درصد افزایش می‌یابد [۱۵].

در زمینه پیاده‌سازی فناوری رایانش لبه‌سیار در صنعت برق و بخصوص شبکه‌های هوشمند تحقیقات و پژوهش‌ها در بحث دانشگاهی معطوف است و پایلوت و آزمایش‌های محدودی در مقیاس صنعتی توسط سازندگان بزرگ انجام شده است. لکن با توجه به جدید بودن این فناوری نمونه‌های کاربرد آن در صنعت برق کمیاب است؛ از جمله آزمایش‌های انجام‌شده روی این فناوری در صنعت برق می‌توان به پروژه NRG-5 اشاره کرد که در آن از فناوری ابر لبه‌موبایل توسعه‌یافته (xMEC) در یک گره ایستگاه پایه استفاده شده است و معماری این فناوری مطابق معماری مرجع شبکه نسل پنجم در 5G-PPP هست.

۸-۱۱- کاربرد 5G در شبکه هوشمند با تمرکز بر فناوری‌های مخابراتی شبکه دسترسی

فناوری‌های مخابراتی پیشنهادشده برای ارتباطات شبکه هوشمند در جدول ۲-۱۱ ارائه شده است. همچنین در این جدول مشخص شده است که اگر از برش شبکه نسل پنجم برای هر یک از آن‌ها استفاده شود با توجه به نیازمندی‌های کلیدی که در بخش‌های قبل احصاء شد می‌توان یکی از فناوری‌های شبکه دسترسی رادیویی (RAN) را پیشنهاد داد. همان‌طور که در فصل سوم این گزارش اشاره شد فناوری‌های کاندید شده برای شبکه دسترسی رادیویی 5G با دو رویکرد استفاده شده است، فناوری‌ها که باعث بهبود بازده طیفی و بهره‌وری انرژی

¹ Vehicular delay tolerant network

می‌شوند که شامل فناوری‌های چندورودی-چندخروجی حجیم، ارتباطات دوطرفه، سیگنالینگ، مدولاسیون و کدینگ‌های نوین، استحصال انرژی و ... می‌باشد و دسته دوم فناوری‌ها که طیف فرکانسی جدید ارائه می‌کنند و شامل باند فرکانسی موج میلی‌متری، باند فرکانسی بدون مجوز، اشتراک‌گذاری طیف فرکانسی، بارگذاری داده و ... می‌باشند.

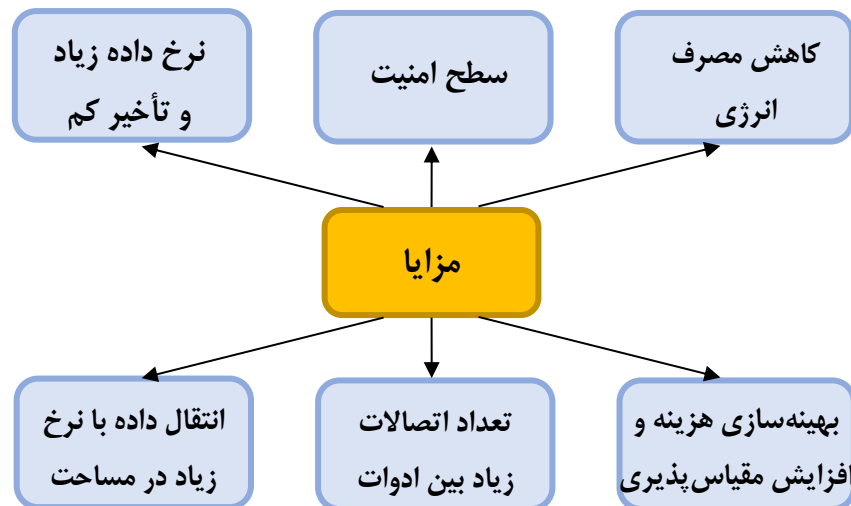
جدول ۲-۱۱ فناوری‌های مخابراتی پیشنهادشده شبکه دسترسی رادیویی برای ارتباطات شبکه هوشمند

فناوری شبکه دسترسی رادیویی	فناوری پیشنهادی	شبکه ارتباطی
OWC (FSO)	فیبر نوری	ستون فقرات / ارتباط پست های اولیه
MIMO حجیم /NOMA/FD/OWC/ طراحی لایه فیزیکی منعطف /مدیریت منابع رادیویی /Energy Harvesting/ باند آزاد	فیبر نوری	بک هال
	وای فای p2p (مقیاس وسیع)	
	وایمکس	
	مخابرات سلولی	
Massive MIMO/ OWC/ طراحی لایه فیزیکی منعطف/ Energy Harvesting	فیبر نوری	شبکه داخلی ایستگاه‌های ثانویه
	کابل مسی	
	مش RF	
	مش وای فای	
MIMO حجیم/ Full-duplex radio/ (NOMA)/ طراحی لایه فیزیکی منعطف/ /مدیریت منابع رادیویی کاهش تداخل و Caching باند آزاد/ OWC	مش RF	شبکه دسترسی
	مش وای فای	
	رادیوی P2P (مقیاس وسیع)	
	مخابرات سلولی عمومی	
	دسترسی اینترنت ثابت عمومی	
	PLC باند باریک یا باند پهن	

۹-۱۱- مزایا و چالش‌های شبکه 5G برای استفاده در شبکه هوشمند

شبکه سلولی نسل پنجم می‌تواند با ارائه ویژگی‌های پیشرفته ارتباطی، به هوشمند سازی شبکه برق و تحقق زیرسیستم‌های هوشمند آن کمک کند. ویژگی‌های شبکه مخابراتی نسل پنجم که آن را برای کاربردهای شبکه هوشمند قدرتمند می‌سازد عبارت‌اند از: پهنای باند زیاد، تأخیر بسیار کم در انتقال داده و قابلیت اتصال تعداد بسیار زیاد ادوات [۵].

به‌طور کلی مزایای شبکه مخابراتی نسل پنجم برای استفاده در شبکه هوشمند برق را می‌توان در شکل ۱۴-۱۱ خلاصه کرد.



شکل ۱۴-۱۱ مزایای شبکه نسل پنجم برای شبکه هوشمند برق [۵]

اگرچه شبکه نسل پنجم برای ارتباطات و هوشمندسازی شبکه برق آینده قابلیت‌ها و مزایای زیادی را ارائه می‌دهد، اما در عمل باید با ساختارها و فناوری‌های موجود تطابق پیدا کرده و تعامل پذیر باشد. کاربرد شبکه نسل پنجم در شبکه هوشمند دارای مشکلات و چالش‌هایی است. به عنوان نمونه اتصال ادوات بسیار زیاد، مصرف انرژی شبکه را بالا می‌برد. لذا کاهش تلفات و بهینه‌سازی مصرف انرژی شبکه ارتباطی باید مورد توجه قرار گیرد. چالش دیگر این است که احراز هویت ادوات برای اتصال تعداد بسیار زیاد آن‌ها، تأخیر سیستم را زیاد می‌کند. این امر می‌تواند ادعای شبکه نسل پنجم برای ارتباطات با تأخیر بسیار کم را با شکست مواجه کند. این چالش به علت بده‌بستان بین تأخیر و امنیت سیستم (برای احراز هویت) رخ می‌دهد. همچنین، یک شبکه مخابراتی باید برای پاسخگویی به اتصال ادوات بیشتر در آینده، مقیاس پذیر بوده و ظرفیت‌های مناسب را تخصیص دهد.

۱۰-۱۱- جمع‌بندی

امروزه، تولید برق علاوه بر نیروگاه‌های حرارتی و آبی، از طریق منابع انرژی پراکنده و تجدیدپذیر نیز انجام می‌شود. همچنین الگوهای مصرف انرژی در سمت مصرف‌کننده نهایی تغییر کرده است و مصرف‌کننده‌ها به‌نوعی تولیدکننده نیز خواهند بود مانند وسایل نقلیه الکتریکی که توأم مصرف‌کننده و ذخیره‌ساز انرژی هستند. برای مدیریت این تغییر رویکردهای شبکه برق و برای حل چالش‌های آن، "شبکه هوشمند" پیشنهاد شده است که مسلماً ضروری‌ترین بخش آن داده‌ها و ارتباطات به‌منظور کنترل و هدایت شبکه هوشمند جدید می‌باشد.

انتظار می‌رود نسل پنجم (5G) تلفن همراه، حوزه انرژی را تحت تأثیر قرار دهد و به‌عنوان شتاب‌دهنده‌ای برای هوشمندسازی شبکه قدرت عمل نماید؛ شبکه نسل پنجم به‌واسطه‌ی عملکرد و انعطاف‌پذیری نقش بسیار مهمی را در شبکه‌های دسترسی و برای اتصال اجزای فشار ضعیف ایفا خواهد کرد. همچنین نقش آن در شبکه بک‌هال و برای اتصال اجزای فشار متوسط پراهمیت خواهد بود. در شبکه ستون فقراتی و برای اتصال اجزای فشارقوی، شبکه نسل پنجم در انتهای فاز دوم خود ممکن است بتواند نقش ایفا کند؛ به دلیل اینکه نیازمندی‌های ارتباطات از قبیل قابلیت اطمینان و ارتباط زمان-واقعی در این بخش بسیار سخت‌گیرانه است. در این فصل موارد کاربردی شبکه هوشمند برای استفاده از زیرساخت شبکه نسل پنجم معرفی شده است. همچنین کاربردهای فناوری‌های نوین نسل پنجم در شبکه هوشمند به‌طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفته است. در انتها مزایا و چالش‌های استفاده از زیرساخت ارتباطی نسل پنجم برای شبکه هوشمند ارائه گردیده است.

۱۱-۱۱-مراجع

- [۱] گزارش مرحله اول پروژه پژوهشی "بررسی و استخراج چالش‌های پژوهشی در حوزه اطلاعات و ارتباطات برای کاربردهای IoT در صنعت برق"، پژوهشگاه نیرو، ۱۳۹۵، کد گزارش PCMPN17/T1
- [2] IEEE Std 2030™, "IEEE Guide for Smart Grid Interoperability of Energy Technology and Information Technology Operation with the Electric Power System (EPS), End-Use Applications, and Loads", 2011.
- [3] "5G Network Slicing Enabling Smart Grid: Commercial Feasibility Analysis: Industry report", IHS Markit Technology, 2019
- [4] "5G and Energy", 5G infrastructure association, 2015.
- Available: https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2014/02/5G-PPP-White_Paper-on-Energy-Vertical-Sector.pdf
- [5] Lund, Henrik, Poul Alberg Østergaard, David Connolly, and Brian Vad Mathiesen., "Smart energy and smart energy systems", Energy137 (2017): 556-565.
- [6] "Use cases for the adoption of 5G telecommunication within the operations of electric utilities", EUTC, 2017.
- [7] S. Reka, T. Dragicevic, P.Siano, S.R.S. Prabakaran, "Future Generation 5G Wireless Networks for Smart Grid: A Comprehensive Review", Energies, vol. 12, no. 11, pp. 1-17, 2019.
- [8] PY. Kong, G.K. Karagiannidis, "Charging Schemes for Plug-In Hybrid Electric Vehicles in Smart Grid: A Survey," IEEE Access, vol. 4, pp. 6846-6875, 2016.
- [9] M. Boban, A. Kousaridas, K. Manolakis, J. Eichinger, W. Xu, "Use Cases, Requirements, and Design Considerations for 5G V2X", IEEE Vehicular Technology Magazine, 2017.
- [10] M. Cosovic, A. Tsitsimelis, D. Vukobratovic, J. Matamoros, C. A-Haro, "5G Mobile Cellular Networks: Enabling Distributed State Estimation for Smart Grids," IEEE Communications Magazine 55 (10), pp. 62-69, 2017.
- [11] L. Helen, et.al, "Smart Grid: a demanding use case for 5G technologies," in IEEE PerCom Workshops, 2018.
- [12] <https://cordis.europa.eu/project/id/762013/reporting>
- [13] <https://www.huawei.com/en/press-events/news/2019/4/huawei-sgcc-first-5g-sa-power-grid-slicing>
- [14] Boccadoro, Pietro. "Smart Grids empowerment with Edge Computing: An Overview." arXiv preprint arXiv:1809.10060 (2018).
- [15] Samie, Bauer, Henkel, "Edge Computing for Smart Grid: An Overview on Architectures and Solutions: Design Challenges and Paradigms"

فهرست مطالب فاز دوم با عنوان

"بررسی نقشه راه شبکه هوشمند با رویکرد بکارگیری 5G در شبکه هوشمند"

صفحه	عنوان
۱	مقدمه
۲	فصل ۱- بررسی اسناد، فعالیت‌ها و اقدامات مرتبط با ورود فناوری نسل پنجم موبایل به کشور
۲	۱-۱- مقدمه
۳	۱-۲- بررسی اسناد بالادستی
۳	۱-۲-۱- نقشه راه توسعه دولت الکترونیکی - خوشه دوازدهم فناوری اطلاعات و ارتباطات [۱]
۳	۱-۲-۲- برنامه ششم توسعه - وزارت ارتباطات [۲]
۴	۱-۲-۳- تحول دیجیتال
۵	۱-۳- بررسی اقدامات و برنامه توسعه در حوزه 5G به کشور
۵	۱-۳-۱- سازمان تنظیم مقررات رادیویی
۷	۱-۳-۲- پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات
۱۱	۱-۳-۳- اپراتور همراه اول
۱۲	۱-۳-۴- اپراتور ایرانسل
۱۳	۱-۴- اپراتور رایتل
۱۳	۱-۴-۱- جمع‌بندی
۱۵	۱-۵- مراجع فصل اول
۱۶	فصل ۲- بررسی نقشه راه ICT شبکه هوشمند در جهان
۱۶	۲-۱- مقدمه
۱۷	۲-۲- فعالیت‌های تحقیقاتی مرتبط در اسناد ITU [۱]
۱۸	۱-۲-۲- نقش فناوری اطلاعات و ارتباطات در دستیابی به اهداف SDG7
۲۱	۲-۳- مشارکت نهادها و سازمان‌ها
۲۲	۲-۴- فعالیت‌های تحقیقاتی مرتبط در موسسه استاندارد ارتباطات راه دور اروپا (ETSI) [۲،۳]
۲۲	۲-۴-۱- بررسی نقشه راه تحقیق، توسعه و نوآوری ENTSOE
۲۳	۲-۴-۲- بررسی گزارش دیجیتال‌سازی سیستم انرژی و مشارکت مشتری [۴]
۲۶	۲-۵- فعالیت‌های تحقیقاتی مرتبط در موسسه تحقیقات انرژی الکتریکی (EPRI) [۲،۵]
۳۰	۲-۶- موسسه اقتصاد انرژی کره (KEEI) [۷،۶،۲]
۳۰	۱-۶-۲- بررسی گزارش توسعه همگرایی فن‌آوری‌های اطلاعات و ارتباطات و تأثیر آن بر بخش انرژی [۶]

۳۴.....	۲-۷- فعالیت‌های تحقیقاتی مرتبط در کمیسیون اروپا [۸]
۳۴.....	۲-۷-۱- برنامه‌ریزی برای شبکه برق.....
۳۵.....	۲-۷-۲- مدیریت سمت تقاضا.....
۳۶.....	۳-۷-۲- مدیریت شبکه برق به صورت محلی.....
۳۷.....	۴-۷-۲- مدیریت شبکه‌های هیبریدی.....
۳۸.....	۵-۷-۲- مدیریت شبکه برق بر اساس مشخصه‌های عملکرد.....
۳۹.....	۶-۷-۲- قیمت‌گذاری و بازار انرژی.....
۴۰.....	۲-۸- جمع‌بندی.....
۴۴.....	۲-۹- مراجع فصل دوم.....
۴۵.....	فصل ۳- بررسی نقشه راه توسعه 5G در جهان
۴۵.....	۳-۱- مقدمه
۴۷.....	۳-۲- در سطح بین‌المللی
۴۸.....	۳-۲-۱- استانداردسازی طیف فرکانسی
۵۰.....	۳-۲-۲- تقاضای سرویس از طرف صنایع
	۳-۲-۳- توسعه ادوات ۵۱
۵۲.....	۳-۳- در سطح ملی
۵۳.....	۳-۳-۱- نقشه راه طیف فرکانسی (رگلاتوری)
۵۴.....	۳-۳-۲- تحول زیرساختی
۵۴.....	۳-۴- نقشه راه موردی توسعه شبکه موبایل نسل پنجم در سطح ملی
۵۵.....	۳-۴-۱- چین
۶۱.....	۳-۴-۲- آمریکا
۶۳.....	۳-۴-۳- کره جنوبی
۶۷.....	۳-۵- بررسی اقدامات اپراتورها برای ارائه سرویس
۶۸.....	۳-۶- جمع‌بندی
۶۹.....	۳-۷- مراجع فصل سوم
۷۱.....	فصل ۴- مطالعات تطبیقی به کارگیری 5G در شبکه هوشمند
۷۱.....	۴-۱- مقدمه
۷۲.....	۴-۲- بررسی پروژه‌های صنعتی-تحقیقاتی به کارگیری موبایل نسل پنجم در صنعت برق
۷۲.....	۴-۲-۱- پروژه NRG5 از مجموعه فعالیت‌های برنامه H2020 کمیسیون اروپا
۸۱.....	۴-۲-۲- پروژه SOGNO از مجموعه فعالیت‌های برنامه H2020 کمیسیون اروپا
۸۷.....	۴-۲-۳- پروژه SLICENET از مجموعه فعالیت‌های برنامه H2020 کمیسیون اروپا
۹۳.....	۴-۲-۴- پروژه VirtuWind از مجموعه فعالیت‌های برنامه H2020 کمیسیون اروپا

- ۹۴.....۵-۲-۴ پروژه WIVE از مجموعه فعالیت‌های تشکیلات 5GTNF
- ۹۶.....۶-۲-۴ پروژه 5G+Smart Grid
- ۱۰۰.....۴-۲-۷ پروژه‌های مرتبط از مجموعه فعالیت‌های سیگره
- ۱۰۱.....۴-۳-۳ بررسی فعالیت‌های انجام‌شده توسط وندورها
- ۱۰۱.....۴-۳-۱ مشارکت شرکت مخابراتی NOKIA با شرکت PGE
- ۱۰۲.....۴-۳-۲ مشارکت شرکت صنعتی ABB و شرکت مخابراتی ERICSSON
- ۱۰۳.....۳-۳-۴ مشارکت اپراتور O2 انگلستان با شرکت‌های برقی
- ۱۰۴.....۴-۳-۴ مشارکت شرکت انرژی Fortum فنلاند و شرکت مخابراتی Ericson
- ۱۰۴.....۴-۴ جمع‌بندی
- ۱۰۹.....۴-۵ مراجع فصل چهارم

فهرست شکل‌های فاز دوم

عنوان	صفحه
شکل ۲-۱ نسبت جمعیت با دسترسی به انرژی الکتریکی در نقاط شهری و روستایی [۱]	۱۸
شکل ۲-۲ معماری سه لایه	۲۴
شکل ۲-۳ رویکردهای فناوریانه و تأثیر بر صنایع [۶]	۳۲
شکل ۳-۱ دو مدل GSMA برای پیاده‌سازی موبایل نسل پنجم [۴]	۴۶
شکل ۳-۲ نقشه راه موبایل نسل پنجم [۱]	۴۷
شکل ۳-۳ طیف فرکانسی موبایل نسل پنجم در سطح بین المللی [۶]	۴۹
شکل ۳-۴ زمان‌بندی پیشرفت ویژگی‌های شبکه موبایل نسل پنجم [۴]	۵۱
شکل ۳-۵ مدل مشترک رشد شبکه مخابراتی [۸]	۵۲
شکل ۳-۶ زمان‌بندی و نحوه ورود کشورها در گسترش شبکه موبایل نسل پنجم [۹]	۵۴
شکل ۳-۷ زمان‌بندی گسترش شبکه موبایل نسل پنجم در کشور چین [۱۳]	۵۵
شکل ۳-۸ مراحل اجرای برنامه 5G+ در شرکت China Mobile [۱۲]	۵۶
شکل ۳-۹ معماری مبتنی بر MEC برای انتقال داده [۳]	۶۱
شکل ۳-۱۰ جدول زمانی گسترش شبکه موبایل نسل پنجم توسط اپراتورها در کشور آمریکا [۱۶]	۶۱
شکل ۳-۱۱ اجرای بخشهای شبکه موبایل نسل پنجم [۱۷]	۶۲
شکل ۳-۱۲ طیف فرکانسی تخصیص یافته به سه اپراتور کره جنوبی [۱۹]	۶۴
شکل ۳-۱۳ معماری شرکت SK Telecom برای شبکه موبایل نسل پنجم [۲۱]	۶۴
شکل ۳-۱۴ دو سناریو گسترش شبکه موبایل نسل پنجم توسط شرکت KT [۲۲]	۶۶
شکل ۳-۱۵ نقشه مهاجرت به شبکه موبایل نسل پنجم در شرکت KT [۲۲]	۶۷
شکل ۴-۱ معماری 5NRG [۴]	۷۴
شکل ۴-۲ معماری 5G و طرح NRG5 [۴]	۷۵
شکل ۴-۳ طرح بازار انرژی و عملکرد NRG5 [۴]	۷۷
شکل ۴-۴ به کارگیری PMaaS در پروژه NRG5 [۴]	۸۰
شکل ۴-۵ معماری طرح SOGNO [۹]	۸۳
شکل ۴-۶ معماری شبکه قدرت در نظر گرفته شده در پروژه SLICENET [۱۱]	۸۹
شکل ۴-۷ شبکه نسل پنجم در مورد کاربردی شبکه هوشمند با قابلیت خود بهبودی [۱۱]	۹۰
شکل ۴-۸ بلوک دیاگرام پروژه VirtuWind [۱۳]	۹۴

فهرست جدول‌های فاز دوم

عنوان	صفحه
جدول ۲-۱ نقش فناوری اطلاعات و ارتباطات در زنجیره صنعت برق [۱]	۲۰
جدول ۲-۲ اهداف استراتژیک و نوع مشارکت بین نهادهای مرتبط	۲۱
جدول ۲-۳ نگاشت فعالیت‌ها و اهداف عملیاتی	۲۲
جدول ۲-۴ مأموریت‌ها، محرک‌ها و حالت‌های آتی	۲۸
جدول ۲-۵ وضعیت آینده مشخص شده در هر کدام از زیرشاخه‌های برنامه ۱۶۱	۲۹
جدول ۲-۶ نیازمندی‌های اصلی برای برنامه‌ریزی شبکه برق	۳۵
جدول ۲-۷ نیازمندی‌های اصلی مدیریت سمت تقاضا	۳۵
جدول ۲-۸ نیازمندی‌های اصلی مدیریت شبکه برق به صورت محلی	۳۷
جدول ۲-۹ نیازمندی‌های اصلی مدیریت بهینه انرژی	۳۸
جدول ۲-۱۰ نیازمندی‌های اصلی مدیریت شبکه برق بر اساس مشخصه‌های عملکرد	۳۹
جدول ۲-۱۱ نیازمندی‌های اصلی قیمت‌گذاری و بازار انرژی	۴۰
جدول ۲-۱۲ جمع بندی بررسی های انجام شده در مورد کاربرد و نقش فاوا در شبکه هوشمند	۴۱
جدول ۳-۱ باندهای فرکانسی اصلی برای استاندارد موبایل نسل پنجم [۵]	۴۹
جدول ۳-۲ ده مورد از انتظارات اصلی در زمان اجرای شبکه موبایل نسل پنجم [۴]	۵۰
جدول ۴-۱ دسته‌بندی موارد مصرف به تفکیک سرویس در پروژه NRG5	۷۶
جدول ۴-۲ مشخصات ترافیک شبکه نسل پنجم برای کاربرد AMI [۴]	۷۸
جدول ۴-۳ مشخصات ترافیک شبکه نسل پنجم برای کاربرد PM [۴]	۷۹
جدول ۴-۴ نیازمندی‌های مخابراتی سناریو مشارکت در محافظت [۱۱]	۹۱
جدول ۴-۵ نیازمندی‌های مخابراتی سناریو پیکربندی خودکار [۱۱]	۹۲
جدول ۴-۶ نیازمندی‌های مخابراتی سناریو محافظت تفاضلی [۱۱]	۹۲
جدول ۴-۷ پلتفرم‌های ایجاد شده در برش شبکه [۱۷]	۹۸
جدول ۴-۸ خلاصه‌ای از پروژه‌های به‌کارگیری 5G در صنعت برق	۱۰۶

مقدمه فاز دوم

به کارگیری شبکه هوشمند منجر به تغییرات اساسی در شبکه‌های سنتی توزیع برق شده است. با افزایش نفوذ و به کارگیری منابع انرژی توزیع‌شده، نیاز به تخمین وضعیت و طرح‌های حفاظت و کنترل اهمیت مضاعفی پیدا کرده است، بنابراین هوشمند سازی شبکه قدرت با به کارگیری حس‌گرها و کنترل‌کننده‌ها مورد توجه قرار گرفته است.

ساختار پویای اجرایی و مشخصات مورد نیاز این شبکه‌ها نیاز به مخابرات پیشرفته و مطمئن و امن دارند. به طور دقیق‌تر پشتیبانی از مخابرات با تأخیر حداقل و مطمئن برای سرویس‌های شبکه هوشمند حیاتی است. همچنین سرویس‌های کنترلی و حفاظتی به عنوان عملیات مأموریت بحران بدون به کارگیری فناوری‌های نوین مخابراتی امکان‌پذیر نیستند. عملیات مختلف در شبکه‌های هوشمند، نیازمندی‌های مخابراتی متفاوتی در نرخ داده و تأخیر و پهنای باند و امنیت دارند به عنوان مثال محافظت از راه دور در شبکه هوشمند نیاز به تأخیری کمتر از 5-10 میلی‌ثانیه دارند؛ برای برآورده کردن این نیازها، شبکه‌های هوشمند باید از مزایای شبکه‌های نسل پنجم سلولی 5G بهره ببرند. مثال دیگر، بازارهای خرده‌فروشی برق هست؛ شبکه 5G مدل‌های تجاری جدیدی را به ارائه‌دهندگان انرژی ارائه می‌دهد و نحوه برقراری ارتباط این شرکت‌ها با سیستم‌های شبکه را بهبود بخشیده است. اپراتورها و شرکت‌های مخابراتی بزرگی همچون China Unicom، China Telecom، ZTE، Nokia، Migu، China Mobile، Huawei، Ericsson، Datang Mobile، Haier، Vodafone، O2، ... به همراه سازندگان تجهیزات مخابراتی و سایر ارائه‌دهندگان خدمات مانند Cisco، Qualcomm، Intel، ... و شرکت‌های بزرگ صنعتی سازنده تجهیزات انرژی مانند GE، ABB، Siemens، ... در حال شکل دادن این اکوسیستم در صنعت برق و شبکه هوشمند جدید هستند.

در این گزارش به بررسی مطالعات تطبیقی موبایل نسل پنجم در صنعت برق، نقشه راه شبکه هوشمند با رویکرد فناوری اطلاعات و ارتباطات، نقشه راه توسعه‌ای موبایل نسل پنجم در جهان و برنامه‌های ورود این فناوری به کشور پرداخته خواهد شد.

فصل اول به بررسی اسناد، فعالیت‌ها و اقدامات مرتبط با ورود فناوری نسل پنجم موبایل به کشور اختصاص یافته است؛ در فصل دوم، نقشه راه ICT شبکه هوشمند بررسی شده است؛ در فصل سوم، نقشه راه توسعه 5G در جهان مورد مطالعه قرار گرفته و در آخر در فصل چهارم، مطالعات تطبیقی به کارگیری این فناوری در شبکه هوشمند بررسی شده است.

فصل ۱ – بررسی اسناد، فعالیت‌ها و اقدامات مرتبط با ورود فناوری نسل پنجم موبایل به کشور

۱-۱- مقدمه

انجام هرگونه برنامه‌ریزی و فعالیتی در حوزه استفاده از فناوری نسل پنجم در صنعت برق یا شبکه هوشمند، بدون اطلاع از برنامه‌ها و اقدامات انجام‌شده برای ورود فناوری موبایل نسل پنجم به کشور امکان‌پذیر نمی‌باشد. ازاین‌رو بررسی فعالیت‌ها و اقدامات انجام‌شده و آگاهی از برنامه توسعه این فناوری در صنعت مخابرات کشور در این فصل موردتوجه قرار داده شده است.

برای اطلاع یافتن از برنامه‌ها و وضعیت توسعه 5G در کشور، فعالیت‌های مرتبط نهادهای حاکمیتی و تأثیرگذار که در سیاست‌گذاری، تنظیم اسناد بالادستی و قوانین رگولاتوری و توسعه‌ای نقش ایفا می‌کنند بررسی شده است. اسنادی که تأکید بر گسترش زیرساخت ارتباطی مشترکین و یا ارتباطات موبایل داشته‌اند و یا اینکه 5G در آن کاندیدای فناوری تحول دیجیتال می‌باشد از میان اسناد متعددی که در حوزه فاوا در کشور موجود است مورد نظر بوده است. به عنوان نمونه، در نقشه جامع علمی کشور مصوب ۸۹/۱۰/۱۴، فناوری‌های فاوا به عنوان اولویت الف در اولویت‌های علم و فناوری کشور قرار گرفته است و در آن اشاره مستقیمی به موضوع زیرساخت ارتباطی و موبایل نشده است یا اینکه نظام جامع فناوری اطلاعات کشور مصوب ۸۷/۲/۸، با چشم‌انداز "تصور آینده مطلوب فناوری اطلاعات در کشور با توجه به آرمان‌ها، آرزوها و نیازهای جامعه هم‌جهت با سند چشم‌انداز بیست ساله کشور" تعیین شده است و در آن به موضوع توسعه موبایل اشاره نشده است. از میان اسناد بررسی شده، نقشه راه توسعه دولت الکترونیک، برنامه ششم توسعه بخش وزارت ارتباطات، سند تحول دیجیتال به موضوع توسعه ارتباطات مشترکین و توسعه شبکه موبایل کشور پرداخته‌اند که نتایج بررسی آن در بخش ۱-۲ ارائه شده است.

همچنین منابع اینترنتی و اخبار موجود در کشور در رابطه با اقدامات جاری، برنامه توسعه، زمان‌بندی ورود فناوری 5G بررسی شده که در بخش ۱-۳ ارائه شده است؛ با توجه به محدود بودن اسناد مرتبط در منابع اینترنتی و آنلاین، جلساتی با سازمان‌های مرتبط و اپراتورها هماهنگ شد و اطلاعات جمع‌آوری شده در گزارش ارائه شده است.

۱-۲- بررسی اسناد بالادستی

۱-۲-۱- نقشه راه توسعه دولت الکترونیکی – خوشه دوازدهم فناوری اطلاعات و ارتباطات [۱]

این نقشه راه با مشارکت معاونت توسعه مدیریت و سرمایه انسانی ریاست جمهوری و سازمان فناوری اطلاعات ایران که زیرمجموعه وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات هست تهیه شده و در سال ۱۳۹۳ به کلیه سازمان‌های مرتبط ابلاغ شده است. در این نقشه راه، آیین‌نامه توسعه خدمات الکترونیکی دستگاه‌های اجرایی که مصوب شورای عالی اداری می‌باشد و ضوابط فنی اجرایی توسعه دولت الکترونیک که مصوب شورای عالی فناوری اطلاعات است ارائه شده در این سند برای ایجاد هماهنگی بیشتر بین دستگاه‌های متولی خدمات، دسته‌بندی خدمات مرتبط در ۱۴ دسته مختلف انجام شده است. خوشه ۱۲، ارتباطات و فناوری اطلاعات می‌باشد که وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات متولی آن می‌باشد. برنامه‌ها و اقدامات اجرایی تعیین شده در این سند برای این خوشه به شرح زیر می‌باشد:

- ایجاد و توسعه مرکز ملی تبادلات الکترونیکی اطلاعات پایه و بین دستگاهی
 - ایجاد مرکز تبادل اطلاعات تخصصی خدمات دستگاه‌های زیرمجموعه خوشه‌ای
 - ایجاد سامانه متمرکز ارزیابی خدمات الکترونیکی و پورتال دستگاه‌ها
 - ایجاد زیرساخت دسترسی پرسرعت به اینترنت با حداقل سرعت ۲ مگا بیت بر ثانیه برای خانوارها و ۴ مگابیت بر ثانیه برای کسب و کارها
 - تدوین و اجرای نظام پایش شاخص‌های توسعه ای فاوا در ابعاد ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی
- جدای از لیست اقدامات اشاره شده در این سند پرواضح است که چنین برنامه‌هایی نقش تسهیل‌گری برای ارائه خدمات صنعت برق و انرژی به مشترکین خواهد داشت.

۱-۲-۲- برنامه ششم توسعه – وزارت ارتباطات [۲]

قانون برنامه پنج‌ساله ششم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران در بازه زمانی ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰ توسط دولت پیشنهاد و در سال ۱۳۹۶ به تصویب مجلس رسیده است. بخش ۱۳ این قانون به ارتباطات و فناوری اطلاعات تخصیص داده شده است. ماده ۶۷ تا ۶۹ وظایف وزارت ارتباطات و اطلاعات تبیین شده است. پیرو این قانون، کمیته تخصصی تدوین برنامه ششم شبکه‌های ارتباطات و فناوری اطلاعات در مردادماه سال ۱۳۹۴ تشکیل شده است و با تعیین اهداف کلی، راهبردهای تحقق، اهداف کمی، سیاست‌های اجرایی و اولویت برنامه‌های بخش/ فرابخش را مشخص کرده است؛ برخی از این موارد در ادامه ارائه شده است:

- رفع انحصار از منابع محدود دسترسی فیبر و داکت‌ها و سایر منابع در جهت رفع موانع توسعه ارائه خدمات توسط اپراتورها
- استفاده بهینه از طیف فرکانسی
- اشتراک‌گذاری زیرساخت فیزیکی از جمله دکل، فضا
- توسعه شبکه فیبر نوری
- توسعه شبکه انتقال
- توسعه باند پهن سیار
- ...

۱-۲-۳ تحول دیجیتال

پروژه «تدوین سند ملی تحول دیجیتال و نقشه راه اجرای آن در سطح ملی» با هدف ایجاد درک مناسب و مشترک در ارکان سیاست‌گذاری و اجرایی کشور از فناوری‌های تحول دیجیتال، شناسایی فرصت‌ها، چالش‌ها، قابلیت‌های موجود و مشخص نمودن زمینه‌های کاربردی این فناوری‌ها در صنایع و بخش‌های مختلف اقتصادی در دی‌ماه سال ۱۳۹۷ تعریف شده است تا با سیاست‌گذاری مناسب در فناوری‌های تحول دیجیتال استراتژیک، جهت‌گیری و اقدامات لازم در زمینه توسعه و کاربرد هر یک از فناوری‌های این حوزه تبیین گردد.

کارفرمای پروژه پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات و مجری آن دانشگاه تهران می‌باشد که برای اجرای بخش‌های مختلف پروژه از دانش و تخصص موجود در افراد شاغل در دانشکده‌ها و مراکز مرتبط در دانشگاه و نیز کارشناسان و صاحب‌نظران خارج از دانشگاه بهره گرفته می‌شود. فعالیت‌های اصلی پروژه طی چهار فاز اصلی مشتمل بر «شناسایی فناوری‌های تحول دیجیتال و وضعیت موجود تحول دیجیتال کشور»، «ارزیابی و انتخاب فناوری‌های تحول دیجیتال»، «بررسی آثار فناوری‌های منتخب تحول دیجیتال و تعیین جهت‌گیری و راهبردهای تحول دیجیتال» و «ارائه نقشه راه تحول دیجیتال کشور» اجرا می‌شود [۳].

به گزارش مرکز روابط عمومی و اطلاع‌رسانی وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات، در تیرماه سال ۱۳۹۷، وزیر ارتباطات و فناوری اطلاعات و وزیر نیرو سند اقدام مشترک دو وزارتخانه را امضا کردند. بر اساس این سند که برای توسعه کاربردهای فناوری‌های نوین ارتباطات و فناوری اطلاعات در صنعت آب و برق تهیه و تدوین شده، ایجاد ۱۰۰ هزار فرصت شغلی در بستر ICT و در قالب ۲۰ هزار شرکت کسب‌وکار نوپا، هزار شرکت متوسط، یکصد شرکت بزرگ و پنج شرکت بین‌المللی پیش‌بینی شده است.

در این سند با مشخص شدن شاخص‌های رسیدن به اهداف در بخش‌های مختلف، اجرا، مدیریت و نظارت کلان آن بر عهده معاونت‌های تخصصی مربوط در دو وزارتخانه خواهد بود و مجریان توسط شرکت‌ها و سازمان‌های ذی‌ربط در دو وزارتخانه معرفی می‌شوند [۴].

موارد ذیل را می‌توان از دستاوردهای اجرای این سند ذکر کرد [۵].

- ایجاد فرصت‌های شغلی و افزایش سرمایه‌گذاری بخش غیردولتی در حوزه ارتباطات و فناوری اطلاعات
- صنعت آب و برق،
- بهبود شاخص‌های عملکرد صنعت آب و برق با به‌کارگیری فاوا،
- توسعه هوشمند سازی،
- افزایش ارائه خدمات الکترونیکی در حوزه آب و برق،
- کاهش میزان مصرف آب و برق و
- توسعه خدمات مخابراتی و انتقال داده با استفاده مشترک از زیرساخت‌های وزارت نیرو و وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات

۳-۱- بررسی اقدامات و برنامه توسعه در حوزه 5G به کشور

در این بخش اقدامات و برنامه‌ریزی‌های انجام‌شده توسط سازمان‌های مرتبط با 5G بررسی شده است.

۱-۳-۱- سازمان تنظیم مقررات رادیویی

سازمان تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی در سال ۱۳۸۲ و با استناد به ماده هفت قانون وظایف و اختیارات وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات از تجمیع معاونت امور مخابراتی این وزارتخانه و اداره کل ارتباطات رادیویی تأسیس شد. هدف از ایجاد این سازمان ایفای اختیارات حاکمیتی، نظارتی و اجرایی وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات در بخش تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی است تا به‌عنوان نهاد نظارتی زمینه رقابتی شدن بازار ارائه خدمات مخابراتی و بالا رفتن کیفیت خدمات ارتباطی را فراهم کند. اداره دبیرخانه کمیسیون تنظیم مقررات ارتباطات و نظارت بر اجرای مصوبات آن نیز از دیگر وظایف مهم این سازمان است [۶].

برخی از وظایف سازمان تنظیم مقررات که در سایت این سازمان درج‌شده است به این شرح می‌باشد:

- تدوین و تنظیم مقررات، آئین‌نامه‌ها، جدول‌های تعرفه و نرخ‌های کلیه خدمات در بخش‌های مختلف ارتباطات و فناوری اطلاعات، تعیین کف یا سقف آن‌ها به‌منظور حصول اطمینان از رقابت سالم و تداوم ارائه خدمات و رشد کیفی آن‌ها برای تصویب کمیسیون در چارچوب قوانین و مقررات.
- نظارت بر عملکرد دارندگان پروانه‌ها در چارچوب مفاد پروانه‌های صادرشده و رسیدگی به تخلفات و ملزم نمودن آن‌ها به انجام تعهدات و وظایف از طریق صدور اخطاریه یا لغو موقت یا دائم امتیازها و پروانه‌های بهره‌برداری.
- تدوین و پیشنهاد دستورالعمل‌ها و ضوابط مربوط به اتصال متقابل شبکه‌های مخابراتی و رایانه‌ای از نظر امنیت، ایمنی اتصالات و تعرفه‌های آن‌ها به کمیسیون و نظارت بر اعمال صحیح آن‌ها.

- تدوین و پیشنهاد دستورالعمل‌ها به کمیسیون و اعمال مصوبات در مورد چارچوب توافق‌نامه‌های درجه و سطح خدمات به منظور شفاف‌سازی کیفیت خدمات در مقابل هزینه آن در شبکه‌های پستی، مخابراتی و فناوری اطلاعات.
 - تدوین و پیشنهاد دستورالعمل‌ها به کمیسیون و اعمال مصوبات در مورد پیشنهاد اصلاح و تجدید ساختار بخش به کمیسیون.
- در حوزه 5G فعالیت‌های انجام‌شده توسط این سازمان در ادامه ارائه شده است.
- تشکیل کارگروهی متشکل از اپراتورهای موبایل و مسئولان ذی‌ربط در رگولاتوری برای تدوین نقشه راه ورود به فناوری نسل پنجم ارتباطات با وظایف ذیل [۷]:
 - تدوین نقشه راه
 - تعریف مدل تجاری
 - سیاست‌گذاری کلان
 - مقررات گذاری در این حوزه
 - مقررات گذاری برای تعامل با سایر حوزه‌ها
 - تدوین راهکارهای مربوط به فرصت‌های کسب‌وکار
 - تربیت متخصصان در زمینه‌ی 5G
 - تدوین نقشه راه گذر به 5G در سازمان رگولاتوری آغاز شده و در زمان نگارش این گزارش، در حال نهایی شدن است؛ در این نقشه راه از کمیته راهبری که با حضور مدیران ارشد رگولاتوری و مدیران عامل اپراتورهای تلفن همراه از تابستان سال ۱۳۹۸ در حال برگزاری است نظرات دریافت می‌شود.
 - تنظیم سیاست‌های کلان رگولاتوری در گذر به 5G از اولین خروجی‌های این کمیته بوده که به‌عنوان یک سند بالادستی برای تدوین برنامه اقدام بخش ارتباطات و فناوری اطلاعات از آن استفاده خواهد شد.
 - در سمیناری با حضور اعضای کمیسیون تنظیم مقررات ارتباطات، مدیران ارشد وزارت ارتباطات و اپراتورهای ارتباطی و تعدادی از صاحبان صنایع بهره‌بردار از خدمات مبتنی بر 5G، سیاست‌های کلان تدوین شده در این حوزه و نسخه اولیه نقشه راه کشور در گذر به 5G و زمان‌بندی اقدامات رگولاتوری و اپراتورهای ارتباطی تا ۵ سال آینده تشریح شده است [۸].
 - در راستای تدوین نقشه راه گذر به 5G، نظرات اپراتورهای تلفن همراه و رادیوی ثابت در موضوعات تخصصی ذیل توسط سازمان رگولاتوری دریافت شده است:
 - مدیریت منابع محدود فرکانسی،
 - ارزیابی اپراتورها از تقاضای قابل‌انتظار برای خدمات 5G در ۵ سال آینده

➤ روش‌های کاهش هزینه اپراتورها در راه‌اندازی این خدمات

➤ الزامات اپراتورها قبل از گذر کامل به 5G مانند تحول دیجیتالی در فرایندهای داخلی و خدمات قابل ارائه به کاربران

- در مرحله آخر تدوین نقشه راه گذر به 5G، نظرخواهی تخصصی دیگری بر روی پورتال سازمان تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی منتشر شده است از تمامی شرکت‌ها و استارت‌آپ‌های فعال در حوزه ارتباطات و فناوری اطلاعات که علاقه‌مند به نقش‌آفرینی در اکوسیستم 5G هستند، دعوت شده است نظرات خود را در مورد موضوعات طرح‌شده ذیل در این نظرخواهی به سازمان تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی اعلام کنند. برای اولین بار در تاریخ فعالیت رگولاتوری، فعالین اکوسیستم دیجیتالی کشور، قبل از ورود فناوری به کشور، در تدوین نقشه راه گذار به فناوری در موارد ذیل به مشارکت فراخوانده شده‌اند:

- بومی‌سازی زنجیره تأمین سخت‌افزاری و نرم‌افزاری به‌ویژه در شرایط تحریمی کشور
 - توسعه کاربردهای 5G
 - تأمین امنیت 5G
 - بررسی وضعیت اپراتورهای ثابت، پیمانکاران و شرکت‌های ارائه‌دهنده خدمات فنی - مهندسی در اکوسیستم 5G کشور
 - فرصت‌های مرتبط با آموزش‌های تخصصی [۸]
- طبق اظهارات ریاست سازمان تنظیم مقررات در اسفندماه ۱۳۹۸، اولین گام در حوزه ورود 5G به کشور، پیاده‌سازی فناوری ثابت بی‌سیم (FWA) و باندهای فرکانسی مختص آن است. فعالیت در حوزه 5G در کشور تا سال ۱۴۰۰ باید شروع شود و تا سال ۲۰۲۳ و ۲۰۲۴ به بلوغ در این حوزه رسیده شود. البته این اقدامات سرمایه‌گذاری سنگینی می‌خواهد که با توجه به شرایط تحریم، ممکن است خیلی از سازندگان تجهیزات مخابراتی با کشور همکاری نکنند؛ نکته قابل‌تأمل در اظهارات ایشان، تأکید بر تعامل بازارهای عمودی که در نسل پنچ فعال می‌شوند مثل حوزه انرژی یا حمل‌ونقل و وابستگی رگولاتوری نسل پنجم تلفن همراه به این صنایع عمودی می‌باشد [۹].
- لازم به ذکر است که مطالب مذکور از منابع اینترنتی اخذ شده است و متأسفانه با وجود درخواست رسمی از این سازمان برای برگزاری جلسه مشترک، موفق به هماهنگی جلسه نشدیم.

۲-۳-۱- پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات

پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات (مرکز تحقیقات مخابرات) ایران، یکی از قدیمی‌ترین نهادهای پژوهشی حاکمیتی در حوزه فاوا و مغز متفکر و مشاور مادر وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات به شمار می‌رود. از

مأموریت‌های اصلی این پژوهشگاه نهادینه کردن رشد و ارتقای وضعیت دانش، فناوری و نوآوری کشور با بسترسازی و برنامه‌ریزی خردمندانه هم‌راستا با اولویت‌های تعیین‌شده در اساسنامه، احکام و اسناد بالادستی کشور می‌باشد.

پژوهشگاه به‌عنوان بازوی توانمند مشاوره وزارتخانه است که می‌بایست با ایفای نقشی مؤثر در راستای گسترش و بهبود پژوهش و تولید دانش، زمینه تحقق اهداف مربوط به فناوری اطلاعات و ارتباطات در سند چشم‌انداز ۲۰ ساله و برنامه‌های توسعه پنج‌ساله را فراهم آورد. با توجه به این چشم‌انداز، رسالت‌های زیر را می‌توان برای آن در نظر گرفت:

- جهت‌دهی، توسعه و بهبود تحقیقات در حوزه ICT برای کمک به صنعت در رسیدن به اهداف چشم‌انداز ۲۰ ساله کشور
 - ترسیم گستره‌های تحقیقاتی جدید در حوزه ICT مطابق مرزهای دانش و ارتقای توانمندی‌های پژوهشگاه از طریق مدیریت تحقیق، برون‌سپاری و درون‌سپاری فعالیت‌های پژوهشی
 - حمایت از مشارکت با دانشگاه‌ها، مراکز علمی کشور و پارک‌های فناوری
 - همکاری و حمایت از تحقیقات صنایع مرتبط و بخش غیردولتی
 - همکاری با مراکز علمی و تحقیقاتی در سطح بین‌المللی
 - جذب و انتقال فناوری و بومی کردن آن
 - ایفای نقش مشاور مادر برای وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات و شرکت‌های تابعه
 - تهیه استانداردهای ملی و تأیید نمونه تجهیزات و خدمات در حوزه ارتباطات و فناوری اطلاعات [۱۰]
- در حوزه 5G فعالیت‌های انجام‌شده توسط این پژوهشگاه در ادامه ارائه شده است.

۱- پروژه تحقیقاتی "شناسایی و تحلیل فناوری‌ها و جهت‌گیری‌های مرتبط با نسل پنجم" در سال ۹۳ انجام شده و در آن، با توجه به اطلاعات و مستندات موجود در آن مقطع زمانی، موضوعات زیر مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت [۱۱]:

- مطالعه وضعیت در حوزه 5G در کشورهای مختلف و ضرورت حرکت به سمت 5G؛
- بررسی روند استانداردسازی 5G؛
- ساختار، خصوصیات و قابلیت‌های فنی و سرویس‌های 5G؛
- جهت‌گیری‌های محتمل برای پیاده‌سازی 5G

۲- همایش "فرصت‌ها، چالش‌ها و رویکردهای نسل پنجم ارتباطات" باهدف بررسی رویکرد صنعت مخابرات کشور در گذر به نسل آینده ارتباطات، در خردادماه ۹۴ در پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات برگزار شده است؛ این همایش با حضور مسئولان بخش دولتی از جمله ریاست پژوهشگاه، ریاست سازمان تنظیم مقررات و

ارتباطات رادیویی، مدیران اپراتورهای کشور و تأمین‌کنندگان بین‌المللی تجهیزات مخابراتی، اساتید و دانشجویان دانشگاه‌ها و کارشناسان مراکز پژوهشی به بررسی و تبادل نظر پیرامون آخرین دستاوردهای حوزه 5G پرداخته است [۱۱].

۳- تدوین نقشه راه این فناوری به‌عنوان یکی از محورهای تعریف‌شده از طرف وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات توسط پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات از خرداد ۹۵ آغاز شده و در اردیبهشت ۹۶ به پایان رسیده است [۱۲].

در این دوره حدوداً یک‌ساله، گروه‌های فنی، اقتصادی، کسب‌وکار، اجتماعی و حقوقی فعالیت داشتند و بر این نکته تأکید شده که برای بهره‌برداری حداکثری از مزایای 5G لازم است همه بخش‌ها در کنار هم و با همکاری همدیگر به سمت این فناوری گام بردارند. در همین راستا، پیشنهادهای مختلفی از قبیل تشکیل کمیته‌های راهبری و بین‌بخشی با مشارکت همه ذی‌نفعان 5G ارائه‌شده تا اقدامات برنامه‌ریزی‌شده، با همکاری همگان پیش برده شود [۱۱].

۴- در ادامه طرح 5G، پروژه پیشنهاد مقررات رگولاتوری برای ارائه خدمات 5G در کشور، به کارفرمایی سازمان تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی از تاریخ تیرماه ۹۶ لغایت اسفند ۹۷ در این پژوهشگاه به انجام رسیده است و نتایج به‌دست‌آمده از این پروژه به سازمان تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی ارائه شده است تا در کمیسیون ذی‌ربط در قالب مقررات قابل‌اجرا، بررسی شده و به تصویب برسد. مقررات مورد نیاز برای اپراتورها جهت ارائه سرویس‌های 5G و طیف‌های کاربردی برای این فناوری، و نیز بازیگران جدید و تعاملات بین آن‌ها ازجمله مواردی است که در این کمیسیون بررسی می‌شود. [۱۲]

۵- فروم 5G، اولین و تنها فروم تخصصی مربوط به نسل پنجم مخابرات سیار در ایران است که توسط این پژوهشگاه بنا نهاده شده است و توانسته با گرد هم آوردن متخصصین و نخبگان حوزه ICT و بازیگران تأثیرگذار ازجمله خود پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات، سازمان تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی، اپراتورهای ثابت و همراه و همچنین دانشگاه‌های مطرح، در چندین جلسه (در زمان نگارش این گزارش ۴۴ جلسه برگزار شده است) به برخی تجارب کاربردی و مفیدی که می‌تواند به تسهیل روند اجرای نسل پنجم شبکه ارتباطی در کشور کمک کند، دست یابد. [۱۲]

۶- پروژه "بستر نرم‌افزاری 4G با رویکرد 5G" از تیرماه ۹۶ تا تیرماه ۹۷ به طول انجامیده است و در این پروژه، شبکه LTE شامل هسته (EPC) و ایستگاه پایه (eNB) به‌صورت نرم‌افزاری پیاده شد تا ضمن تأمین یک بستر انعطاف‌پذیر، مقدمات لازم برای آزمون قابلیت‌ها و سرویس‌های 5G انجام شود. در آزمایش‌هایی که بر روی این بستر اجرا شده، سرعت دانلود ۱۷ مگابیت بر ثانیه برای مشترکین فراهم شده و از طریق شبکه IoT متصل به این بستر و جریان ویدیوی زنده، می‌توان موارد مصرف همچون نظارت هوشمند را محقق نمود [۱۱].

۷- اجرای پروژه پیاده‌سازی شبکه خودسازمان‌ده با رویکرد 5G مجهز به هوش مصنوعی پروژه مرتبط دیگری است که هدف آن، ایجاد بستری برای تحقق الزامات مدیریت شبکه مخابراتی 5G از جمله هوشمندسازی و مجازی‌سازی عملکردهای شبکه است. قابلیت نرم‌افزاری، هوشمندی و خودسازمان‌دهی این شبکه، امکان به‌کارگیری آن در قالب شبکه Private LTE به‌خصوص برای مواقع بحرانی مانند سیل و زلزله که شبکه‌های ارتباطی با مشکل مواجه می‌شوند، را فراهم می‌آورد. شایان‌ذکر است که در فناوری‌های آتی که با عنوان 6G نمود پیدا می‌کند، هوش مصنوعی نقش پررنگی داشته و از اولویتهای این فناوری محسوب خواهد شد. لذا پروژه شبکه خودسازمان‌ده با رویکرد 5G مجهز به هوش مصنوعی، می‌تواند نوعی گام روبه‌جلو به شمار رود [۱۲].

۸- همچنین پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات برای سرمایه‌گذاری مشترک با دیگر ذینفعان جهت پیاده‌سازی و بهره‌برداری از بستر تست 5G اعلام آمادگی کرده است تا ارائه‌کنندگان سرویس و راه‌حل‌های مخابراتی ضمن آشنایی با محیط 5G، بتوانند سرویس‌ها و خدمات موردنظر خود را در آن مورد تست و ارزیابی قرار داده و به مرحله تجاری‌سازی و ارائه عمومی آن‌ها نزدیک شوند. همچنین، نهادهای قانون‌گذار و تحقیقاتی نیز می‌توانند با بهره‌گیری از امکانات این بستر تست، نسبت به پیگیری محورهای کاری و پژوهشی مرتبط اقدام نمایند. این بستر تست می‌تواند به‌طور بالقوه به‌عنوان بخشی از شبکه ارتباطی کشور نیز استفاده شود. [۱۲]

۹- همچنین در پی ابلاغ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات، طرح ملی توسعه فناوری 5G به‌عنوان تنها طرح کلان پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات تا پایان برنامه توسعه ششم کشور، دوازدهم اسفند ۹۸ تصویب شد. این طرح بنا بر احکام برنامه ششم توسعه و با توجه به نیاز جدی و روزافزون کشور به توسعه زیرساخت‌های ارتباطی، اطلاعاتی و خدمات مربوطه، متناسب با روند توسعه شبکه‌های آینده در جهان و در راستای ارتقای جایگاه علمی، فناوری و بین‌المللی و پیشرفت اقتصادی کشور با تکیه بر توانمندی داخلی، تعریف و در دو فاز، تا پایان سال ۱۴۰۰ هجری شمسی، تصویب شده است. بر اساس این گزارش، با این تصمیم، از این‌پس کلیه طرح‌ها و پروژه‌های پژوهشگاه ICT ذیل طرح کلان 5G تصویب و اجرا خواهند شد. لذا کارگروهی با مشارکت کلیه پژوهشکده‌های پژوهشگاه تشکیل خواهد شد تا طرح‌ها، پروژه‌ها و اقدامات ذیل این طرح کلان را تدوین و پس از تصویب در شورای پژوهشی به‌صورت یکپارچه راهبری کنند. [۱۳].

علاوه بر مطالب مذکور که از منابع اینترنتی یافت شد جلسه‌ای نیز با پژوهشکده مخابرات پژوهشگاه فناوری اطلاعات و ارتباطات سرکار خانم دکتر محمدی، آقای مهندس بحری و کارشناسان متخصص در تاریخ ۹۹/۲/۳۰ برگزار گردید و فعالیت‌های پیرامون توسعه موبایل نسل پنجم در کشور به بحث گذاشته شد.

۱-۳-۳- اپراتور همراه اول

همراه اول به‌عنوان بزرگ‌ترین اپراتور تلفن همراه (در هر دو حوزه مکالمه و اینترنت همراه) و اولین ارائه‌دهنده اینترنت نسل ۴.۵ تلفن همراه در کشور، تا تیرماه سال ۱۳۹۶ فقط ۹۷۵ شهر را تحت پوشش نسل ۳ و ۷۳۵ شهر را تحت پوشش نسل ۴.۵ تلفن همراه قرار داده است [۱۴].

این اپراتور به‌عنوان بزرگ‌ترین اپراتور تلفن همراه در ایران در ۱۲ تیر ۱۳۹۶ تفاهم‌نامه‌ای را مبنی بر همکاری در زمینه‌ی مطالعه و پیاده‌سازی 5G در ایران با شرکت نوکیا امضا کرد. این اپراتور مطرح در ایران وعده داده است در آینده‌ای نزدیک مشترکان همراه اول می‌توانند همگام با شهروندان کشورهای پیشرفته جهان از مزایای شبکه 5G بهره‌مند شوند [۱۵].

این اپراتور از سال ۹۶ با تشکیل گروه‌های مشترکی با دانشگاه شریف و تربیت مدرس، و استفاده از مشاور خارجی، رصد فناوری را شروع کرده است [۱۶].

«رساندن فیبر به محل سایت‌های ارتباطی»، «تجمیع دیتاسنترها» و «تعامل 5G با نسل‌های قبلی» از جمله مباحث لازم برای ورود به فناوری 5G می‌باشد. همچنین سرویس‌های اپراتورها مبتنی بر تقاضاست و تا زمانی که صنعت تقاضایی برای استفاده از ظرفیت‌های نسل پنجم نداشته باشد، اپراتورهای ارتباطی برای رفتن به سمت این فناوری ترغیب نخواهند شد [۱۷]. از دیگر چالش‌های ورود این فناوری می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- در حال حاضر عمده ترافیک شبکه نسل ۴ متعلق به B2C و ترافیک ایجادشده در بخش B2B نزدیک صفر است؛ ترافیک B2B مشوق خوبی برای ترغیب اپراتورهای ارتباطی به سمت مهاجرت به 5G می‌باشد.
- خلأ وجود رگولاتوری بین‌حوزه‌ای و جزیره‌ای عمل کردن در توسعه شبکه‌ها از عمده چالش‌های پیش روی صنایع کشور هست
- «تحول دیجیتال» در سمت مصرف‌کنندگان (سازمان‌ها) به‌عنوان یکی از کلیدواژه‌های موردنیاز برای ورود به نسل‌های جدید فناوری هست.
- عدم توانمندی دانشگاه در تولید منابع انسانی موردنیاز صنعت

لازم به ذکر است که مطالب مذکور از مراجع اینترنتی اخذ شده است. همچنین در جلسه‌ای که با واحد راهبردی همراه اول جناب آقای مهندس معظمی و کارشناسان این واحد در تاریخ ۹۹/۲/۲۸ برگزار گردید به نظر می‌رسد سناریوی انتخابی برای این اپراتور برای ورود فناوری، سناریوی استقرار شماره ۳ و سپس سناریوی شماره ۲ (این سناریوها در بخش ۲-۲ از گزارش مرحله اول به تفصیل شرح داده شده) است.

همچنین به دلیل وجود مشتریان بالفعل، سرویس پهن باند eMBB نسبت به سایر سرویس‌های mMTC و URLLC دارای اولویت می‌باشد.

۱-۳-۴ اپراتور ایرانسل

ایرانسل، در راستای اهداف راهبردی خود، یعنی «خلق و مدیریت ارزش آفرینی برای ذینفعان»، «خلق تجربه‌ای متفاوت برای مشتریان»، «مدیریت رشد پایدار»، «تحول مدل عملیاتی» و «نوآوری و تجارب موفق»، موفق شده است با دستیابی به سهم بازار ۴۳.۴۵ درصدی با روند صعودی، اعتماد بیش‌ازپیش مشتریان تلفن همراه را به دست آورد و با ثبت مصرف روزانه دیتای بیش از ۱۱ پتابایت در اردیبهشت ۹۹، به رکوردی جدید در ارائه اینترنت پرسرعت به مشتریان خود برسد. خدمات نسل دوم اینترنت همراه (2.75G) به بالغ بر ۵۰ میلیون نفر مشترک فعال، نسل سوم (3G) به ۲۹.۵ میلیون نفر و نسل چهارم (4G/LTE) به ۲۲ میلیون مشترک ایرانسل ارائه می‌شود و خدمات نسل ۴.۵ اینترنت پرسرعت همراه نیز در ۷۱۹ شهر ایران توسط ایرانسل ارائه شده است.

ایرانسل همچنین به‌عنوان اولین اپراتور ایرانی، شبکه کامل نسل پنجم اینترنت همراه (5G) را شهریورماه ۹۶ با موفقیت آزمایش کرده و همچنان در آماده کردن بسترهای تجاری‌سازی 5G در کشور پیش‌تاز است [۱۸]. در زمینه ایجاد زیرساخت‌های فناوری نسل 5G، سه پروژه با عناوین «بهره‌برداری تجاری از هسته شبکه ابری NB-IoT بر بستر 5G»، «بهره‌برداری تجاری از هسته شبکه ابری مبتنی بر NFV/SDN» و «بهره‌برداری آزمایشی از اولین شبکه رادیویی مبتنی بر فن‌های 5G» در تیرماه سال ۱۳۹۶ بهره‌برداری شده است. پروژه «بهره‌برداری تجاری از هسته شبکه ابری مبتنی بر NFV/SDN» با همکاری یکی از تأمین‌کنندگان تجهیزات ارتباطی که بیشترین سهم بازار این تجهیزات را در جهان دارد به بهره‌برداری رسیده است. این شرکت تأمین‌کننده تجهیزات معتقد است هسته شبکه ابری مبتنی بر NFV/SDN ایرانسل، از لحاظ بار ترافیکی بزرگ‌ترین پروژه این شرکت در جهان تاکنون است.

در خصوص پروژه «بهره‌برداری آزمایشی از اولین شبکه رادیویی مبتنی بر تکنیک‌های 5G»، تکنیک‌های نسل پنجمی مورد استفاده در این آزمایش، فناوری Massive MIMO و Beam Forming هستند که با تخصیص یک پرتو رادیویی اختصاصی به هر مشترک تحت پوشش یک آنتن، بازدهی فرکانسی و نهایتاً ظرفیت هر سلول رادیویی تا چندین برابر افزایش داده می‌شود. با توجه به محدودیت منابع طیف فرکانسی، این تکنیک‌ها نقش کلیدی و مهمی را در توسعه ظرفیت رادیویی ایفا می‌کنند. فناوری نسل پنج و NR (New Radio) از تکنیک‌های متنوعی مانند Flexible Framing استفاده می‌کند تا بتواند انعطاف و چابکی لازم را برای برآورده کردن نیازهای بازارهای عمودی پیش رو را برآورده کند.

بدین ترتیب ایرانسل بهره‌برداری تجاری از پروژه‌های «هسته شبکه ابری NB-IoT بر بستر 5G» و «هسته شبکه ابری مبتنی بر NFV/SDN» را به صورت رسمی آغاز کرد و در ردیف پیش‌تازترین اپراتورهای جهان در این زمینه قرار گرفت [۱۹].

لازم به ذکر است این بخش از گزارش از اطلاعات مندرج در اینترنت استفاده شده است و با وجود تلاش‌هایی که انجام شد کارشناسان متخصص و مطلع این اپراتور از برگزاری جلسه در خصوص فناوری موبایل نسل پنجم امتناع ورزیدند.

۴-۱- اپراتور رایتل

رایتل به عنوان اپراتور سوم موبایل، زمانی کار خود را آغاز کرد که همراه اول ۱۳ سال به صورت انحصاری فعالیت می‌کرد و ایرانسل نیز با همکاری شریک خارجی فعال بود. در شهریور سال ۹۲ تعداد ۱۲۸ شهر تحت پوشش رایتل بود که تا بهمن سال ۱۳۹۵ به ۵۰۳ شهر گسترش یافت و تعداد سایت‌ها که ۹۲۶ سایت بود به ۳۴۴۶ سایت افزایش یافته و ۳۷۰ سایت نیز در حوزه LTE فعال شدند. تعداد CORE SITE رایتل در شهریورماه سال ۹۲ دو عدد بود که تا بهمن ۱۳۹۵ به ۵ عدد افزایش یافته است. در بهمن ماه ۱۳۹۵، تست LTE-A رایتل و جمع‌آوری آن با WiFi و رسیدن به تکنولوژی LWA¹ انجام شده است [۲۰]. در خصوص فعالیتهای انجام گرفته توسط این اپراتور در حوزه موبایل نسل پنجم، گزارش یا اخباری از این اپراتور در اینترنت یافت نشده است؛

۴-۱-۱- جمع‌بندی

توسعه زیرساخت و فناوری‌های نوین در اسناد بالادستی مورد توجه بوده است ولی با توجه به نوین بودن فناوری موبایل نسل پنجم، در این اسناد به این فناوری، به طور مستقیم اشاره نشده است؛ در حالی که مرکز ملی فضای مجازی، در اسناد خود بر اینترنت اشیا تأکید داشته و وظایفی را به بخش‌های مختلف سپرده است. در مورد فناوری نسل پنجم نیز تنها سند اجرایی موجود، راهبرد کلان سازمان تنظیم مقررات رادیویی می‌باشد که اخیراً تدوین شده است و در آن نقشه گذار به موبایل نسل پنجم با تعیین گام‌ها مشخص شده است. گام اول در این راهبرد، اجرای پایلوت برای سه صنعت انتخابی در بازه زمانی یک ساله می‌باشد.

علاوه بر بررسی اسناد بالادستی و اسناد اجرایی موجود، فعالیتهای تحقیقاتی انجام شده در پژوهشگاه فناوری اطلاعات و ارتباطات و همچنین فعالیتهای برنامه‌های اپراتور اول و دوم موبایل در خصوص ورود فناوری نسل پنجم در این فصل مورد بررسی قرار گرفته است که همگی دلالت بر برنامه‌ریزی و ورود قریب‌الوقوع فناوری

¹ LTE WLAN Aggregation

موبایل نسل پنجم به کشور دارد؛ البته نمی‌توان این موضوع را نادیده گرفت که تحریم‌های اخیر بر سرعت اجرای برنامه‌های اپراتورها برای ورود این فناوری تأثیر گذاشته است.

۵-۱- مراجع فصل اول

- [1] Availabe: http://it.ostan-sm.ir/dorsapax/userfiles/file/9242014_700AM_nahaeinnnn.pdf
- [2] Availabe: https://www.ict.gov.ir/ICTContent/media/image/2015/07/23151_orig.pdf
- [3] Availabe: <http://irandigitaltransformation.ir/>
- [4] Availabe: www.ict.gov.ir/ir/newsagency/21613 /امضای سند اقدام مشترک وزارت ارتباطات و نیرو- حرکت برای ایجاد یکصد هزار فرصت شغلی- افزایش بهره‌وری- کاهش میزان مصرف آب- و برق
- [5] Availabe: <https://www.nri.ac.ir/news/ID/2739>
- [6] Availabe: <https://www.cra.ir/Portal/View/Page.aspx?PageId=ba749a9c-6b8d-4f86-a4a3-0930f0dbda5d>
- [7] Availabe: <https://digiato.com/article/2019/09/08/5> /ورود به فناوری-۵
- [8] Availabe: <https://www.cra.ir/Portal/View/Page.aspx?PageId=2663f94e-2c02-42a9-bfb8-523dd752ab05&ObjectId=bf194d30-54d1-4795-ac6c-62657f51fa76&WebpartId=df06d241-c881-4df3-a29b-333661758fd7>
- [9] Availabe: <https://www.ictna.ir/id/109292/>
- [10] Availabe: <https://www.itrc.ac.ir/itrc-page/%D9%85%D8%B9%D8%B1%D9%81%DB%8C>
- [11] Availabe: <http://gerdab.ir/fa/news/29119/5> در- اقدامات حاکمیتی- انجام گرفته- مرتبط با- اینترنت-۵
- ایران
- [12] Availabe: <https://www.itrc.ac.ir/news/53589>
- [13] Availabe: <https://www.itrc.ac.ir/news/56815>
- [14] Availabe: <https://mci.ir/news/-/view/32172>
- [15] Availabe: <https://www.yjc.ir/fa/news/6771998/5> -چه زمانی- در- دسترس- g/فناوری- شبکه- همراه-۵
- گیردC2%80%8Eقرار می-.
- [16] Availabe: <https://digiato.com/article/2019/03/02/5/> معاون فنی- همراه اول- تا- سال- ۱۴۰۰- فناوری-۵
- g/
- [17] Availabe: <https://isna.ir/news/98101108442/5> بدون- آزادسازی- باند- ۷۰۰- مگاهرتزی- Gتوسعه-۵
- مشکل- است-
- [18] Availabe: <https://irancell.ir/b/13486> /دستاوردهای- ایرانشل- در- ارائه خدمات- دیجیتال- تشریح- شد
- [19] Availabe: <https://www.khabaronline.ir/news/689235/> زیر ساخت های- دستیابی- به- فناوری- نسل-۵
- توسط- ایرانشل- به- بهره برداری- ۵G-۵
- [20] Availabe: <http://www.4gnews.ir/news/2437>

فصل ۲- بررسی نقشه راه ICT شبکه هوشمند در جهان

۲-۱- مقدمه

توزیع و تولید بهینه و منعطف انرژی، بهره‌وری انرژی را افزایش می‌دهد و راهکارهای مبتنی بر فناوری اطلاعات و ارتباطات نیز می‌تواند نیازمندی‌های شبکه را برطرف کرده و هزینه‌های مدیریت و نظارت بر شبکه را کاهش دهد.

به‌منظور یافتن جایگاه فناوری اطلاعات و ارتباطات در شبکه‌های هوشمند، نقشه راه و فعالیت‌ها و کاربردهای حوزه فاوا در شبکه هوشمند در این فصل هدف‌گذاری شده است. بررسی‌ها با دو رویکرد مختلف انجام شده است. در رویکرد اول تلاش شد تا مستنداتی از مراکز و نهادهای خبراتی با موضوعات مرتبط با انرژی و شبکه هوشمند جستجو شود. فعالیت‌های تحقیقاتی نهاد بین‌المللی ارتباطات (ITU) برای بررسی نقش فاوا در تحقق سند SDG7 (با هدف دسترسی همگانی به انرژی ارزان و پایدار) از این جمله می‌باشد. انتشار مقالات توسط مؤسسه استاندارد ارتباطات راه دور اروپا (ETSI) در حوزه دیجیتالی شدن فرآیندهای انتقال و توزیع برق از مصادیق دیگر این رویکرد می‌باشد.

در رویکرد دوم مراکز و نهادهای صنعت برق که بر روی موضوع فاوا و نقش آن در هوشمندی شبکه برق متمرکز بودند مورد بررسی قرار گرفتند. تدوین و به روز رسانی سالانه "نقشه راه فن‌آوری ارتباطات و اطلاعات شبکه هوشمند" توسط موسسه تحقیقاتی انرژی الکتریکی آمریکا (EPRI) از این جمله می‌باشد. همچنین انتشار گزارش "توسعه همگرایی فن‌آوری‌های اطلاعات و ارتباطات و تأثیر آن بر بخش انرژی" توسط مؤسسه اقتصاد انرژی کره مصداق دیگری از این رویکرد می‌باشد.

علاوه بر دو رویکرد مذکور بررسی نقشه راه فناوری اطلاعات و ارتباطات شبکه هوشمند، در خصوص الگوی توسعه و تحقیقات بخش ICT صنعت برق، مستند دیگری ارائه شده است که با همکاری شرکت‌های خدمات مهندسی و دانشگاه‌ها در قالب پروژه با دریافت بودجه تحقیقاتی از کمیسیون اروپا و تحت برنامه FP7 اجرا شده است. نتایج بررسی این مستند در بخش ۲-۶ ارائه شده است.

مرور بر اقدامات، برنامه‌های کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت نهادها و دولت‌ها نشان‌دهنده اهمیت توسعه فناوری اطلاعات و ارتباطات در هوشمندسازی شبکه برق دارد.

(در راستای رعایت حقوق کپی مؤلفین، لازم به ذکر است بخش‌های ۲-۳، ۲-۴ و ۲-۵ با کمی اختصار از گزارش مرحله دوم پروژه با عنوان "شناسایی فناوری‌های نوین ICT برای حل چالش‌های ساختارهای نوین صنعت برق" که در گروه پژوهشی فناوری اطلاعات و ارتباطات پژوهشگاه نیرو [۳] انجام شده و در راستای اهداف پروژه جاری، می‌باشد استفاده شده است.)

۲-۲- فعالیت‌های تحقیقاتی مرتبط در اسناد ITU [۱]

انرژی یکی از فاکتورهای اصلی در سلامت، اقتصاد و رفاه اجتماعی یک جامعه است. هرچند برای رشد اقتصادی جامعه و فقرزدایی دسترسی به انرژی پایدار و ارزان قیمت لازم است، لکن نیاز می‌باشد تا مصرف انرژی و رشد اقتصادی رابطه مستقیم و خطی با هم نداشته باشند. در غیر این صورت تغییرات اقلیمی، تلاش‌هایی که برای پیشرفت و رفاه جامعه صورت گرفته را با خطر مواجه می‌کند.

اهمیت انرژی در توسعه پایدار جوامع در سند اهداف توسعه پایدار^۱ یا SDG توسط سازمان ملل متحد تهیه شده است؛ علی‌الخصوص در سند SDG7 دسترسی همگانی به انرژی ارزان و پایدار بررسی شده است. مشارکت بخش‌های مختلف از جمله وزارتخانه‌ها و سازمان‌های ملی مرتبط برای دسترسی به اهداف توسعه بین‌المللی لازم و حیاتی است.

اهداف سند SDG7 عبارت‌اند از:

- اطمینان از دسترسی جهانی به سرویس‌های انرژی ارزان و پایدار و نوین تا سال ۲۰۳۰
 - افزایش قابل توجه سهم انرژی‌های تجدید پذیر در بازار مصرف انرژی تا سال ۲۰۳۰
 - دو برابر شدن نرخ بهره‌وری انرژی تا سال ۲۰۳۰
- دسترسی به اهداف ذکر شده نیاز به موارد زیر خواهد داشت:
- افزایش مشارکت بین‌المللی برای تحقیقات و فناوری‌هایی که موجب تسهیل دسترسی به انرژی پاک می‌شود.
 - گسترش زیرساخت و به‌روزرسانی فناوری‌های مرتبط برای تأمین سرویس‌های انرژی پایدار برای تمام کشورهای در حال توسعه.
- در حال گسترش زیرساخت‌ها و فناوری‌های بروز شده برای تأمین انرژی پایدار نیازمند فناوری اطلاعات و ارتباطات ICT خواهد بود. فناوری اطلاعات و ارتباطات ابزار لازم برای به‌کارگیری منابع انرژی تجدید پذیر و افزایش بهره‌وری انرژی و افزایش بازده سرمایه‌گذاری در زیرساخت و فناوری‌های انرژی را به اپراتورهای برق می‌دهد. در نتیجه دولت‌ها و سازمان‌های مرتبط در سرتاسر جهان، چشم‌اندازی برای تجمیع فناوری‌های ICT در صنعت برق به عنوان تضمین‌کننده دسترسی ارزان و پایدار به انرژی را ترسیم کرده‌اند.
- از طرفی دیگر، دسترسی به انرژی، مزایای اقتصادی و تأثیرات مثبتی در بخش ICT دارد. برای دستیابی به چنین تجمیع فناوری موفق، ارائه‌دهندگان سرویس مخابراتی و انرژی باید برای تنظیم مقررات و دستورالعمل‌ها با یکدیگر مشارکت کنند. در این بخش خط‌مشی و مقرراتی که تحت سند SDG7 هستند و همچنین نقش فناوری اطلاعات و ارتباطات در رسیدن به اهداف مقرر شده و همچنین اهمیت مشارکت بین

¹ Sustainable Development Goal

بخش‌های مخابراتی و صنعت برق بررسی شده است؛ این بخش از اسناد منتشر شده سازمان ITU بر گرفته شده است.

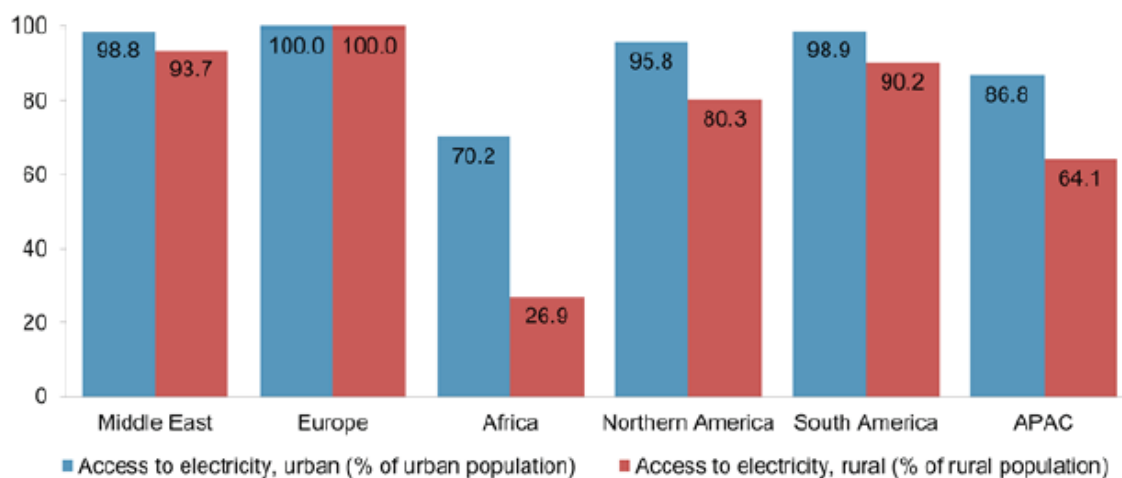
۱-۲-۲ نقش فناوری اطلاعات و ارتباطات در دستیابی به اهداف SDG7

در این بخش نقش فناوری اطلاعات و ارتباطات در دسترسی به اهداف تعیین‌شده در بخش قبلی و همچنین اهمیت آن‌ها بر روی توسعه جهانی بررسی شده است.

۱-۲-۱-۱ هدف اول: "اطمینان از دسترسی جهانی به سرویس‌های انرژی ارزان و پایدار و نوین تا سال

"۲۰۳۰"

اولین هدف در سند SDG7، اطمینان از دسترسی جهانی به سرویس‌های انرژی را با ویژگی‌های خاصی پیش‌بینی کرده است. با به‌کارگیری فناوری اطلاعات و ارتباطات این ویژگی‌ها قابل حصول خواهند بود. یک بخش مهم در هزینه ایجاد دسترسی به انرژی، زیرساخت شبکه است که انرژی الکتریکی را منتقل می‌کند. شکل ۱-۲ نسبت جمعیت به دسترسی برق را در مناطق شهری و روستایی در قاره‌های مختلف نشان می‌دهد.



شکل ۱-۲ نسبت جمعیت با دسترسی به انرژی الکتریکی در نقاط شهری و روستایی [۱]

فناوری اطلاعات و ارتباطات می‌تواند تأثیر مثبتی بر دسترسی ارزان به انرژی الکتریکی داشته باشد. در کشورهای توسعه‌یافته که دسترسی به انرژی الکتریکی در سطح مناسبی است، فناوری اطلاعات و ارتباطات می‌تواند با به‌کارگیری حس‌گرها و ایجاد توانایی مدیریت درخواست‌ها باعث کاهش هزینه مصرف مشترکان شود. همچنین فناوری اطلاعات و ارتباطات می‌تواند با ایجاد محیط نظارت و مدیریت انرژی برای تولیدکنندگان و ارائه‌دهندگان سرویس باعث بهبود بهره‌وری و کاهش هزینه‌های آن‌ها شود. در کشورهای درحال توسعه نیز که نقاط روستایی و دوردست به شبکه توزیع متصل نیستند به‌کارگیری فناوری اطلاعات می‌تواند باعث ایجاد

کسب‌وکار اقتصادی برای ارائه‌دهندگان سرویس باشد. همچنین فناوری اطلاعات و ارتباطات می‌تواند به مشترکان محلی، قابلیت تولید توان خود را بدهد.

همچنین دسترسی به انرژی باید پایدار باشد. درواقع عدم پایداری دسترسی به انرژی الکتریکی یکی از اصلی‌ترین موانع رشد اقتصادی در کشورهای در حال توسعه است زیرا بخش‌های خصوصی و صنعتی را از سرمایه‌گذاری منصرف می‌کند. فناوری اطلاعات می‌تواند در این بخش نیز مؤثر واقع شود. با به‌کارگیری فناوری‌های نوین ICT می‌توان نظارت زمان-واقعی بر روی شبکه داشت و همچنین عیب‌یابی و ایزوله‌سازی و محافظت از شبکه را به‌صورت مطلوب انجام داد.

بخش آخر این هدف به تأمین دسترسی به منابع انرژی نوین اشاره می‌کند. در سند مذکور واژه نوین به منابع انرژی تجدیدپذیر و جانشینی این منابع بجای منابع فسیلی اشاره می‌کند. در کشورهای توسعه‌یافته، استفاده از انرژی تجدیدپذیر به‌منظور مقابله با تغییرات اقلیمی موردتوجه است که باعث جلوگیری از افزایش دمای جهانی می‌شود. فناوری اطلاعات به‌وسیله حس‌گرها قادر به مدیریت شبکه‌های توان برای استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر می‌باشد.

۲-۲-۱-۲- هدف دوم: "افزایش قابل‌توجه سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در بازار مصرف انرژی تا سال ۲۰۳۰"

استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر نیاز به راه‌حل‌های مبتنی بر فناوری اطلاعات خواهد داشت. درواقع یک شبکه غیرمتمرکز نیاز به پشتیبانی فناوری اطلاعات خواهد داشت. در کشورهای توسعه‌یافته این هدف به شبکه هوشمند و اندازه‌گیری هوشمند محدود نمی‌شود. درواقع تأمین انرژی به‌صورت غیرمتمرکز یکی از ویژگی‌های اساسی توسعه شهر هوشمند است. بدون ساختارهایی مثل مدیریت درخواست و ابزارهای مرتبطی مثل کنتورهای هوشمند و خودروهای الکتریکی رسیدن به چشم‌انداز شهرهای هوشمند قابل‌تصور نیست. فناوری اطلاعات و بخصوص جمع‌آوری اطلاعات و پردازش آن‌ها نقش مهمی در رسیدن به این چشم‌انداز دارد. در کشورهای در حال توسعه همان‌طور که در هدف قبلی دنبال شد، به دلیل نبود زیرساخت قابل‌توجه در مناطق روستایی، مدل‌های اقتصادی جدیدی برای ارائه‌دهندگان سرویس از طریق به‌کارگیری فناوری اطلاعات ایجاد می‌شود.

۲-۲-۱-۳- هدف سوم: "دو برابر شدن نرخ بهره‌وری انرژی تا سال ۲۰۳۰"

بهره‌وری انرژی موضوعی قابل‌توجه در کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه است. فناوری اطلاعات قادر است تأثیر مثبتی هم در بهره‌وری انرژی‌بخش تولید و هم در بخش تقاضا داشته باشد. سابقاً حدود ۷۰ درصد انرژی الکتریکی قبل از رسیدن به مشترکان به هدر می‌رفت درحالی‌که با به‌کارگیری فناوری اطلاعات و ایجاد شبکه‌های هوشمند بهره‌وری انرژی به‌مراتب افزایش می‌یابد، به‌عنوان مثال در سال ۲۰۱۶ شرکت زیرساخت

انرژی استرالیا بهبود ۷۲ درصدی بهره‌وری را با استفاده از نرم‌افزارهای جمع‌آوری و پردازش اطلاعات گزارش داده است. در کشورهای درحالی‌که توسعه مسائل بنیادی‌تری مثل کیفیت ابزارآلات و عمل به استانداردهای اولیه باید حل شود که با حل این مسائل بهره‌وری افزایش می‌یابد. در بخش تقاضا، همان‌طور که اشاره شد نباید رشد اقتصادی با مصرف انرژی رابطه خطی پیدا کند. فناوری اطلاعات با نظارت خودکار و مدیریت مصرف انرژی می‌تواند باعث کاهش مصرف انرژی شود.

در جدول ۱-۲، نقش فناوری اطلاعات در بخش‌های مختلف صنعت برق به‌طور خلاصه آورده شده است [۱].

جدول ۱-۲ نقش فناوری اطلاعات و ارتباطات در زنجیره صنعت برق [۱]



جدول ۲-۲ اهداف استراتژیک و نوع مشارکت بین نهادهای مرتبط

اهداف استراتژیک بر اساس توسعه کشورها		نوع همکاری و بخش مربوطه
کشورهای توسعه‌یافته	کشورهای در حال توسعه	اندازه‌گیری هوشمند
استفاده مشخص از کنتور هوشمند به طور یکسان در بخش خانگی و صنعتی	استفاده از فناوری کنتور هوشمند برای ارتقاء راهکارهای میکرو گرید، مینی گرید و خارج از شبکه	عملکرد شبکه
ایجاد قالبی مناسب برای بهبود عملکرد شبکه و تسهیل عملیات تعمیر و نگهداری پیش‌گویانه از طریق جمع‌آوری و تحلیل داده	نفوذ فواوا برای پایش عملکرد شبکه و شناسایی تلفات فنی و غیرفنی	اشتراک‌گذاری زیرساخت
پیاده‌سازی اقدامات سیاستی (مانند نگاشت زیرساخت و جهت‌دهی کاهش هزینه) که اشتراک‌گذاری زیرساخت را تسهیل کند تا پیاده‌سازی با هزینه کمتر و سرعت بیشتر انجام شود.	پیاده‌سازی اقدامات سیاستی و تعیین استانداردهای اشتراک‌گذاری زیرساخت	به‌کارگیری توأم شبکه برق و زیرساخت مخابراتی
پیاده‌سازی اقدامات سیاستی که پیاده‌سازی داکت‌های خالی را برای اشتراک با صنایع همگانی دیگر توسعه دهد.	ایجاد قالب کاری مشارکت، ظرفیت هماهنگی و تبادل دانش برای توسعه پیاده‌سازی یکپارچه زیرساخت انرژی و فواوا	توسعه محصولات و سرویس‌های نوین
پشتیبانی سرمایه‌گذار محلی از استراتژی‌های مبتکرانه	ایجاد فروم‌هایی برای انتشار و تبادل دانش در رابطه با فواید راهکارهای تجمیع انرژی و فواوا برای ارائه مدل‌های جدید پرداخت یا مالکیت	

۲-۲-۲ مشارکت نهادها و سازمان‌ها

در این سند، اهمیت مشارکت بین سازمان‌ها و نهادهای مرتبط برای تعیین و تنظیم مقررات همکاری بین ارائه‌دهندگان سرویس مخابراتی و انرژی بررسی شده است.

نتایج آزمایش‌ها و پایلوت‌های مرتبط از جمله پروژه ENERGIZE در اتحادیه اروپا نشان‌دهنده ناکافی بودن همکاری بین نهادهای مرتبط است و دلیل این امر نامشخص بودن خط‌مشی و مقررات مرتبط و نداشتن تفاهم بین اهداف این سازمان‌هاست. با این حال مزایای به‌کارگیری فناوری اطلاعات در صنعت برق و انرژی باعث ایجاد تفاهم و مشارکت در پیاده‌سازی بین نهادهای مرتبط خواهد شد.

به نظر می‌رسد برای این مقصود چند قدم حیاتی و اولیه به شرح زیر مورد نیاز است.

۱. سرمایه‌گذاری در دیجیتالی کردن صنعت برق و انرژی بخصوص زیرساخت شبکه.
۲. تشخیص و تعیین تست‌های به‌کارگیری فناوری درون شبکه به صورت محدود و آزمایش.
۳. پشتیبانی دولت‌ها و سازمان‌ها برای تست‌های پایلوت و آزمایشی برای ایجاد مشارکت بین سازمان‌های مرتبط مخابراتی و انرژی.

پروژه ENERGIZE نقطه مناسبی برای شروع این فعالیت‌ها در نقاط مختلف دنیا معرفی شده است. استراتژی‌ها و راهکارهای مناسب هر کشور بر اساس تحلیل نتایج پروژه ENERGIZE میسر خواهد بود. در جدول ۲-۲ اهداف استراتژیک و نوع مشارکت بین نهادهای مرتبط ارائه شده است.

۲-۳- فعالیت‌های تحقیقاتی مرتبط در موسسه استاندارد ارتباطات راه دور اروپا (ETSI)

[۲،۳]

موسسه استاندارد ارتباطات راه دور اروپا (ETSI) یک سازمان استانداردسازی مستقل و غیرانتفاعی در صنعت ارتباطات از راه دور در اروپا است که در فرانسه مستقر است و دارای پیش‌بینی‌های جهانی در حوزه انرژی و ارتباطات است. ETSI استانداردهای جهانی را برای فناوری اطلاعات و ارتباطات (ICT) از جمله فناوری‌های مربوط به ارتباطات ثابت، سیار، رادیویی، پخش و اینترنت را تولید و مدیریت می‌کند. این موسسه مقالاتی در حوزه دیجیتالی شدن فرآیندهای انتقال و توزیع منتشر کرده است. در ادامه به دو گزارش مرتبط به آن موسسه پرداخته شده است که در گزارش اول بر اهمیت نقشه راه تأکید شده است و در دیگری یک ساختار برای نسل آتی شبکه انرژی پیشنهاد شده است.

۲-۳-۱- بررسی نقشه راه تحقیق، توسعه و نوآوری^۲ENTSOE

در گزارشی که در [۳] ارائه گردیده است یک رویکرد تحقیقاتی و نوآورانه به اهمیت جایگاه TSO^۳ها ارائه شده است. در این گزارش وضعیت موجود TSOها در اروپا مورد بررسی قرار گرفته است و معیارهایی که باعث تغییر و تحول در این سیستم‌ها در آینده خواهند شد مورد بررسی قرار گرفته‌اند. از نقاط با اهمیت این گزارش ارائه یک خوشه‌بندی جامع از فعالیت‌ها و نداشت آن به اهداف عملیاتی است که در جدول ۲-۳ به صورت خلاصه مورد بررسی قرار گرفته‌اند. خوشه پنجم از این جدول به ICT و دیجیتالی‌سازی سیستم انرژی تخصیص یافته است.

جدول ۲-۳ نداشت فعالیت‌ها و اهداف عملیاتی

خوشه	توصیف
خوشه ۱: مدرن‌سازی سیستم انرژی	این خوشه باهدف ایجاد یک طراحی شبکه بهینه، مبتنی بر استفاده مقرون به صرفه‌ترین فناوری‌ها و راه‌حل‌ها ایجاد شده که بایستی انعطاف‌پذیری بیشتری را ایجاد کنند. انعطاف‌پذیری با استفاده از پاسخ تقاضا، ذخیره‌سازی یا تعامل با دیگر شبکه‌های انرژی به

^۱ European Telecommunications Standards Institute

^۲ European Network of Transmission System Operators for Electricity

^۳ Transmission System Operator

خوشه	توصیف
	دست خواهد آمد. همچنین توسعه به مدل‌ها و روش‌های مدیریت دارایی هوشمند و بهبود آگاهی عمومی در این خوشه قرار می‌گیرد.
خوشه ۲: امنیت و پایداری سیستم	این خوشه به بهبود قابلیت مشاهده و کنترل‌پذیری سیستم انتقال تعلق دارد. به عبارت دیگر استفاده از روش‌ها و فناوری‌هایی مانند سیستم‌های خبره و تصمیم‌یار برای کنترل، مشاهده‌پذیری و ترمیم در TSO و DSO ¹ در این بخش قرار می‌گیرند.
خوشه ۳: انعطاف سیستم برق	در این بخش مباحث یکپارچه‌سازی منابع، مدیریت پاسخ و تقاضا، تعامل با دیگر شبکه انرژی غیر الکتریکی قرار می‌گیرد.
خوشه ۴: کارآمدی اقتصادی سیستم انرژی	در این خوشه مباحث مربوط به یکپارچه‌سازی شبکه برق- بازار، مدل‌های کسب‌وکار و طراحی بازار منعطف مورد بررسی قرار می‌گیرند.
خوشه ۵: ICT و دیجیتال‌سازی سیستم انرژی	در این بخش مباحث مربوط به تحلیل کلان داده‌ها، استانداردسازی داده‌های مورد تبادل، اینترنت اشیاء و امنیت مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

در ادامه گزارش دیگری از این موسسه مورد بررسی قرار می‌گیرد که تمرکز آن بر روی فرآیند دیجیتالی شدن و فناوری‌های مرتبط است.

۲-۳-۲ - بررسی گزارش دیجیتال‌سازی سیستم انرژی و مشارکت مشتری [۴]

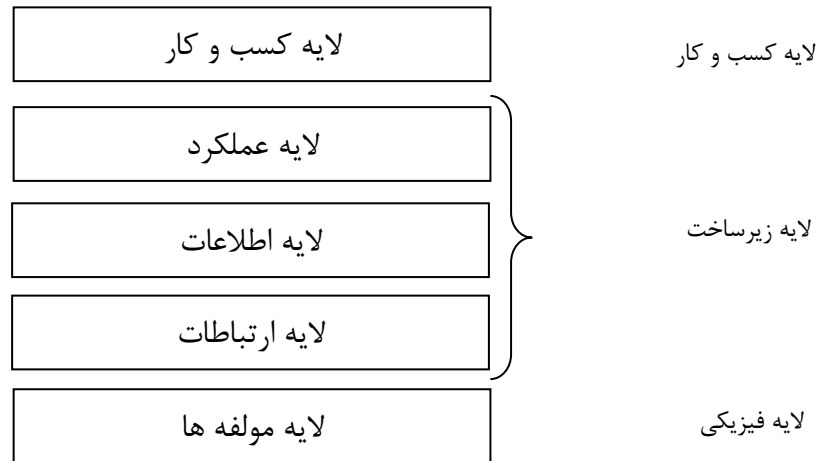
در گزارش ارائه‌شده در [۴] تمام سطوح سیستم انرژی که فرآیند دیجیتالی شدن بر آن‌ها تأثیر دارد را مورد بررسی قرار می‌دهد. مرجع اصلی این گزارش توسط "بسته زمستانی" اقدامات کمیسیون اروپا (۲۰۱۶) ارائه‌شده است که به نقش اصلی مشتریان در صنایع انرژی آینده اشاره می‌کند. با توجه به مفهوم شبکه هوشمند، فرآیند دیجیتالی شدن عوامل جدیدی را در نظر می‌گیرد که برخی از آن‌ها عبارت‌اند از:

- مشارکت مشتری و مدل‌هایی جدید از کسب‌وکار که ناشی از این مشارکت هستند.
- توجه بیشتر به اتصال بخش‌های مختلف و حرکت به سوی همگرایی شبکه انرژی هوشمند، شهرها و جوامع هوشمند.
- بهره‌گیری از مفاهیم و فناوری‌های جدیدی که در لایه‌های فیزیکی شبکه‌ها ظاهر شده‌اند.

در گزارش این موسسه ذکر شده است که الگوی شبکه انرژی دیجیتال، مفهومی گسترده‌تر از شبکه هوشمند است که به مؤلفه‌های اجتماعی اشاره دارد و متمرکز بر سرویس است. هدف نهایی این فرآیند فعال کردن یک بازار تجارت آزاد و شفاف انرژی با امکان برابر برای مشارکت بازیگران متعدد است که توسط بسته زمستانی

¹ Distribution System Operators

پیش‌بینی شده است. این گزارش از یک رویکرد سه لایه از سیستم انرژی برای توصیف اجزاء مورد نیاز استفاده می‌کند که در شکل ۲-۲ نشان داده شده است.



شکل ۲-۲ معماری سه لایه

وظایف لایه‌ها در ادامه توضیح داده شده‌اند.

- **لایه فیزیکی^۱:** این لایه با شبکه و تجهیزاتی که بخشی از زیرساخت است تعامل دارد. به دلیل حضور روزافزون منابع انرژی توزیع شده شبکه به سمت یک شبکه با قدرت بیشتر حرکت می‌کند و بدیهی است که کنترل مبدل‌ها برای پشتیبانی بهتر از اتوماسیون شبکه امری ضروری است. در حال حاضر، مبدل‌ها در راستای پشتیبانی از شبکه کار می‌کنند، یعنی آن‌ها قدرتی که به صورت فعال^۲ یا واکنشی^۳ به دست می‌آورند را به شبکه تزریق می‌کنند. اما آن‌ها در حوزه کنترل فرکانس به عنوان دنبال کننده عمل می‌کنند. پیش‌بینی شده است که در آینده آن‌ها نقش مهمی در کنترل فرکانس بازی خواهند کرد. انواع جدید بار نیز در شبکه ظاهر خواهند شد. یک نمونه بسیار مهم بار تولیدی توسط وسایل نقلیه الکتریکی خواهد بود و مورد مهم دیگر توسط سیستم‌های گرمایشی محور برق ارائه خواهد گردید. این دو مثال گزینه‌های جدید ذخیره‌سازی (مستقیماً الکتریکی یا از طریق گرمایش) را ارائه می‌دهند که می‌توانند به عنوان منبع برای دستیابی به شکل‌دهی به بار و کنترل پروفایل انرژی استفاده شوند. از نقطه نظر یک سیستم انرژی الکترونیکی کاملاً قدرت محور، فناوری DC^۴ نیز می‌تواند نقش

¹ Physical Layer

² Active

³ Reactive

⁴ Direct Current

اساسی داشته باشد. در طول انتقال، ولتاژ DC می‌تواند از گزینه توزیع مش برای ولتاژ متوسط پشتیبانی کند که امروزه برای جریان متناوب (AC) امکان‌پذیر نیست.

• **لایه زیرساخت^۱:** در لایه زیرساختی ICT نقش اصلی را ایفا می‌کند. فناوری‌های جدید و متنوعی در دسترس هستند و انتظار می‌رود که یک راه‌حل واحد بر سیستم انرژی حاکم نشود. با این وجود، پتانسیل بالای فن‌آوری 5G به همراه تأخیر کم، فناوری لبه، رایانش ابری و همراه در این بخش پیش‌بینی شده است. رایانش لبه^۲ مبتنی بر ابر نیز می‌تواند یک فن‌آوری کلیدی برای ارتباط بین این زمینه و مفهوم بستر داده مرکزی باشد.

• **لایه کسب‌وکار^۳:** این لایه مکانیسم‌هایی دیجیتال را برای مدیریت عملکرد خدماتی که مشارکت در هر بخش انرژی مانند مسکونی یا تجارت را امکان‌پذیر می‌سازد را تسهیل خواهد کرد. یکی از اهداف این لایه مدیریت بازارهای انرژی به صورت شفاف است. به نظر می‌رسد دو گزینه برای این لایه در حال ظهور است: یکی از راه‌حل‌های ارائه شده استفاده از سکوها داده است، اما موردی قانع‌کننده‌تر در حال ظهور است که به لطف فناوری بلاک چین این نیاز را برآورده می‌سازد.

فن‌آوری‌های دیجیتال کمک‌های کلیدی در دستیابی به اهداف اتحادیه انرژی برای انتقال به یک سیستم انرژی ایمن، مقرون به صرفه و پاک در قرن بیست و یکم خواهند داشت. در سال‌های اخیر مدل‌های جدید دیجیتال‌سازی در بالادست و پایین‌دست در زنجیره ارزش انرژی ظاهر شده‌اند. در بالادست، مدل‌های جدید برای به دست آوردن درآمد حاصل از توزیع، ذخیره‌سازی و پاسخ تقاضا ظاهر می‌شوند. در پایین‌دست، خدمات و اپراتورهای شبکه به سمت مدل شرکت خدمات انرژی حرکت می‌کنند و تلاش می‌کنند تا با مشتری تعامل کنند. در هر دو مدل، روش‌های کسب‌وکار جدیدی برای پذیرش بیشتر و موفقیت در انتقال انرژی به وجود آمده است.

در ادامه نمای کلی از عوامل تأثیرگذار در سراسر اروپا را ارائه می‌شود.

- اینترنت اشیاء که ممکن است تبدیل به یک سیستم یکپارچه فیزیکی سایبری شود
- حس‌گرهای پیشرفته
- اینترنت ایمن
- ارتباطات 5G
- وسایل نقلیه الکتریکی

¹ Infrastructure Layer

² Edge Computing

³ Business Layer

- ذخیره‌سازی توزیع‌شده همراه با تأسیسات PV^1 و DSM^2 که از توسعه جامعه محلی انرژی پشتیبانی می‌کنند
- کلان داده‌ها، تجزیه و تحلیل داده‌ها، داده‌کاوی که از نوآوری و سرمایه‌گذاری‌های جدید پشتیبانی می‌کند
- خدمات مبتنی بر عامل، برنامه‌های شبیه‌سازی و پیش‌بینی
- مفهوم همزاد دیجیتال که برای دارایی‌ها و دستگاه‌های هوشمند اعمال می‌شود
- مدل‌سازی پیشرفته مشتری شامل رفتار، کنترل‌های محلی، منابع و غیره
- جوامع پیشرفته انرژی، ریز شبکه‌ها برای مقاومت، مدیریت انرژی و مشارکت شبکه
- فناوری بلاک چین

۲-۴- فعالیت‌های تحقیقاتی مرتبط در موسسه تحقیقات انرژی الکتریکی (EPRI³) [۵، ۲]

موسسه تحقیقات انرژی الکتریکی یک سازمان مستقل و غیرانتفاعی آمریکایی است که تحقیق و توسعه مربوط به تولید، توزیع و استفاده از برق را برای کمک به رفع چالش‌های صنعت برق انجام می‌دهد. چالش‌های موردبررسی عبارت‌اند از قابلیت اطمینان، کارایی، مقرون به صرفه بودن، ایمنی و محیط‌زیست. این شرکت با همکاری تعداد زیادی از ذینفعان صنعت برق حالاتی که در آینده این صنعت می‌توان متصور شد را تعیین نموده و فاصله بین آن‌ها با حالت فعلی را شناسایی نموده است. این گزارش که با عنوان "نقشه راه فن‌آوری ارتباطات و اطلاعات" [۵]، برنامه عملکردی مناسبی و به عبارت دیگر نقشه راهی برای رسیدن به آینده پیش‌بینی‌شده را برای رفع این فاصله ارائه نموده است. این نقشه راه هر ساله با بررسی مجدد متخصصین شرکت EPRI بر اساس یافته‌ها و پیشرفت‌های جدید فن‌آوری به‌روزرسانی می‌شود. در ادامه به بررسی اهم نکات ذکرشده در این نقشه راه پرداخته می‌شود. جدول ۴-۲ خلاص‌های از مأموریت‌ها، محرک‌ها و حالت‌های آتی را ارائه می‌کند.

EPRI این نقشه راه و پروژه‌های مرتبط را تحت برنامه شماره ۱۶۱ خود و در قالب چند زیر بخش پیگیری می‌کند:

- فناوری اطلاعات و ارتباطات کاربردی در حوزه انتقال (161B)
- فناوری اطلاعات و ارتباطات کاربردی در حوزه توزیع (161C)

¹ Photovoltaic

² Demand-Side Management

³ Electric Power Research Institute

- فناوری اطلاعات و ارتباطات کاربردی در حوزه منابع تولید پراکنده (161D)
- اقدامات مهم معماری و یکپارچه‌سازی (161E)
- زیرساخت‌های AMI (161F)
- ارتباطات راه دور (161G)

جدول ۴-۲ مأموریت‌ها، محرک‌ها و حالت‌های آتی

مأموریت	محرک	برنامه‌های عملیاتی برای شکاف‌های موجود	حالت‌های آتی
"فناوری اطلاعات و ارتباطات باعث فعال‌سازی ارتباطات داده محور، ادغام و تجزیه و تحلیل از طریق مدیریت، همکاری، استانداردها و فن‌آوری نوآوری می‌گردد"	• قابلیت همکاری^۱ • مدیریت داده‌ها • ارتباطات فراگیر^۲ و محاسباتی • ادغام تجهیزات هوشمند، دستگاه‌های لبه^۳، دستگاه-های تلفن همراه و دستگاه-های اینترنت اشیاء	• کیفیت داده‌های GIS • ساختمان داده‌های استاندارد شده • سرمایه‌گذاری بر داده‌های پرسرعت، دقیق و زمان‌بندی شده • افزایش هوشمندی از طریق استاندارد سازی و ادغام با دیگر سیستم‌ها	مدیریت داده‌ها
		• قابلیت تعامل DER / DR • معماری‌های معتبر برای کنترل و ارتباطات برای DER / DR • بهینه‌سازی برای اتصال DER / DR	استاندارد سازی منابع انرژی توزیع شده
		• بلوغ معماری‌ها و یکپارچگی • کارایی کسب و کار • استانداردها و گواهی‌نامه‌ها شرکت‌های چابک	بلوغ در یکپارچگی معماری‌ها
		• سیستم‌های زیرساختی اندازه‌گیری پیشرفته به صورت همکاری پذیر و باز • بهینه‌سازی سیستم‌های اندازه‌گیری پیشرفته	بهره‌گیری از زیرساخت اندازه‌گیری پیشرفته به صورت بهینه
		• شبکه‌های میدانی قابل تعامل و قابل اعتماد • بهینه‌سازی استفاده از طیف‌های موجود • گسترش فیبرهای شبکه زیرساخت • سیستم یکپارچه مدیریت شبکه • همکاری پذیری شبکه در قالب استانداردهای پروتکلی	ارتباطات از راه دور فراگیر ^۴

¹ Interoperability² Pervasive Communications³ Edge Devices⁴ Pervasive Telecommunication

در جدول ۵-۲ وضعیت آینده مشخص شده در هرکدام از زیرشاخه‌های برنامه ۱۶۱ شرح داده شده است:

جدول ۵-۲ وضعیت آینده مشخص شده در هرکدام از زیرشاخه‌های برنامه ۱۶۱

فناوری اطلاعات و ارتباطات					
					
ارتباطات راه دور (161G)	زیرساخت‌های (161F) AMI	معماری پیشرفته و یکپارچه‌سازی (161E)	فناوری اطلاعات و ارتباطات کاربردی در حوزه منابع تولید پراکنده (161D)	فناوری اطلاعات و ارتباطات کاربردی در حوزه توزیع (161C)	فناوری اطلاعات و ارتباطات کاربردی در حوزه انتقال (161B)
وضعیت آینده	وضعیت آینده	وضعیت آینده	وضعیت آینده	وضعیت آینده	وضعیت آینده
- شبکه‌های محلی فیلد قابل اطمینان و سازگار با یکدیگر - استفاده بهینه از طیف در دسترس - استفاده شبکه‌های ناحیه گستره (WAN) از فناوری‌های مبتنی بر بسته - توسعه زیرساخت فیبری - سازگاری سیستم‌های ارتباط راه دور با یکدیگر در قالب استانداردها	- سیستم‌های اندازه‌گیری باز و سازگار با یکدیگر - شیوه‌های برتر اثبات‌شده برای تعمیر و نگهداری سیستم‌های AMI - ارزش و استفاده بهینه سیستم‌های AMI	- بلوغ معماری پیشرفته - بلوغ یکپارچه‌سازی - بهره‌وری کسب‌وکار شامل: همگرایی فناوری اطلاعات و فناوری‌های عملیاتی - استانداردها و گواهینامه‌ها - کسب‌وکار چابک	- منابع تولید پراکنده - تعامل‌پذیر^۱ و شامل پاسخ تقاضا - معماری ارتباطی و کنترلی - اعتبارسنجی شده برای منابع تولید پراکنده - شیوه عمل بهینه‌سازی شده برای اتصال DER/DR	- مدل‌های دقیق داده و سیستم - نیروی کار و تجهیزات متصل به هم - افزایش هوشمندی به واسطه استانداردها و یکپارچه‌سازی	- ساختارهای داده استاندارد - داده‌های با سرعت و دقت بالا و دارای برچسب زمانی - تبدیل داده‌های با سرعت و دقت بالا و دارای برچسب زمانی به سرمایه

¹ interoperable

در سند نقشه راه EPRI، فاصله وضعیت فعلی با هر کدام از وضعیت‌های پیش‌بینی شده مطلوب در آینده با عنوان شکاف^۱ تعریف شده است، و برای پیمودن این فاصله در سند برنامه عملیاتی^۲ ارائه شده است. برنامه عملیاتی مذکور در هر کدام از زیرمجموعه‌های برنامه ۱۶۱ که در جدول ۵-۲ نیز آمده است منجر به تعریف و انجام پروژه‌هایی در برنامه سالانه تحقیقاتی شرکت EPRI شده است. در این سند فعالیت‌های انجام شده تا سال ۲۰۱۸ و پروژه‌هایی که در سال‌های آینده انجام خواهند شد در قالب جداولی آورده شده‌اند. با توجه به رویکرد پروژه جاری، در زیرشاخه ارتباطات راه دور (161G)، وضعیت آینده به صورت زیر ارائه شده است:

- ✓ شبکه‌های محلی فیلد قابل اطمینان و سازگار با یکدیگر
- ✓ استفاده بهینه از طیف در دسترس
- ✓ استفاده شبکه‌های ناحیه گستره (WAN) از فناوری‌های مبتنی بر بسته
- ✓ توسعه زیرساخت فیبری
- ✓ سازگاری سیستم‌های ارتباط راه دور با یکدیگر در قالب استانداردها

۵-۲- موسسه اقتصاد انرژی کره (KEEI^۳) [۷،۶،۲]

موسسه اقتصاد انرژی کره در اول سپتامبر ۱۹۸۶ تأسیس شده است تا سیاست‌هایی در مورد انرژی و منابع طبیعی در کره جنوبی را تدوین کند. این موسسه با جمع‌آوری، تحقیق، تجزیه و تحلیل و انتشار اطلاعات به اقتصاد ملی کره کمک می‌کند. اطلاعات مورد بررسی برای کمک به سیاست‌گذاران در مورد انواع روندها و اطلاعات مربوط به انرژی و منابع طبیعی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در ادامه گزارش این موسسه در حوزه انرژی مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد.

۲-۵-۱- بررسی گزارش توسعه همگرایی فن‌آوری‌های اطلاعات و ارتباطات و تأثیر آن بر بخش

انرژی [۶]

بر طبق گزارش این موسسه، فناوری اطلاعات و ارتباطات تأثیر زیادی در بخش انرژی ایجاد خواهد کرد و باعث ایجاد ارزش‌های جدید خواهد شد [۶]. توسعه و همگرایی این فن‌آوری‌ها در بخش انرژی باعث افزایش رقابت، بهره‌وری، ایمنی و ویژگی‌های سازگاری با محیط زیست نیز خواهند شد. همگرایی فن‌آوری اطلاعات و

^۱ gap

^۲ action plan

^۳ Korea Energy Economics Institute

ارتباطات در بخش انرژی موجب ایجاد تغییرات عظیم در سیاست‌ها شده است که برخی از آن‌ها در ادامه بررسی شده‌اند.

فراتر از مباحث مربوط به فناوری‌های جدید، حرکت به سمت انرژی هوشمند به‌طور گسترده‌ای جنبه‌های اجتماعی و اقتصادی را در بر گرفته است که مرتبط با تغییر زنجیره ارزش در صنایع انرژی و گسترش مشارکت مشتریان در بازارهای انرژی و ذینفعان مختلف است.

معرفی فناوری‌های جدید ساختارهای صنعتی را تغییر داده است و شرایط بازار را نیز دچار تحولات شگرفی کرده است. در این بازار جدید نقش مشتریان نیز تغییر کرده است. در گذشته آن‌ها مصرف‌کننده بودند و صرفاً انرژی مصرف می‌کردند ولی اکنون بیشتر به نظر می‌رسد که نقش تولیدکننده و فعال در بازار را به خود اختصاص داده‌اند. لازم به ذکر است که ذینفعان مختلفی در حوزه منابعی مانند نفت، گاز، هسته‌ای و تجدید پذیر در پاسخ به مباحث مربوط به انرژی پدید آمده‌اند.

در این گزارش از دوره‌ای نام‌برده می‌شود که به آن دوره همگرایی گفته می‌شود که در آن دوره تلفیقی بین فناوری‌ها و بخش‌های متفاوت صنعت و انرژی رخ می‌دهد و حاصل این تلفیق زنجیره‌های ارزش جدید خواهند بود. تغییرات در صنایع انرژی با توجه به همگرایی فناوری اطلاعات و ارتباطات نیازمند افزایش پیش‌ران انرژی خواهد بود.

لازم به ذکر است که مسیر تحویل ارزش‌ها از یک‌جهت به چندین جهت متنوع شده است. خواسته‌های مشتریان به‌طور فزاینده‌ای در این مسیر تأثیرگذار بوده‌اند. تحت این شرایط، مصرف‌کنندگان انرژی شروع به مشارکت با شبکه کرده‌اند و در فرآیند تولید انرژی فراتر از مصرف انرژی ظاهر خواهند شد. در سال‌های اخیر ایجاد بازارهای انرژی پیشرو به‌شدت ترویج یافته است. افزایش نفوذ سکوها¹ در حوزه انرژی بسیار محسوس خواهند بود. شبکه‌های هوشمند، که انرژی و اطلاعات را به جهات مختلف ارائه می‌دهند، انتظار می‌رود از تعامل بین همه شرکت‌کنندگان حمایت کنند که این امر نیازمند یک سکوی مناسب جهت تعامل است. در این راستا رویکردهای فن‌آورانه می‌توانند بسیار مؤثر باشند.

¹ Platforms



شکل ۳-۲ رویکردهای فناورانه و تأثیر بر صنایع [۶]

در گزارش فوق‌الذکر که توسط موسسه اقتصاد انرژی کره منتشر شده بود به‌صورت ضمنی از نتایج گزارش دو موسسه گارتنر و مکنزی در جمع‌آوری فناوری‌های نوین استفاده شده است. در شکل ۳-۲ رویکردهای نوین تحقیقاتی قابل مشاهده است. این رویکردها که آینده همگرایی فناوری اطلاعات و ارتباطات در بخش انرژی را رقم می‌زنند عبارت‌اند از:

- گسترش اینترنت اشیاء و اتصال همه اجزاء به شبکه: نه تنها افراد بلکه همه چیزهای مختلف به اینترنت متصل خواهند شد.
- ارتقاء مشاغل تجزیه و تحلیل کلان داده‌ها
- گسترش مدل‌های رایگان مانند وب سرویس‌ها
- استفاده از خدمات شبکه‌های اجتماعی به عنوان ابزارهای تجاری فراتر از آن روابط اجتماعی
- گسترش مدل‌های کسب و کار به عنوان سرویس

۲-۶- فعالیت‌های تحقیقاتی مرتبط در کمیسیون اروپا [۸]

پروژه‌ی READY4SmartCities از مجموعه فعالیت‌های FP7 تحت حمایت کمیسیون اروپا با بودجه تقریبی ۱.۳۶ میلیون یورو مرتبط با موضوع شهر هوشمند می‌باشد. شهرهای هوشمند باید با به‌کارگیری منابع تجدیدپذیر و تولید غیرمتمرکز انرژی، نیاز خود به انرژی را برطرف کنند هرچند وجود نیروگاه‌های در مقیاس بزرگ خارج از شهرها نیز الزامی است برخی از موانع موجود بر سر به‌کارگیری کامل راهکارهای فناوری اطلاعات و ارتباطات را می‌توان به شرح زیر برشمرد:

- نبود مقررات و خط‌مشی همکاری نهادهای مرتبط
 - تضاد منافع برخی نهادها
 - همچنین کامل نبودن طرح‌های به‌کارگیری فناوری اطلاعات و ارتباطات در شبکه قدرت با برطرف شدن این موانع انتظار می‌رود بهره‌وری تولید و توزیع انرژی افزایش یابد و هزینه‌های شبکه نیز کاهش یابد.
- طرحی کلی از نقشه راه توسعه و تحقیقات بر روی بخش صنعت برق و انرژی در شهرهای هوشمند ذیل فعالیت‌های انجام‌شده در پروژه READY4SmartCities [۸] ارائه شده است؛ در این طرح کلی، نقشه راه تحقیقات به سه بخش کوتاه‌مدت و میان‌مدت و بلندمدت تقسیم‌شده و نیازمندی‌های اصلی سیستم‌های انرژی و برق در شهرهای هوشمند معرفی شده و نقش فناوری اطلاعات برای پاسخ به این نیازها تشریح شده است.
- مشارکت و همکاری سازمان‌های مرتبط در به‌کارگیری فناوری اطلاعات در شبکه قدرت که موجب افزایش بهره‌وری شبکه و کاهش هزینه‌های آن می‌شود در چشم‌انداز شهرهای هوشمند مورد توجه قرار گرفته است. در این نقشه راه ارائه شده، به‌کارگیری منابع انرژی تجدید پذیر و تولید غیرمتمرکز انرژی در سطح شهر و همچنین موارد مرتبط با بازار انرژی و کارگزاری انرژی بررسی شده است.
- چشم‌انداز این نقشه راه در صنعت برق و انرژی شهر هوشمند به این شرح است:
- " شبکه قدرت در شهرهای هوشمند باید کارآمد و منعطف و بهینه شده باشد. تأمین انرژی باید به صورت پایدار توسط منابع انرژی تجدید پذیر و محلی صورت گیرد."
- در ادامه موارد بررسی شده و مورد انتظار این نقشه راه به طور خلاصه بررسی شده است:

۲-۶-۱- برنامه ریزی برای شبکه برق

۲-۶-۱-۱- چالش‌ها و نکات کلیدی

- برنامه ریزی برای شبکه برق باید بر اساس بدترین وضعیت و چگالی تقاضای منطقه‌ای انجام شود.
- شبکه‌های غیرمتمرکز به صورت ایزوله مدیریت می‌شوند که نیاز است یکپارچه سازی شوند.

- بهینه‌سازی تولید و مصرف در شبکه به صورت محلی و منطقه‌ای انجام می‌شود که نیاز است به صورت یکپارچه در سطح شهری انجام شود.

۲-۶-۱-۲- نیازمندی‌های اصلی

نیازمندی‌های اصلی برنامه‌ریزی شبکه برق در جدول ۶-۲ ارائه شده است.

جدول ۶-۲ نیازمندی‌های اصلی برای برنامه‌ریزی شبکه برق

بلندمدت	میان مدت	کوتاه مدت
به کارگیری راهکارهای فناوری اطلاعات و ارتباطات برای اشتراک گذاری اطلاعات شبکه‌های محلی در سطح شهر هوشمند	به کارگیری راهکارهای فناوری اطلاعات و ارتباطات برای تکامل بازار انرژی	تجمع سیستم‌های سرمایش و گرمایش به وسیله نوآوری در طراحی فیزیکی
	در نظر گرفتن چرخه حیات و پایداری در طراحی شبکه‌های قدرت	مدل سازی شبکه با در نظر گرفتن تقاضا
	استانداردسازی انتقال اطلاعات بین شبکه‌های محلی و منطقه‌ای	طراحی شبکه قدرت با در نظر گرفتن وضعیت شبکه به صورت پویا

۲-۶-۲- مدیریت سمت تقاضا

۲-۶-۲-۱- چالش‌ها و نکات کلیدی

- مدیریت در سمت تقاضا در بخش‌های مختلف صنعت برق بکار گرفته شده است ولی در سطح شهر هوشمند انجام نشده است.
- کنترلهای هوشمند از راه دور قابل کنترل و نظارت باشند.
- استفاده از کنترلهای هوشمند روز به روز در حال توسعه افزایش است.

۲-۶-۲-۲- نیازمندی‌های اصلی

نیازمندی‌های اصلی مدیریت سمت تقاضا در جدول ۶-۷ ارائه شده است.

جدول ۶-۷ نیازمندی‌های اصلی مدیریت سمت تقاضا

بلندمدت	میان مدت	کوتاه مدت
مدیریت سمت تقاضا تعامل میان تولیدکننده و مصرف‌کنندگان را فعال و متعادل می‌سازد. پاسخ خودکار به وضعیت شبکه مورد انتظار خواهد بود.	استانداردسازی برای ارتباط میان گره‌های مختلف شبکه قدرت	طراحی کنترلر هوشمند با قابلیت انتقال اطلاعات دوطرفه
	تعادل مصرف انرژی و کنترل پیک‌بار از طریق تخمین تقاضا	

۲-۶-۳- مدیریت شبکه برق به صورت محلی

۱-۳-۶-۲- چالش‌ها و نکات کلیدی

- مدیریت شبکه الکتریکی به وسیله کنترل ولتاژ و فرکانس انجام می‌شود که نیاز است نوع مصرف و منطقه نیز در آن لحاظ شود.
- پاسخ به تقاضا به صورت خودکار توسط ارائه‌دهندگان سرویس فقط برای مشترکان و مشتریان بزرگ بکار گرفته می‌شود.

۲-۳-۶-۲- نیازمندی‌های اصلی

نیازمندی‌های اصلی در جدول ۸-۲ ارائه شده است.

جدول ۸-۲ نیازمندی‌های اصلی مدیریت شبکه برق به صورت محلی

بلندمدت	میان مدت	کوتاه مدت
کاهش هزینه‌های مدیریتی	استانداردسازی برای مخابره اطلاعات میان شبکه‌های هوشمند و ساختمان‌ها	مدیریت شبکه به صورت منطقه‌ای و محلی بر اساس نوع مصرف و منطقه (نوع ساختمان، نوع سیستم انرژی به کار گرفته شده، شرایط آب و هوایی منطقه) برای کلیه مشترکان نه فقط مشترکان بزرگ انجام می‌شود.
		در نظر گرفتن تولیدکنندگان انرژی تجدید پذیر در نوسازی ساختمان‌ها

۲-۶-۴- مدیریت شبکه‌های هیبریدی

شبکه‌های انرژی هیبریدی جزئی از چشم‌انداز شبکه‌های هوشمند هستند که شامل بخش‌های مختلف شبکه‌های انرژی مانند شبکه برق و سیستم‌های حرارتی می‌شوند. مدیریت بهینه انرژی برای این شبکه‌های پیچیده نیاز به راهکارهای فناوری اطلاعات دارند که قادر به نظارت و کنترل سیستم‌های متصل هستند. راه‌حل‌های کنونی مدیریت و نظارت بر سیستم‌های حرارتی مبتنی بر فناوری اطلاعات در سطح محلی بکار گرفته می‌شوند و قادر به ارائه برخی کاربردهایی که تعامل بین مشترکان و تولیدکنندگان را کنترل می‌کنند نیستند. بهینه‌سازی عملکرد این سیستم‌ها در سطوح بالاتر شبکه انجام نمی‌شود. انتظار می‌رود، در کوتاه مدت حجم اطلاعات منتقل شده بین بخش‌های مرتبط به صورت محسوسی افزایش یابد. بنابراین نیاز به داده‌های مطمئن برای بهینه‌سازی شبکه وجود داشته باشد. همچنین به کارگیری راهکارهای نوین مبتنی بر فناوری اطلاعات برای پیاده‌سازی واحدهای اندازه‌گیری در سمت مصرف‌کننده مانند واحد تنظیم حرارت یا واحد پروفایل مصرف و در سمت تولیدکننده مانند واحد تنظیم حرارت حیاتی است. در میان مدت، برای مدیریت شبکه‌های وسیع با تولید انرژی غیرمتمرکز در سطوح شهری، راهکارهای فناوری اطلاعات برای ارزیابی استراتژی‌های کنترلی ضروری است. همچنین اجزای شبکه هوشمند در مقیاس‌های گوناگون باید در مشارکت با یکدیگر باشند تا تعادلی در مصرف و تولید انرژی به وجود آید. در بلندمدت، باید مدیریت و نظارت بر شبکه‌های هیبریدی در سطوح شهری اجرا شود. همچنین برای صرفه اقتصادی باید مشارکت بین همه بخش‌های شبکه برق و حرارتی و گازی انجام شود.

۱-۴-۶-۲- چالش‌ها و نکات کلیدی

- اکثر راهکارهای فناوری اطلاعات و ارتباطات تعاملی بین تولیدکننده و مصرف‌کننده ایجاد نمی‌کنند.

- بهینه‌سازی مصرف انرژی در سطح محلی انجام می‌شود که نیاز است این بهینه‌سازی در سطح شهری انجام شود.
- مشارکتی در مدیریت تولید شبکه‌های دومنظوره یا هیبریدی وجود ندارد. در شبکه دومنظوره، منابع به دو بخش تجدید پذیر و تجدید ناپذیر تقسیم می‌شوند. نیاز است که این مشارکت به وجود آید.

۲-۴-۶-۲- نیازمندی‌های اصلی

نیازمندی‌های اصلی مدیریت بهینه انرژی در جدول ۹-۲ ارائه شده است.

جدول ۹-۲ نیازمندی‌های اصلی مدیریت بهینه انرژی

بلندمدت	میان‌مدت	کوتاه‌مدت
شبکه‌های دومنظوره بایستی به‌صورت زمان حقیقی مدیریت و کنترل شوند	ابزار مدیریت برای تولید انرژی غیرمتمرکز محلی در شهر	نیاز به کسب اطلاعات درباره تولید و تقاضای انرژی
بهینه‌سازی و تعامل بین سیستم‌های پیچیده تولید انرژی در سطح شهری	تعامل واحدهای شهر هوشمند برای مدیریت مصرف انرژی بهینه	نیاز به ارائه راهکارهای فناوری اطلاعات برای اندازه‌گیری در سمت تقاضا و تولید برای مصرف بهینه انرژی

۲-۶-۵-۲- مدیریت شبکه برق بر اساس مشخصه‌های عملکرد

۲-۶-۵-۱- نکات کلیدی

- شهر هوشمند می‌تواند بر اساس مشخصه‌هایی عملکردی، انرژی را مدیریت و کنترل کند.

۲-۶-۵-۲- نیازمندی‌های اصلی

نیازمندی‌های اصلی مدیریت شبکه برق بر اساس مشخصه‌های عملکرد در جدول ۱۰-۲ ارائه شده است.

جدول ۱۰-۲ نیازمندی‌های اصلی مدیریت شبکه برق بر اساس مشخصه‌های عملکرد

بلندمدت	میان‌مدت	کوتاه‌مدت
راهکارها باید دارای ویژگی مشارکت بین نهادها باشند	مشارکت و ردوبدل کردن اطلاعات برای پشتیبانی از مدیریت و کنترل در شبکه	نیاز به انجام پایلوت برای بررسی تحلیل عملکرد شبکه
استانداردسازی برای انتقال و ردوبدل اطلاعات نیاز است	بین شاخص‌های مختلف ارزیابی باید هماهنگی وجود داشته باشد	نیاز به تعیین شاخص‌هایی برای ارزیابی وضعیت شبکه و همین‌طور نیاز به خطی‌مشی برای تعیین ارزش برای نهادهای مرتبط

۶-۶-۲- قیمت‌گذاری و بازار انرژی

۶-۶-۶-۱- نکات و چالش‌های کلیدی

- کارگزاری انرژی از طریق خرید انرژی و فروش آن در زمان غیرواقعی میسر است و لازم است خرید و فروش به صورت زمان-واقعی انجام شود.
- تعداد کمی کارگزاری انرژی در اروپا وجود دارد و همین‌طور تعداد کمی از آن‌ها از راهکارهای مبتنی بر فناوری اطلاعات پشتیبانی می‌کنند.
- کنتورهای هوشمند می‌توانند در قیمت‌گذاری انرژی به صورت زمان حقیقی نقش داشته باشند.

۶-۶-۶-۲- نیازمندی‌های اصلی

نیازمندی‌های اصلی قیمت‌گذاری و بازار انرژی در جدول ۱۱-۲ ارائه شده است.

جدول ۱۱-۲ نیازمندی‌های اصلی قیمت‌گذاری و بازار انرژی

کوتاه مدت	میان مدت	بلند مدت
برقراری دستگاه‌ها و پروتکل‌های ارتباطی میان ساختمان‌ها و شبکه قدرت	تعرفه انرژی چند نرخ	تعامل بر تعرفه قیمت انرژی بین کنتورهای هوشمند
کارگزاری انرژی بر اساس اطلاعات و سابقه تقاضای ساختمان‌ها	پشتیبانی از مدیریت در سمت تقاضا	واکنش ساختمان‌ها بر قیمت‌گذاری در کارگزاری انرژی به وسیله تجهیزات الکتریکی
ارائه راهکارهای فناوری اطلاعات برای اندازه‌گیری هوشمند و فعال‌سازی استفاده در کارگزاری انرژی	تخمین پروفایل تولید انرژی و تقاضای انرژی	

۲-۷- جمع‌بندی

در این فصل، بررسی نقشه راه فناوری اطلاعات و ارتباطات در شبکه هوشمند در فعالیتهای تحقیقاتی مؤسسات به شرح زیر انجام شده است:

- نهاد بین‌المللی ارتباطات (ITU)
- موسسه استاندارد ارتباطات راه دور اروپا (ETSI)
- موسسه تحقیقاتی انرژی الکتریکی آمریکا (EPRI)
- موسسه اقتصاد انرژی کره (KEEI)
- کمیسیون اروپا (اعلام‌شده در سایت CORDIS)؛

در ابتدا در بخش ۲-۲ نقش فناوری اطلاعات و ارتباطات در توسعه صنعت برق و انرژی که برگرفته از اسناد منتشر شده سازمان ITU می‌باشد تعیین شده است.

بررسی گزارش‌های موسسه استاندارد ارتباطات راه دور اروپا (ETSI) در حوزه دیجیتالی شدن فرآیندهای انتقال و توزیع در بخش ۲-۳، ارائه شده است. در ادامه نقشه راه فناوری ارتباطات و اطلاعات موسسه تحقیقات انرژی الکتریکی آمریکا (EPRI) در بخش ۲-۴ ارائه شده است و در بخش ۲-۵ نیز گزارش توسعه همگرایی موسسه اقتصاد انرژی کره (KEEI) بررسی شده است. در پایان، در بررسی‌های انجام‌شده در بخش ۲-۶، الگوی مورد انتظار برای توسعه و تحقیقات بخش ICT در صنعت برق شهر هوشمند ارائه شده است که از نتایج پروژه READY4SmartCities که تحت حمایت کمیسیون اروپا می‌باشد و در سایت Cordis اطلاعات آن قابل

رهگیری می‌باشد استخراج شده است؛ این پروژه در کشور ایتالیا بین سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۵ زیرمجموعه‌ی برنامه FP7 انجام شده است. این بررسی‌ها دلالت بر ایفای نقش کلیدی به‌کارگیری و توسعه‌ی فناوری اطلاعات و ارتباطات در هوشمندسازی شبکه برق دارد و جمع‌بندی اسناد مذکور در قالب جدول ۲-۱۲ ارائه شده است.

جدول ۲-۱۲ جمع‌بندی بررسی‌های انجام شده در مورد کاربرد و نقش فاوا در شبکه هوشمند

سند	حوزه	نقش فاوا	
		در کشور توسعه یافته	در کشور در حال توسعه
ITU	سرویس و مصرف	کاهش هزینه مصرف مشترکان به واسطه مدیریت درخواست‌ها	ایجاد کسب‌وکار اقتصادی برای ارائه‌دهندگان سرویس
ITU	تولید و سرویس	بهبود بهره‌وری و کاهش هزینه‌های تولیدکنندگان و ارائه‌دهندگان سرویس به واسطه ایجاد محیط نظارت و مدیریت انرژی	تسهیل ایجاد قابلیت تولید توان محلی برای مشترکین محلی
ITU	انتقال و توزیع	-	پایداری دسترسی به انرژی الکتریکی به واسطه ایجاد امکان نظارت زمان-واقعی بر روی شبکه و عیب‌یابی و ایزوله سازی و محافظت از شبکه
ITU	سرویس، تولید و مصرف	گسترش تأمین انرژی به‌صورت غیرمتمرکز به واسطه ایجاد ساختار مدیریت درخواست و ابزارهایی مثل کنترل‌های هوشمند و خودروهای الکتریکی از طریق جمع‌آوری اطلاعات و پردازش آن‌ها	ظهور مدل‌های اقتصادی جدید برای ارائه‌دهندگان سرویس از طریق به‌کارگیری فاوا
ITU	تولید و مصرف	تأثیر مثبت در بهره‌وری انرژی بخش تولید و در بخش تقاضا	کاهش مصرف انرژی با نظارت خودکار و مدیریت مصرف انرژی
ETSI	انتقال و توزیع	افزایش امنیت و پایداری سیستم با بهبود قابلیت مشاهده و کنترل‌پذیری (اروپا)	-
ETSI	انتقال	ایجاد امکان دیجیتال کردن سیستم انرژی (اروپا)	-
ETSI	انتقال	ایجاد امکان مدرن سازی سیستم انرژی (اروپا)	-

ETSI	انتقال	کمک به انعطاف پذیری سیستم برق از طریق یکپارچه‌سازی منابع، مدیریت پاسخ و تقاضا، تعامل با دیگر شبکه انرژی غیر الکتریکی (اروپا)	-
ETSI	انتقال	نقش مثبت در کارآمدی اقتصادی سیستم انرژی با یکپارچه‌سازی شبکه برق- بازار، مدل‌های کسب‌وکار و طراحی بازار منعطف (اروپا)	-
ETSI	بازار برق	فاوا جزو ملزومات دیجیتال کردن سیستم انرژی با هدف فعال کردن بازار تجارت آزاد و شفاف انرژی با امکان برابر برای مشارکت بازیگران متعدد (اروپا)	-
EPRI	انتقال	کاربرد فاوا برای ایجاد و انجام موارد ذیل: -ساختارهای داده استاندارد -داده‌های با سرعت و دقت بالا و دارای برچسب زمانی -تبدیل داده‌های با سرعت و دقت بالا و دارای برچسب زمانی به سرمایه (آمریکای شمالی)	-
EPRI	توزیع	کاربرد فاوا برای ایجاد و انجام موارد ذیل: -مدل‌های دقیق داده و سیستم -نیروی کار و تجهیزات متصل به هم -افزایش هوشمندی به واسطه استانداردها و یکپارچه‌سازی (آمریکای شمالی)	-
EPRI	تولید	کاربرد فاوا در توسعه منابع تولید پراکنده: -منابع تولید پراکنده تعامل‌پذیر و شامل پاسخ تقاضا	-

	- معماری ارتباطی و کنترلی اعتبارسنجی شده برای منابع تولید پراکنده - شیوه عمل بهینه‌سازی شده برای اتصال DER/DR (آمریکای شمالی)		
-	کاربرد فاوا در معماری پیشرفته و یکپارچه سازی شامل: - بلوغ معماری پیشرفته - بلوغ یکپارچه‌سازی - بهره‌وری کسب‌وکار (آمریکای شمالی)	بهره‌برداری	EPRI
-	کاربرد فاوا در AMI با محورهای ذیل: - سیستم‌های اندازه‌گیری باز و سازگار با یکدیگر - شیوه‌های برتر اثبات‌شده برای تعمیر و نگهداری - ارزش و استفاده بهینه (آمریکای شمالی)	مصرف	EPRI
	نیاز به فاوا برای حرکت به سمت انرژی هوشمند و تغییر زنجیره ارزش در صنایع انرژی و گسترش مشارکت مشتریان در بازارهای انرژی و ذینفعان مختلف (کره جنوبی)	تولید، مصرف، بازار برق، بهره‌برداری	KEEI

۸-۲- مراجع فصل دوم

[1] ITU, "ICT for ENERGY – Telecom and Energy Working Together for Sustainable Development", 2017

[۲] گزارش مرحله‌ای دوم پروژه " شناسایی فناوری های نوین ICT برای حل چالش‌های ساختارهای نوین

صنعت برق"، گروه پژوهشی فناوری اطلاعات و ارتباطات، پژوهشگاه نیرو، سال ۹۸

[3] "European Network of Transmission System Operators for Electricity," *R&I Roadmap 2017 - 2026*, 2019. .

[4] "Digitalization of the Energy System and Customer Participation: Description and recommendations of Technologies, Use Cases and Cybersecurity." [Online]. Available:

[5] "Electric Power Research Institute," 2019. [Online]. Available: <https://smartgrid.epri.com>. [Accessed: 06-Sep-2019].

<https://www.etip-snet.eu>. [Accessed: 31-Aug-2019].

[6] C. K. Park, H. J. Kim, and H. S. Yoo, "Development of ICT Convergence and its Influences on Energy Sectors," *Korea Energy Econ. Inst.*, p. 30.

[7] C. K. Park, H. J. Kim, and H. S. Yoo, "Development of ICT Convergence and its Influences on Energy Sectors," *Korea Energy Econ. Inst.*, p. 30.

[8] READY4SmartCities - ICT Roadmap and Data Interoperability for Energy Systems in Smart Cities, 2015

فصل ۳- بررسی نقشه راه توسعه 5G در جهان

۳-۱- مقدمه

زیرساخت‌های شبکه 5G باید به سرعت و با انعطاف لازم، با انواع متنوعی از نیازمندی‌ها هماهنگی پیدا کند و از فناوری‌های مختلف برای سرویس‌ها و اتصال ادوات (مانند خودروها و اشیاء شهر هوشمند) بهره‌مند شود. معماری شبکه موبایل نسل پنجم برای پشتیبانی از انواع سناریوها و مدل‌های کسب‌وکار و نیازمندی‌های متنوع آن‌ها، نسبت به شبکه موبایل نسل چهارم تغییرات اساسی داشته است. این روش، با ساده‌سازی پروتکل‌ها و بهینه‌سازی روند ارائه سرویس‌ها باعث کاهش تأخیر می‌شود و با برقراری ارتباطات همزمان منجر به افزایش قابلیت اطمینان می‌گردد [۱].

پیش‌بینی می‌شود که فناوری موبایل نسل پنجم در سطح جهانی مزایای اقتصادی گسترده و پایداری ایجاد کند. سهم موبایل نسل پنجم در رشد GDP^۱ جهان در سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۵ به‌طور متوسط سالانه ۰.۲ درصد خواهد بود. همچنین، ارزش‌آفرینی موبایل نسل پنجم در کسب‌وکارها و صنایع عمودی و ایجاد مدل‌های جدید کسب‌وکار بسیار زیاد پیش‌بینی شده است [۲].

حرکت به سمت شبکه 5G و تکامل تدریجی^۲ آن یک فرایند بلندمدت خواهد بود. انتظار می‌رود که شبکه کنونی موبایل نسل چهارم برای مدت طولانی (حداقل ۱۰ سال [۳]) در کنار شبکه موبایل نسل پنجم به فعالیت ادامه دهد. در آینده، شبکه 5G با قابلیت‌های نوین مانند محاسبات ابری و اینترنت اشیاء ترکیب خواهد شد و به نیازمندی‌های صنایع، بهتر و بهینه‌تر پاسخ خواهد داد [۳].

اگرچه برای مراحل عملی پیاده‌سازی شبکه موبایل نسل پنجم پیکره‌بندی‌های مختلفی ارائه شده است اما GSMA [۵] دو مدل یا انتخاب اصلی ارائه کرده است که در شکل ۱-۳ دیده می‌شوند و عبارت‌اند از: مدل SA^۳ (سناریوی استقرار شماره ۴^۴) و مدل NSA^۵ (سناریوی استقرار شماره ۳). در این دو انتخاب، رادیوی نسل جدید (5G NR) در کنار شبکه نسل چهارم موجود در هر دو سطح شبکه رادیویی و شبکه هسته فعالیت می‌کند. به حالتی که تجهیز موبایل می‌تواند به‌صورت همزمان به شبکه رادیویی 4G و 5G NR متصل شود مدل NSA می‌گویند. اما به سناریویی که تجهیز موبایل فقط به یک تکنولوژی دسترسی رادیویی متصل می‌شود مدل SA اطلاق می‌شود.

¹ Gross domestic product

² Evolution

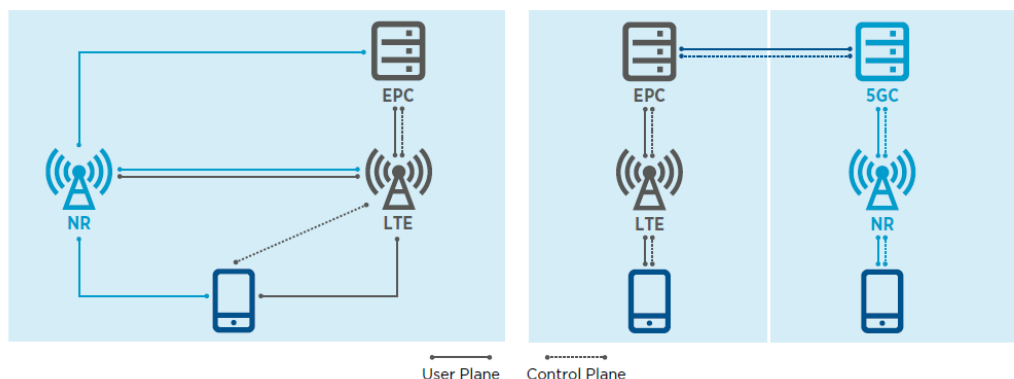
³ Standalone

⁴ Option

⁵ Non-standalone

NSA CONFIGURATION (OPTION 3). NR CONNECTED TO, AND CONTROLLED BY EXISTING 4G CORE NETWORK

SA CONFIGURATION (OPTION 2). NR CONNECTS TO THE 5G CORE ONLY. THE STANDALONE 5G SYSTEM INTERWORKS AT CORE NETWORK LEVEL WITH LEGACY 4G SYSTEM



شکل ۳-۱ دو مدل GSMA برای پیاده‌سازی موبایل نسل پنجم [۴]

در این فصل، تجاری‌سازی موبایل نسل پنجم و پیاده‌سازی آن برای کاربرد وسیع در دو سطح بین‌المللی و سطح کشورها به‌صورت جداگانه بررسی شده است. ۳ دیدگاه اصلی که در سطح بین‌المللی مورد مطالعه قرار دارند عبارت‌اند از استانداردسازی طیف فرکانسی، تقاضای سرویس از طرف صنایع و توسعه ادوات.

در بخش ۳-۳، تحول شبکه موبایل از نسل چهارم به نسل پنجم در سطح ملی نیز در دو بخش نقشه راه طیف فرکانسی (دیدگاه رگلاتوری) و تحول زیرساختی بررسی شده است.

در بخش ۳-۴، نقشه راه توسعه موبایل نسل پنجم در برخی از کشورهای دنیا با تمرکز بر برنامه‌ها در سطح ملی و روند اجرایی اپراتورهای بزرگ مخابراتی بررسی و ارائه شده است. در پایان گزارش نیز جمع‌بندی و مراجع ذکر شده‌اند.

لازم به ذکر است که هدف این بررسی، استخراج اطلاعات در جهت تدوین و نگاشت نقشه راه 5G به کشور نمی‌باشد (که البته این جزو وظایف نهادهای و اپراتورهای مخابراتی کشور است) بلکه آگاهی از مسیر تکاملی این فناوری در کشورهای پیشرفته مد نظر بوده است که بر تکامل فناوری و در نتیجه بهره‌مندی سایر صنایع از مزایای آن تأثیرگذار خواهد بود. لذا در این مطالعه، اپراتورهای بزرگ مخابراتی از سه کشور چین، آمریکا و کره جنوبی که در پیاده‌سازی شبکه نسل پنجم در دنیا پیشگام بوده‌اند انتخاب شده‌اند و نقشه‌راه تغییر آنها به سمت شبکه نسل پنجم (بر اساس مستندات موجود از هریک) مورد بررسی قرار گرفته‌اند. تأکید می‌شود که با توجه به نوظهور بودن مفاهیم مرتبط با شبکه موبایل نسل پنجم، در این گزارش ورود تدریجی اپراتورها به اجرای عملی شبکه نسل پنجم از ۳ سال گذشته تا کنون مورد بررسی قرار گرفته است. بخش‌های مهمی چون برش شبکه هنوز به صورت عملی در دنیا پیاده‌سازی نشده و مطالبی که توسط این اپراتورها در اختیار عموم قرار دارد بسیار محدود و کلی مطرح شده است.

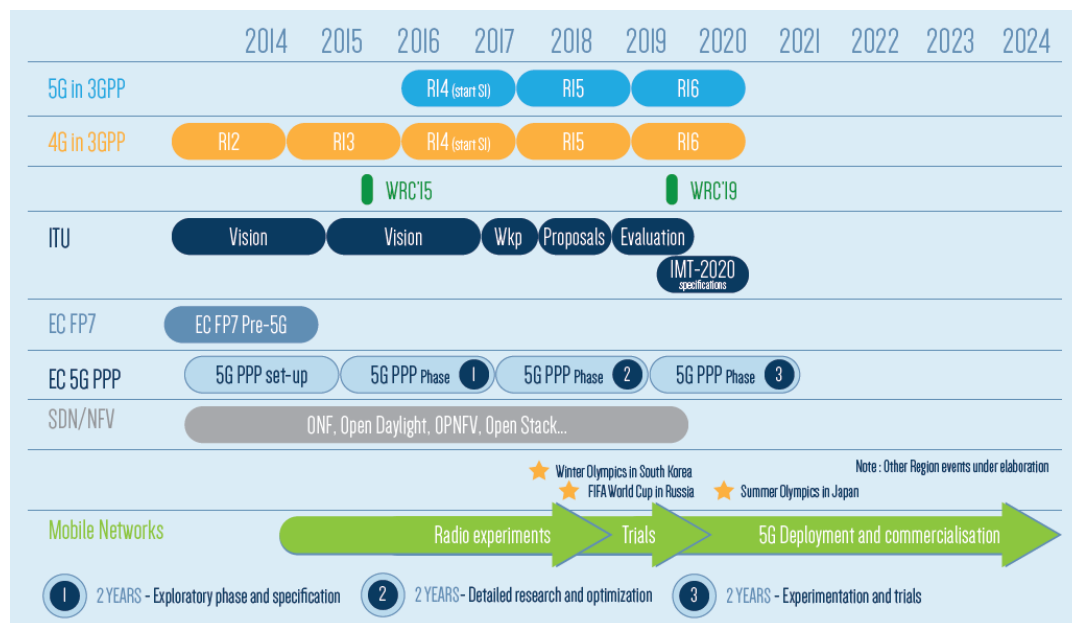
۳-۲- در سطح بین‌المللی

با توجه به ضرورت سرمایه‌گذاری طولانی‌مدت در استانداردسازی بین‌المللی و جمع‌آوری همکاری ذینفعان مختلف (ازجمله بخش‌های تحقیقاتی و دانشگاهی، اپراتورها، صنعت، سازندگان تجهیزات و نهادهای قانون‌گذاری)، همکاری دولت‌ها برای موفقیت اجرای شبکه موبایل نسل پنجم در دنیا و تضمین تعامل‌پذیری باید مدنظر قرار داشته باشد.

اتحادیه جهانی ITU یکی از نهادهای معتبر بین‌المللی است که وظیفه استانداردسازی فناوری‌های مخابراتی در مقیاس بین‌المللی را بر عهده دارد. بخش ITU-R در راستای تعریف چارچوب IMT-2020 که برای موبایل نسل پنجم نوشته شده است، اهداف، الزامات، موارد کاربرد و قابلیت‌های کلیدی شبکه را توصیف کرده است.

گزارش‌ها و نگاه گسترش شبکه موبایل نسل پنجم از نظر ITU در شکل ۳-۲ ارائه شده است [۲]. به‌موازات فعالیت‌های مؤسسات استانداردگذاری و با توجه به اینکه یکی از نقش‌های اصلی صنعت، استفاده وسیع از نوآوری‌های تحقیقاتی به همراه پیشبرد استانداردسازی است، صنایع می‌توانند در اجرای پروژه‌های زیرساختی 5G PPP نقش بسیار مهمی داشته باشند. نتایج این فعالیت‌ها، برای مطالعات استانداردسازی مجامعی چون 3GPP، IEEE و IETF مفید واقع خواهند شد. به‌علاوه، اعضای این پروژه‌ها در گروه‌های استانداردسازی دیگر مانند IETF، ETSI، ONF، Open Daylight، OPNFV، Open Stack مشارکت دارند.

شکل ۳-۲ جمع‌بندی کلی نقشه راه موبایل نسل پنجم از دیدگاه 5G PPP را نشان می‌دهد [۱].



شکل ۳-۲ نقشه راه موبایل نسل پنجم [۱]

گزارش حاضر، دسته‌بندی مقالات و گزارش‌های روز دنیا از جنبه همکاری بین‌المللی برای اجرای شبکه موبایل نسل پنجم را در سه گروه به شرح زیر تفکیک کرده و ارائه می‌دهد:

۳-۲-۱- استانداردسازی طیف فرکانسی

موفقیت سیستم موبایل نسل پنجم و سرویس‌های آن برای مواجهه با رشد ترافیک داده و نیازمندی‌های مرتبط با کاربردهای نوین به دو اصل مهم بستگی دارد [۱]:

۱. استفاده بهینه از طیف فرکانسی اختصاص داده شده به سرویس‌های موبایل موجود
 ۲. توانایی استفاده مناسب از باندهای جدید به منظور پشتیبانی از قابلیت‌های نوین موردنیاز صنایع
- برای مطالعه طیف فرکانسی موردنیاز شبکه موبایل نسل پنجم سه موضوع مهم باید در نظر گرفته شوند:
۱. سمت‌وسوی نیازمندی‌های طیف فرکانسی برای بخش‌های شبکه دسترسی و بک‌هال: گزارش‌های مختلف نشان می‌دهند که کاربردهای روزافزون ویدیو و همچنین گسترش استفاده از ادوات هوشمند، تبلت‌ها و ارتباطات موردنیاز آن‌ها باعث رشد بسیار سریع ترافیک داده شبکه شده است. لذا شبکه دسترسی موبایل نسل پنجم برای سرویس‌های خود به پهنای باند وسیع (چند صد مگاهرتز تا چند گیگاهرتز) نیاز دارد. به علاوه، این بخش به پشتیبانی بخش بک‌هال نیازمند است و لذا بخش بک‌هال به منابع فرکانسی مناسب احتیاج خواهد داشت.
 ۲. ملاحظات طیف بی‌سیم جدید در بازه بیشتر از ۶ GHz: برای برآوردن نیاز به پهنای باند وسیع باید فرکانس‌های حامل بزرگ‌تر از ۶ GHz (موج میلی‌متری) موردتوجه قرار گیرند. به عنوان نمونه، مؤسسه NGMN¹ که یک مؤسسه فعال در حوزه مخابرات سیار (متشکل از اپراتورهای موبایل، تأمین‌کنندگان تجهیزات، تولیدکنندگان و نهادهای تحقیقاتی است) بیان می‌کند که «پهنای باند وسیعی برای پشتیبانی از نرخ داده بسیار زیاد و اتصالات کوتاه برد در اختیار موبایل نسل پنجم قرار دارد».
- از نظر پیاده‌سازی، استفاده از فرکانس‌های حامل بزرگ با مشکلاتی چون وابستگی به محیط انتشار از لحاظ کیفیت و تلفات مواجه است. لذا در عمل، کاربرد آن‌ها برای ارتباطات کوتاه برد و با کمک آنتن‌های جهت‌دار میسر خواهد بود؛ هرچند که این موضوع با کوچک شدن اندازه سلول‌ها در محیط‌های متراکم شهری و پیشرفت‌های ساخت آنتن‌ها (مانند سیستم‌های چند ورودی-چند خروجی حجیم) هم‌راستا هست.
۳. روش‌های مدیریت طیف فرکانسی: در اختیار داشتن قوانین پایدار و قابل پیش‌بینی در کنار فضای مدیریت طیف فرکانسی برای سرمایه‌گذاری بلندمدت اپراتورها و ارائه‌دهندگان سرویس ضروری است. شبکه موبایل نسل پنجم باید به منظور استفاده بهینه‌تر از طیف فرکانسی از تکنیک‌ها و فناوری‌های نوین بهره‌برداری کند تا بتواند به‌طور همزمان سرویس‌های متنوعی را برای نیازمندی‌های کاربردهای

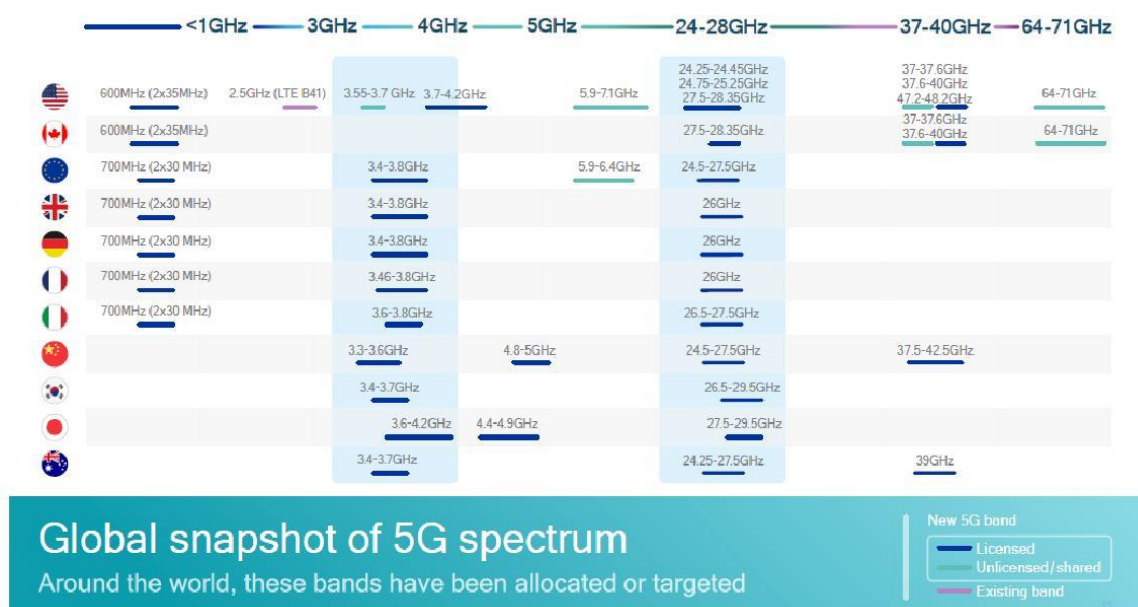
¹ Next Generation Mobile Networks

متفاوت ارائه نماید. اشتراک طیف فرکانسی مؤثرتر و راه‌حل‌های رادیو شناختی^۱ تعدادی از این تکنیک‌ها هستند که در شبکه موبایل نسل پنجم مورد توجه قرار گرفته‌اند.

در جدول ۳-۱، محدوده سه باند فرکانسی اصلی و ورود کشورهای مختلف به آن‌ها نشان داده شده است. از آنجاکه توانایی کانال مخابراتی برای انتقال اطلاعات به‌طور مستقیم متناسب با پهنای باند آن است، اپراتورهای مخابراتی برای ارتقاء شبکه خود به موبایل نسل پنجم و قابلیت ارائه سرویس‌های پیشرفته‌تر به پهنای باند بیشتری نیاز دارند. لذا کاربرد فرکانس‌های بیشتر از ۳ GHz در اجرای موبایل نسل پنجم مورد نظر می‌باشد [۶]. در حال حاضر در دنیا بازه فرکانسی بین ۳.۷ GHz و ۴.۲ GHz جزو انتخاب رایج اپراتورها است. شکل ۳-۳ اختصاص طیف فرکانسی به موبایل نسل پنجم را در برخی از کشورها نشان می‌دهد.

جدول ۳-۱ باندهای فرکانسی اصلی برای استاندارد موبایل نسل پنجم [۵]

باند فرکانسی	محدوده فرکانسی	کشورها	توضیحات
باند پایین	کمتر از ۱ گیگاهرتز (UHF) غالباً حدود ۶۰۰ تا ۷۰۰ مگاهرتز	اتحادیه اروپا، آمریکا، هند	باند مورد توجه (به علت زیرساخت ارزان‌تر و فناوری‌های شناخته شده‌تر)
باند میانی	۳ تا ۵ گیگاهرتز (بیش از UHF)	اتحادیه اروپا، کره جنوبی، چین، هند و آمریکا در ۲ گیگاهرتز – چین و ژاپن در سال ۲۰۲۰	فرکانس آزاد بیشتر، با اجماع و توافق در فرکانس و عملکرد
باند بالا	۲۰ تا ۱۰۰ گیگاهرتز	اتحادیه اروپا، آمریکا، کره جنوبی در سال ۲۰۲۰ – چین، ژاپن، هند	برد کوتاه (۱۰ تا ۱۵۰ متر)، سرعت بالا و تأخیر کم



شکل ۳-۳ طیف فرکانسی موبایل نسل پنجم در سطح بین‌المللی [۶]

¹ Cognitive radio

به‌علاوه، با ساخت ادوات نوین ارتباطی، نسل‌های جدید گوشی موبایل باندهای فرکانسی بالاتر با پهنای باند عریض‌تری را به خود اختصاص می‌دهند. در حال حاضر برای موبایل نسل پنجم پهنای باند ۱۰۰ مگاهرتز در باند فرکانسی FR1 هدف‌گذاری شده است؛ همچنین اختصاص پهنای باند ۴۰۰ مگاهرتز در فرکانس‌های شبکه بیش از ۱۸ تا ۲۰ گیگاهرتز (FR2) در موبایل نسل پنجم ممکن خواهد بود. در این خصوص باید توجه داشت که فرکانس‌های تخصیص‌یافته با باند K که برای ارتباطات ماهواره‌ای در نظر گرفته‌شده است تداخل پیدا نکند. به‌علاوه در فرکانس‌های بالا، بحث کم شدن توان دریافتی در گیرنده و جبران بهره آنتن را نیز باید در ساخت ادوات مدنظر قرارداد.

۳-۲-۲- تقاضای سرویس از طرف صنایع

حرکت به سمت موبایل نسل پنجم باعث تغییر استراتژی‌های تولید محصول و تقاضای انواع سرویس‌ها از طرف شرکت‌ها و صنایع شده است. انتظاراتی که با ظهور و اجرای شبکه موبایل نسل پنجم شکل گرفته‌اند در ۱۰ مورد زیر دسته‌بندی شده‌اند [۴]:

جدول ۳-۲ ده مورد از انتظارات اصلی در زمان اجرای شبکه موبایل نسل پنجم [۴]

حوزه	انتظارات اصلی در زمان اجرا
پایه	5G تجربه تبادل داده موبایل را متحول و موارد کاربرد هوشمند را محقق خواهد کرد. در کاربردهای مختلف، این تکنولوژی از فرکانس‌های مختلفی استفاده و امنیت را در سطح بالا ارائه کرده و در ادامه از کاربردهای جدیدی پشتیبانی خواهد کرد.
فرصت‌ها	سرویس‌ها و راه‌حل‌های سرمایه‌گذاری، پتانسیل افزایش سود در شبکه 5G را فعال‌تر خواهد کرد. 5G ابتدا در مناطق شهری با 4G ادغام می‌شود و اتصالات را در سطح وسیع‌تری ارائه می‌دهد. 5G رشد درآمدی اپراتورها را در پی دارد (با حداقل ۲.۵٪ در نرخ رشد سالانه ترکیبی (CAGR ¹) برای مراحل اولیه).
ساختار بازار	رقابت و همکاری بین اپراتورها و بازیگران دیگر برای ارائه سرویس‌های متنوع 5G بیشتر و قوی‌تر خواهد بود. مدل‌های جدید مالکیت زیرساخت، رقابت و مشارکت برای 5G مورد نیاز می‌باشد.
تاب‌آوری	آیین‌نامه‌ها، مجوزها و رویکرد تخصیص فرکانس می‌تواند فرصت‌های 5G را گسترش و یا نابود کند. بخش‌های صنعتی باید برای یکپارچه‌سازی ارائه خدمات 5G و فرکانس‌های آن تلاش کنند. پشتیبانی از قابلیت تعامل و اتصال سرویس‌های مخابراتی مبتنی بر IP باید به‌عنوان پیش‌فرض در زمان اجرای 5G لحاظ شود.

¹ Compound Annual Growth Rate

۳-۲-۳- توسعه ادوات

همزمان با پیشرفت‌های گسترده در حوزه شبکه‌های سلولی نسل چهارم و سپس موبایل نسل پنجم، ادوات و تجهیزات مختلف در حوزه زیرساختی و همچنین در بخش کاربران نهایی باید به سرعت تکامل یافته و بهینه‌سازی شوند. از سال ۲۰۱۸، 3GPP نقشه راهی را برای تجاری‌سازی تراشه‌ها، تجهیزات و ادوات آغاز کرده است (شکل ۳-۴). در عمل، تولید تجاری با تأخیر ۱۲ تا ۱۸ ماه از استانداردسازی رخ می‌دهد و در این فاصله تست، اجرای نمونه آزمایشگاهی و فعالیتهای لازم برای پیش از مرحله تجاری‌سازی انجام می‌شود. درحالی‌که استاندارد NB-IoT و LTE-M به نیازمندی‌های شبکه موبایل نسل پنجم دست یافته‌اند، تکنولوژی‌های اینترنت اشیا پهن باند کم‌توان، جزئی از نقشه راه شبکه موبایل نسل پنجم هستند [۴].

زمان‌بندی ویژگی‌های شبکه 5G

	2018	2019	2020	2021	2022
ویژگی‌های لایه رادیویی	ارتباطات دوطرفه پیشرفته شبکه دسترسی رادیویی مبتنی بر ابر دو بخش فراصو/فرونس		مکان یابی	تجول 5G وسایل نقلیه بدون سرنشین	
ویژگی‌های لایه سرویس	eMBB	پوشش شبکه رایانش لبه سیار	ادامه سرویس‌های صوتی 5G	URLLC پوشش شبکه پیشرفته پیشرفت‌های IoT سلولی دسترسی مطمئن غیر 3GPP	

شکل ۳-۴ زمان‌بندی پیشرفت ویژگی‌های شبکه موبایل نسل پنجم [۴]

با گسترش شبکه موبایل نسل پنجم، ساخت برخی از ادوات موردنیاز و منطبق با آن به‌عنوان یکی از چالش‌ها مطرح می‌شود. نمونه آن ساخت تراشه‌های رادیویی منطبق با دو گروه از نیازهای موبایل نسل پنجم به‌صورت زیر است [۳]:

- شبکه موبایل نسل پنجم برای دستیابی به توان عملیاتی بیشتر و تأخیر کمتر از بازه‌های زمانی کوتاه‌تر و بازخوردهای درخواست بازفرستی خودکار ترکیبی ($HARQ^1$) سریع‌تر استفاده می‌کند. این امر به معنی نیاز به قدرت پردازشی بالاتر در سیستم و ترمینال‌های موبایل نسل پنجم و بروز چالش‌هایی در فناوری‌های ساخت تراشه در فرکانس‌های باند میانی می‌باشد.
- از طرف دیگر شبکه موبایل نسل پنجم در باندهای فرکانسی بالاتر، پهنای باند حامل بزرگ‌تر و کانال‌های بیشتر فعالیت خواهد کرد. این شاخص‌ها پیچیدگی‌های بیشتری را برای ادوات آنالوگ

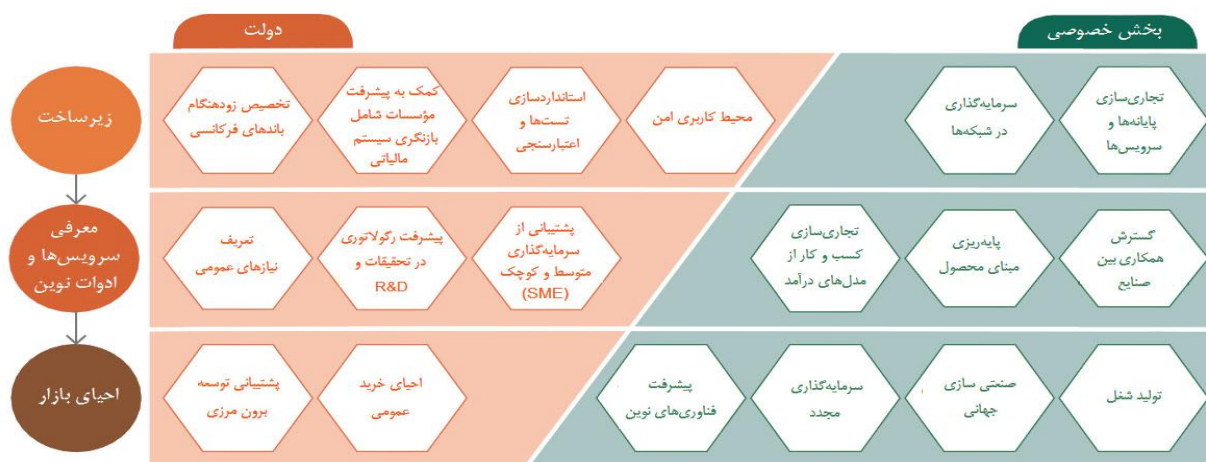
¹ Hybrid Automatic Repeat Request

از جمله ADC/DAC (نیاز به نرخ نمونه‌برداری بالاتر در حد 1GHz)، تقویت‌کننده‌های توان (استفاده از مواد خاص نیتريد گالیوم¹ GaN) و فیلترها (تعداد بیشتر فیلترها برای تعداد بیشتر کانال‌ها در فرکانس‌های میانی) اعمال می‌کنند.

در حال حاضر، صنایع و کارخانه‌های تولید ادوات و تراشه‌ها به‌طور کامل نمی‌توانند نیازهای تجاری شبکه موبایل نسل پنجم را برآورده سازند. این مسئله در تراشه‌های فرکانس رادیویی (RF) و تراشه‌های ترمینال (تجمیع‌شده با RF front-end) به تلاش بیشتری برای تولید در ابعاد صنعتی و با هزینه کمتر نیاز دارد. تولید بهینه ادوات مخصوص امواج میلی‌متری برای آینده شبکه موبایل نسل پنجم نیز باید موردتوجه قرار داشته باشند. نکته دیگر در حوزه ادوات، بحث امنیت و ریسک‌های مرتبط با تبادل اطلاعات در شبکه موبایل نسل پنجم است. برداشت و شنود اطلاعات به‌صورت پنهانی در سال‌های اخیر در حد زیادی انجام‌شده است که باید توسط سازندگان تجهیزات و سپس در لایه‌های بالاتر شبکه موردتوجه قرار داشته باشد [7].

۳-۳- در سطح ملی

کشورهای مختلف، دیدگاه‌ها و برنامه‌های متفاوتی در مورد ورود فناوری موبایل نسل پنجم دارند [2]. دولت‌ها در هر کشور باید اهداف و سیاست‌های آینده دیجیتال خود را تبیین کنند و سپس با تصمیم‌گیری‌ها و اقدامات متناسب، مسیر حرکت کشور به سمت آن‌ها را هموار سازد. به‌عنوان نمونه، شکل ۳-۵ برگرفته از نقشه راه کشور کره جنوبی در تبیین استراتژی به‌کارگیری شبکه موبایل نسل پنجم است که در آن، نقش دولت‌ها و میزان همکاری آن‌ها با بخش خصوصی در اجرای زیرساخت، معرفی سرویس‌ها و ادوات و قدرت بخشی به بازار را برای این کشور نشان می‌دهد.



شکل ۳-۵ مدل مشترک رشد شبکه مخابراتی [8]

¹ Gallium nitride

در خصوص گسترش شبکه‌های موبایل سلولی و خدمات و سرویس‌های مرتبط در یک کشور، گزارش‌ها به دو بخش اصلی نقشه راه طیف فرکانسی و تحول زیرساختی اشاره دارند که در ادامه ارائه خواهد شد.

۳-۱- نقشه راه طیف فرکانسی (رگلاتوری)

سیاست‌های قانون‌گذاری رگلاتوری در تخصیص فرکانس و قیمت‌گذاری آن، برای جذب سرمایه‌گذاری بلندمدت اپراتورهای هر کشور در پیاده‌سازی شبکه موبایل نسل پنجم بسیار اثرگذار است. به‌عنوان نمونه، تخصیص و اجازه استفاده از فرکانس‌های لازم در بازه‌های زمانی بیش از ۲۰ سال و پیش‌بینی تمدید قرارداد استفاده پس از آن در بازه‌های زمانی ۵ ساله ضروری هست. همچنین این اجازه باید مستقل از نوع تکنولوژی باشد تا اینکه هر اپراتور بتواند با کمک زیرساخت‌های موجود و بهبود آن‌ها به پیاده‌سازی شبکه موبایل نسل پنجم و بهینه‌سازی کاربرد طیف فرکانسی بپردازد [۴].

نقشه راه طیف فرکانسی برای شبکه موبایل نسل پنجم باید با مشخص کردن دقیق باندها و بازه‌های زمانی آن‌ها منتشر شود. به این ترتیب، اپراتورها می‌توانند استراتژی سرمایه‌گذاری و بهینه‌سازی استفاده از ارزش فرکانس را برنامه‌ریزی نمایند. همچنین، برنامه‌های تخصیص فرکانس از طرف رگلاتوری باید با کمک و مشاوره ذینفعان شبکه موبایل نسل پنجم در هر کشور انجام شود و برنامه‌های ملی و تجاری‌سازی در آن کشور به‌دقت بررسی شود. به‌عنوان مثال، تصمیم برای اجازه استفاده از فرکانس در محدوده خاص (مانند سطح ملی یا محلی) و یا قوانین موازی برای اجرای شبکه‌های هم‌زمان، نتیجه مهمی در سرمایه‌گذاری، برنامه‌های توسعه و اجرای کاربردهای شبکه موبایل نسل پنجم خواهد داشت.

به‌عنوان نمونه، کمیسیون ارتباطات فدرال (FCC^۱) در آمریکا یک نهاد دولتی است که ارتباطات رادیویی را تنظیم کرده و مزایده طیف‌های فرکانسی مختلف توسط این نهاد انجام می‌شود. این کمیسیون از نظر ملاحظات و سیاست‌های کلی تخصیص طیف فرکانسی، نقش مهمی را در آمریکا ایفا می‌کند. برگزاری رأی‌گیری برای آزادسازی پهنای باند در طیف موج میلی‌متری در سال ۲۰۱۸ یکی از اقدامات مهم FCC برای گسترش شبکه موبایل نسل پنجم بود [۷].

همچنین، در سال ۲۰۱۸ استراتژی جامع شبکه موبایل نسل پنجم توسط کمیسیون ارتباطات فدرال با عنوان نقشه تسهیل برتری آمریکا در فناوری موبایل نسل پنجم (FAST^۲) ارائه شد. این برنامه بر سه هدف مهم تمرکز دارد:

- ارائه بیشتر طیف فرکانسی به بخش‌های صنعتی و بازار
- سیاست‌های به‌روزرسانی زیرساخت

¹ Federal Communications Commission

² Facilitate Americas Superiority in 5G Technology

- بازنگری قوانین گذشته برای تسهیل استفاده در شبکه موبایل نسل پنجم در آمریکا

۲-۳-۳- تحول زیرساختی

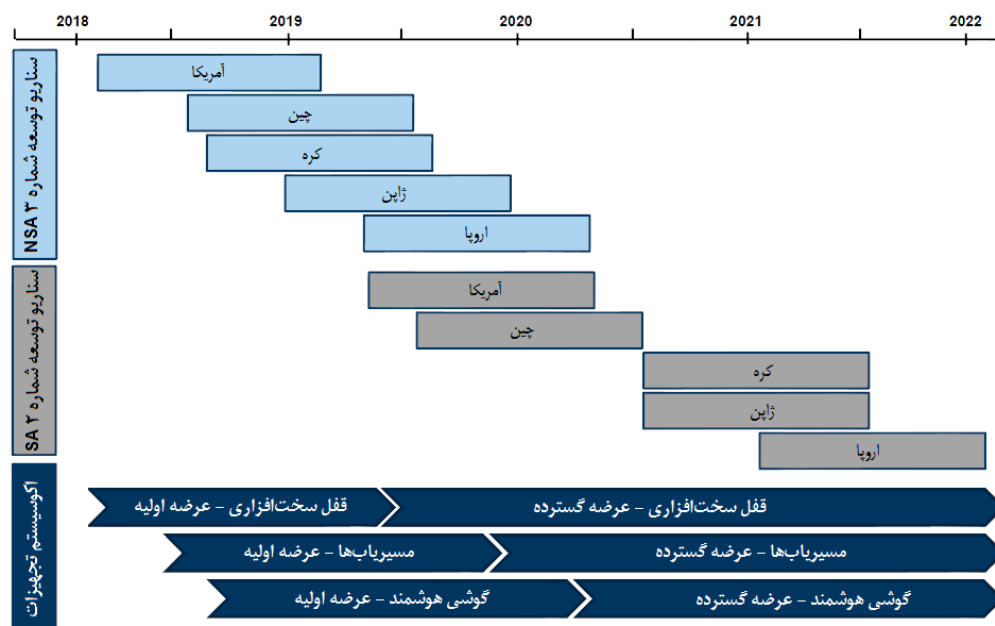
در خصوص گسترش شبکه‌های موبایل نسل پنجم، اپراتورهای مخابراتی وظیفه‌ی تغییرات زیرساخت‌های شبکه‌های سلولی در یک کشور را بر عهده‌دارند. این تغییر نیز به همکاری دولت و شرکت‌های خصوصی و به حمایت‌های استانداردسازی (از طرف رگلاتوری) نیاز دارد.

طرح توسعه موبایل نسل پنجم برای هر اپراتور شبکه موبایل (MNO) از دو جنبه قابل بررسی است [۱]:
۱. راهکارهای توسعه هسته، شبکه انتقال و بخش رادیویی بر اساس سناریوهای SA/NSA و توصیف

GSMA

۲. تخصیص بهینه فرکانس

شکل ۳-۶ برنامه کلی کشورها از نظر زمان‌بندی و نحوه گسترش شبکه موبایل نسل پنجم در کنار پیشرفت تجهیزات و ادوات را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۶ زمان‌بندی و نحوه ورود کشورها در گسترش شبکه موبایل نسل پنجم [۹]

۳-۴- نقشه راه موردی توسعه شبکه موبایل نسل پنجم در سطح ملی

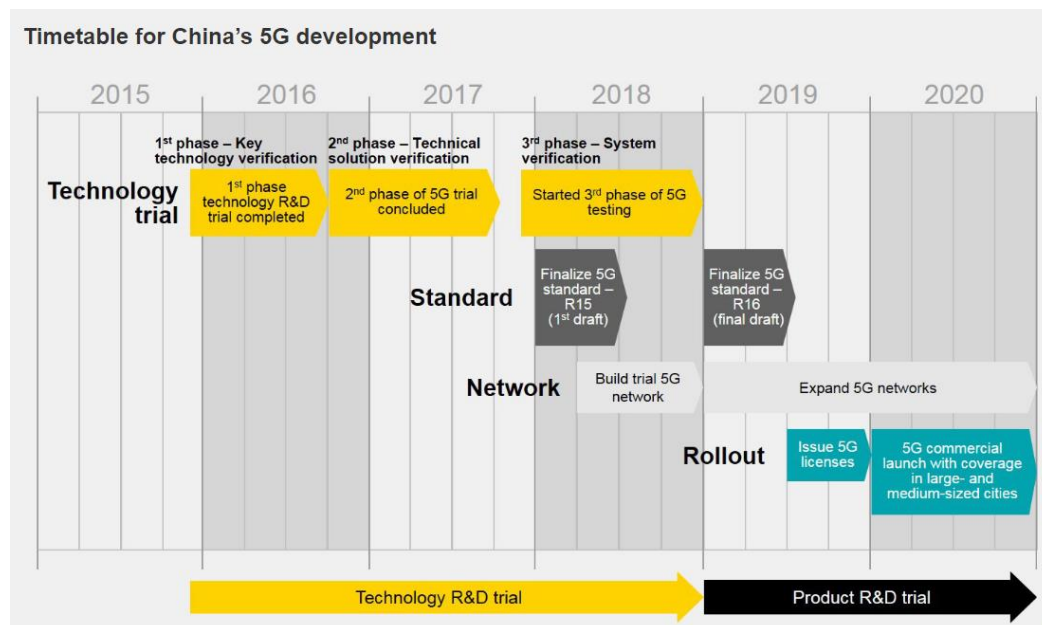
بر اساس آنچه GSMA برای تغییر تدریجی زیرساخت‌های شبکه نسل چهارم به سمت شبکه نوین نسل پنجم ارائه کرده است، سناریوی استقرار شماره ۲، مزیت‌هایی را (مخصوصاً برای کاربردهای پهن باند (eMBB)) در بخش‌های فراسو (UL)، تأخیر انتها-به-انتها، محاسبات لبه و غیره نشان داده است. در این تغییر، شبکه دسترسی رادیویی جدید (NR) شامل gNBها به هسته شبکه موبایل نسل پنجم متصل می‌شوند. لذا سطح

کاربر و سطح کنترل از این شبکه دسترسی جدید استفاده می‌کنند و کاملاً از شبکه نسل چهارم (LTE) مستقل هستند [۱۰].

در ادامه، خلاصه‌ای از نقشه راه تعدادی از اپراتورهای بزرگ دنیا در اجرای شبکه موبایل نسل پنجم بررسی شده است. گزارش‌های منتشرشده از این اپراتورها به‌صورت کلی به تغییر شبکه از موبایل نسل چهارم به موبایل نسل پنجم و روند موردنظر آن‌ها اشاره دارد و جزئیات دقیق‌تری از برنامه و میزان پیشرفت آن‌ها در دسترس نیست.

۳-۴-۱- چین

سه اپراتور بزرگ مخابراتی در کشور چین بر اساس گزارش GSMA در اکتبر سال ۲۰۱۹ به پیاده‌سازی شبکه موبایل نسل پنجم و ارائه عمومی آن دست‌یافته‌اند [۱۱]. شکل ۳-۷ یک نگاه ۵ ساله از گسترش شبکه موبایل نسل پنجم در کشور چین را ارائه می‌دهد.



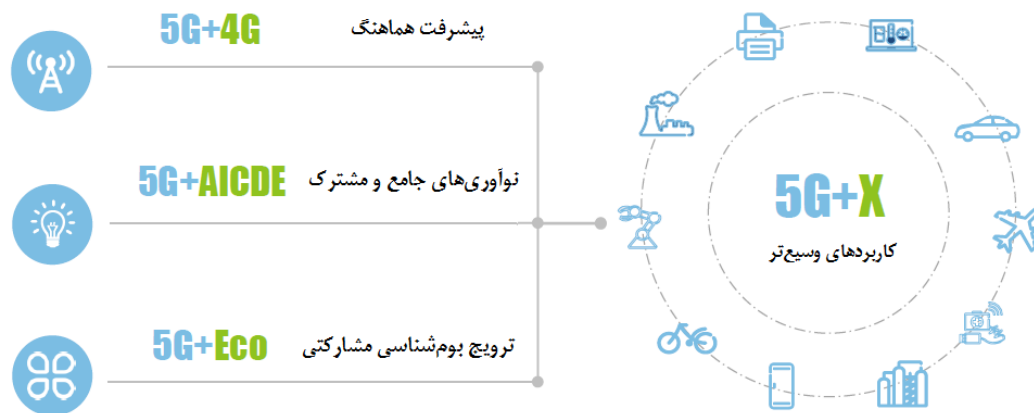
شکل ۳-۷ زمان‌بندی گسترش شبکه موبایل نسل پنجم در کشور چین [۱۳]

با توجه به مستندات موجود از دو اپراتور اصلی China Mobile و China Telecom، تحولات شبکه آن‌ها در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرند:

۳-۴-۱-۱- China Mobile

شرکت China Mobile که به‌عنوان بزرگ‌ترین اپراتور مخابراتی در چین شناخته می‌شود بزرگ‌ترین شبکه موبایل دنیا را در اختیار دارد. در ماه ژوئن سال ۲۰۱۹ این شرکت اجازه پیاده‌سازی تجاری شبکه موبایل نسل

پنجم را دریافت کرد و بلافاصله، پیاده‌سازی شبکه موبایل نسل پنجم در راستای برنامه‌ای با عنوان “5G+” را آغاز نمود. این برنامه شامل چهار مرحله است که در شکل ۸-۳ نشان داده شده‌اند.



شکل ۸-۳ مراحل اجرای برنامه 5G+ در شرکت China Mobile [۱۲]

چهار مرحله که توسط این اپراتور برای اجرای برنامه 5G+ در نظر گرفته شده‌اند به صورت زیر هستند [۱۴]:

- 5G + 4G: اشتراک زیرساخت‌های شبکه نسل چهارم با شبکه موبایل نسل پنجم منجر به در اختیار داشتن هم‌زمان این دو شبکه می‌شود. این همکاری و توسعه‌ی هم‌زمان، هم‌افزایی بین دو شبکه در پوشش دهی و سرویس‌دهی به کسب‌وکارها را نتیجه می‌دهد. دستیابی به این اشتراک (با در نظر داشتن بهینه‌سازی هزینه‌ها)، با تغییر در سایت‌های ایستگاه‌های پایه (BS) و تجهیزات انتقال شبکه نسل چهارم آغاز می‌شود. در برنامه سال اول، نصب و راه‌اندازی بیش از ۵۰ هزار ایستگاه پایه و عرضه سرویس‌های تجاری شبکه موبایل نسل پنجم در بیش از ۵۰ شهر چین قرار دارد. در این مرحله، مطالعات استانداردسازی و همکاری‌های صنعتی در زمینه پیشبرد تحقیقات ادامه خواهد داشت. به طور خلاصه، دو فعالیت اصلی که در این مرحله برنامه‌ریزی شده‌اند به صورت زیر هستند:

✓ ساخت و اجرای بیش از ۵۰ هزار ایستگاه پایه شبکه موبایل نسل پنجم

✓ ارتباطات شبکه موبایل نسل پنجم در ۵۰ شهر چین

- 5G + AICDE: تلفیق فناوری‌های روز مانند هوش مصنوعی (AI)، اینترنت اشیاء، محاسبات ابری، کلان داده‌ها و محاسبات لبه در شبکه موبایل نسل پنجم به منظور ترکیب ارتباطات با سرویس‌های دیجیتال در این مرحله مدنظر قرار دارد. به علاوه، سرویس‌های شبکه موبایل نسل پنجم این شرکت در مناطقی با قابلیت‌های زیر آغاز خواهد شد: برش شبکه طراحی شده برای اینترنت اشیاء صنعتی، تبدیل یک مرحله‌ای شبکه ابری، سرویس‌های کلان داده قابل اطمینان و ایمن، محاسبات ابری در سطح ارتباطات. دو ویژگی اصلی این مرحله عبارت‌اند از:

✓ پیشبرد بیش از ۲۰۰ قابلیت و فناوری

- ✓ همکاری در بیش از ۱۰۰ پروژه مشترک مطالعاتی حول شبکه موبایل نسل پنجم
- 5G + Ecology: تمرکز این مرحله بر اجرای یک فضای همه‌جانبه شبکه موبایل نسل پنجم و تقویت آن از طریق اتصال زنجیره صنایع هوشمند، صنایع عمودی، مؤسسه‌های تحقیقاتی و اپراتورهای مخابراتی دیگر می‌باشد. در مجامع شبکه موبایل نسل پنجم مختلف از جمله مرکز ابداعات و نوآوری شبکه موبایل نسل پنجم، مجمع پیشرو نوآوری ادوات موبایل نسل پنجم، اتحاد دیجیتال صنعت موبایل نسل پنجم و مرکز نوآوری چندرسانه‌ای موبایل نسل پنجم، موضوع پیشرفت ادوات و کاربردهای موبایل نسل پنجم و خلق مفاهیم نوین در این حوزه مورد بررسی قرار می‌گیرند. به‌علاوه، برنامه تجاری با عنوان BEST توسط شرکت China Mobile معرفی شده است که اهداف اصلی آن عبارت‌اند از:

○ تقویت «سرویس‌های پایه»

○ ارائه «سرویس‌های توانمندساز»

○ تقویت «سرویس‌های مخصوص»

به‌عنوان جمع‌بندی، دو ویژگی اصلی این مرحله را می‌توان به‌صورت زیر بیان کرد:

✓ همکاری با بیش از ۱۹۰۰ بخش صنعتی

✓ معرفی ۳۲ تجهیز برای موبایل نسل پنجم

✓ اجرا در فرکانس‌های ۲.۶ و ۳.۵ گیگاهرتز برای زنجیره صنایع

- 5G + X: پیشبرد این استراتژی بر پایه سه زیرساخت 5G+ فوق‌الذکر بنانهاده شده است، که در آن X نشان‌دهنده کاربردهای وسیع‌تری از شبکه موبایل نسل پنجم در بخش‌های فراوانی از صنعت و بازار هست. به‌عبارت‌دیگر، در این مرحله کاربردهای شبکه موبایل نسل پنجم تجمیع شده و سرویس‌های لازم در اختیار صنایعی چون شبکه هوشمند برق، کارخانه‌ها و بندرها هوشمند، رانندگی خودکار، فعالیت‌های حیاتی، اورژانسی و پزشکی قرار خواهد گرفت. علاوه بر آن در بخش مشتریان نیز انتقال داده‌ی ویدیو و بازی‌های برخط در سرویس پهن باند شبکه موبایل نسل پنجم ارائه خواهد شد. لذا ویژگی‌های اصلی این مرحله را می‌توان در ۳ بخش زیر خلاصه کرد:

✓ ارائه بسته‌های انحصاری شبکه موبایل نسل پنجم و سرویس‌های خاص

✓ پیاده‌سازی شبکه موبایل نسل پنجم + ابر + پروژه‌های کاربردی نمونه برای صنایع

China Telecom - ۲-۱-۴-۳

استراتژی تحول شبکه و تغییر گسترده به سمت شبکه موبایل نسل پنجم در اپراتور مخابراتی China Telecom به بررسی فاکتورهای مهمی مانند نیازمندی‌های سرویس، کیفیت ارائه خدمات به مشتریان، بلوغ فناوری‌ها، اکوسیستم پایانه‌ها و هزینه ساخت می‌پردازد. در این تغییر، سه راهبرد اصلی مدنظر قرار می‌گیرد [۳]:

- همگرایی شبکه‌های متعدد: انتظار می‌رود شبکه‌های نسل چهارم، WLAN و شبکه موبایل نسل پنجم برای سال‌های زیادی به صورت هم‌زمان مورد استفاده قرار گیرند. این هم‌زمانی می‌تواند نیازهای متنوع را پاسخ دهد و سرویس‌های مورد درخواست کاربران را فراهم سازد.
- مهاجرت در چند فاز: ترفیع و ارتقاء شبکه‌های کنونی با حفظ پایداری عملکرد شبکه باید متوقف شود و ارتقاء شبکه موبایل نسل پنجم در طول چند مرحله تعریف و اجرا شود.
- بهینه‌سازی هزینه‌ها: در زمان انتخاب فناوری‌ها، هزینه و راه‌حل‌های پیشبرد شبکه باید در نظر گرفته شود. همچنین برای ساخت شبکه نسل جدید و بهره‌برداری کامل از مزایای آن، استفاده کامل از منابع موجود از اهمیت زیادی برخوردار است.

استراتژی تحول و حرکت به سمت شبکه موبایل نسل پنجم در شرکت China Telecom در دو فاز تعریف می‌شود:

۱. فاز کوتاه‌مدت: برای سرویس‌های تجاری موبایل نسل پنجم در سال ۲۰۲۰ میلادی
 ۲. فاز میان‌مدت و بلندمدت: برای تغییر شبکه بر اساس برنامه CTNet2025 (این برنامه توسط شرکت China Telecom برای نوسازی شبکه خود در سال ۲۰۱۶ ارائه شد که در آن فناوری‌های محاسبات ابری، SDN و NFV معرفی و برای استفاده در شبکه آینده تشریح شدند).
- استراتژی کلی تغییر، در سه بخش شامل فاکتورهایی به صورت زیر دنبال می‌شود:
- بخش اول: استراتژی تحول شبکه‌های دسترسی

- با در نظر داشتن شبکه ارتباطی موجود، قابلیت‌های سرویس، کارایی ترمینال‌ها و فاکتورهای دیگر، ترجیح بر پیاده‌سازی شبکه موبایل نسل پنجم خوداتکا (SA) و مبتنی بر رادیوی نوین 5G SA¹ (NR) است.
- در اولین مراحل شبکه موبایل نسل پنجم و بر اساس معماری شبکه خوداتکا (SA)، تجمیع واحدهای متمرکز و توزیع شده با استراتژی هزینه و تأخیر کم، پیچیدگی کم عملیات تعمیر و نگهداری و بازه کوتاه ساخت آن انجام می‌شود.

¹ Standalone 5G New Radio

- بر اساس مطالعات سناریوها و نیازمندی‌ها، ساختار سیستم چند ورودی چند خروجی حجیم (Massive MIMO) با ۶۴ پورت و ۱۹۲ نوسان‌ساز برای افزایش ظرفیت و پوشش سیستم در نقاط پرتراфик انتخاب می‌شود.
 - اگرچه در کوتاه‌مدت گسترش سرویس‌های eMBB موردتوجه قرار دارد، در میان‌مدت و بلندمدت، شبکه بر اساس تقاضا و پشتیبانی از سرویس‌های مأموریت بحران (URLLC) و ارتباطات ماشین به ماشین گسترده (mMTC) ارتقاء خواهد یافت و معماری مجزا برای واحدهای متمرکز و توزیع‌شده معرفی خواهند شد.
- بخش دوم: استراتژی تحول هسته
- شبکه موبایل نسل پنجم با سناریوی خوداتکا (SA) تطبیق خواهد یافت و نسل چهارم و نسل پنجم در فعالیتهای هسته شبکه، همکاری خواهند کرد. در فاز کوتاه‌مدت، تمرکز بر کاربردهای پهن باند (eMBB) خواهد بود.
 - هسته شبکه موبایل نسل پنجم از معماری مبتنی بر سرویس (به‌جای معماری با روش نمایش نقطه‌به‌نقطه) استفاده خواهد کرد و گسترش بر پایه ابر خواهد بود. همچنین بخش کنترل و توابع مرتبط با آن به‌صورت مرکزی و با برنامه‌ریزی سرتاسری برای استفاده از منابع است. اما سطح کاربران (تابع UPF) در لبه و به‌صورت توزیع‌شده پیاده خواهد شد. هسته شبکه موبایل نسل پنجم باید از ویژگی‌های زیر پشتیبانی کند:
۱. برش شبکه انتها-به-انتها برای دستیابی به تطابق شبکه‌ها و انواع مختلف سرویس‌ها و همچنین نیازهای خاص هریک از صنایع عمودی.
 ۲. رایانش لبه سیار (MEC) برای پشتیبانی از سرویس‌های محلی با تأخیر کم و ترافیک بالا. مشکلات تعیین هویت کاربران، قبوض و مسائل حسابرسی رایانش لبه سیار در شبکه نسل چهارم باید حل شوند. شرکت China Telecom می‌بایست برای مدل درآمدزایی و منافع رایانش لبه سیار برنامه‌ریزی انجام دهد.
- هسته شبکه موبایل نسل پنجم باید بتواند سرویس‌های صوتی را ارائه دهد، در مرحله ابتدایی راه‌حل‌های شبکه نسل چهارم را اقتباس نماید و سرویس‌های صوتی VoLTE را فراهم سازد.
 - با تحول و پیشرفت فناوری‌ها و استانداردها، هسته شبکه موبایل نسل پنجم برای پشتیبانی از سناریوهای مأموریت بحران (URLLC) و ارتباطات ماشین به ماشین گسترده (mMTC) ارتقاء خواهد یافت. همچنین با پیشرفت مناسب صنعت و فناوری همگرایی چندین شبکه^۱، هسته شبکه موبایل

¹ Multi-network

نسل پنجم باید از مواردی چون مدیریت واحد و احراز هویت دسترسی چندگانه، هم‌زمانی داده و زمان‌بندی داده برای چندین شبکه دسترسی و پیوستگی در ارائه سرویس پشتیبانی نماید.

بخش سوم: استراتژی تحول حامل^۱

- حامل‌ها در شبکه نسل پنجم باید از اصول همگرایی موبایل ثابت و حامل‌های وسیع تبعیت کند. این امر باید در کنار ساخت شبکه پهن باند ثابت قرار گیرد. شبکه فیبر نوری به‌عنوان زیرساخت فیزیکی واحد برای شبکه‌های ثابت و موبایل در نظر گرفته می‌شود؛ این منابع باید تا حد امکان به اشتراک گذاشته شوند و به‌این‌ترتیب گسترش سریع یا هزینه کم برای شرکت China Telecom به دست آید.
- نیازمندی‌های نرخ داده زیاد، تأخیر کم، قابلیت اطمینان بالا، انعطاف‌پذیری و هم‌زمانی با دقت بالا در شبکه موبایل نسل پنجم در کنار پشتیبانی از برش شبکه باید توسط شبکه حامل برآورده شود.
- در سناریوهایی که زیرساخت فیبر نوری به میزان کافی و یا اینکه واحدهای متمرکز/توزیع‌شده^۲ به‌صورت توزیع‌شده استقرار یافته است، بخش لینک انتقال جلویی^۳ شبکه موبایل نسل پنجم از ارتباط نقطه-به-نقطه فیبر نوری استفاده خواهد کرد و فناوری BiDi (نوعی از فرستنده-گیرنده‌ها که انتقال داده در دو جهت مختلف را روی یک فیبر امکان‌پذیر می‌سازند) باید به کار رود. اما در سناریوهای دیگر (مانند زیرساخت فیبر نوری ناکامل)، راه‌حل حامل بر اساس تسهیم تقسیم طول موج (WDM^۴) می‌تواند به کار رود.
- برای بک‌هال^۵ شبکه موبایل نسل پنجم، در مراحل نخست و با فرض ترافیک نسبتاً کم، راه‌حل IPRAN^۶ پیشنهاد می‌شود. در ادامه بر اساس گسترش سرویس‌ها، شبکه انتقال نوری (OTN^۷) می‌تواند برای مناطق با ترافیک بالا به کار رود. فناوری (PON^۸) نیز می‌تواند برای برخی از سناریوهای تکمیلی استفاده شود.
- از ادوات تجاری‌سازی شده می‌توان برای مراحل اولیه در بک‌هال شبکه موبایل نسل پنجم استفاده کرد. ویژگی‌های جدید دیگر مانند شبکه انتقال نوری بهینه‌سازی شده برای موبایل (M-OTN^۹) به‌تدریج اضافه شوند. China Telecom برای تأمین نیازمندی‌های گسترش شبکه موبایل نسل پنجم

¹ Bearer

² CU/DU

³ Fronthaul

⁴ Wavelength-Division Multiplexing

⁵ Backhaul

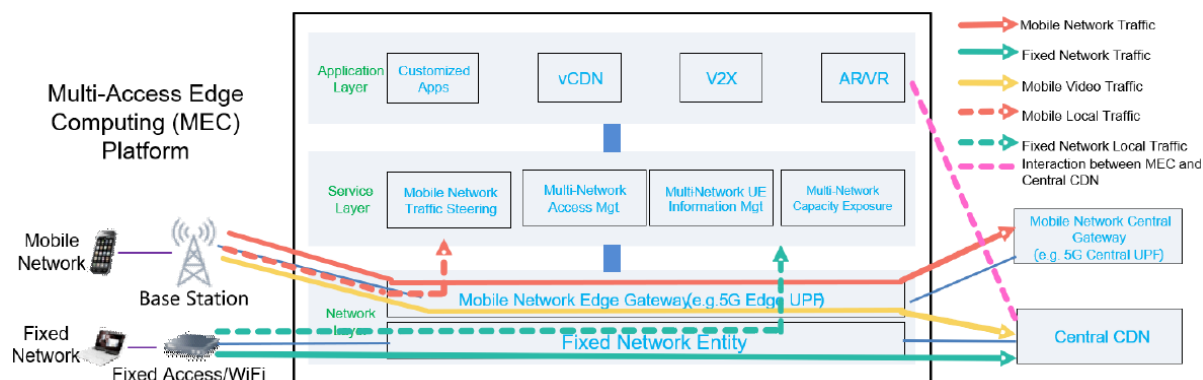
⁶ IP Radio Access Network

⁷ Optical Transport Network

⁸ Passive Optical Network

⁹ Mobile-Optimized OTN

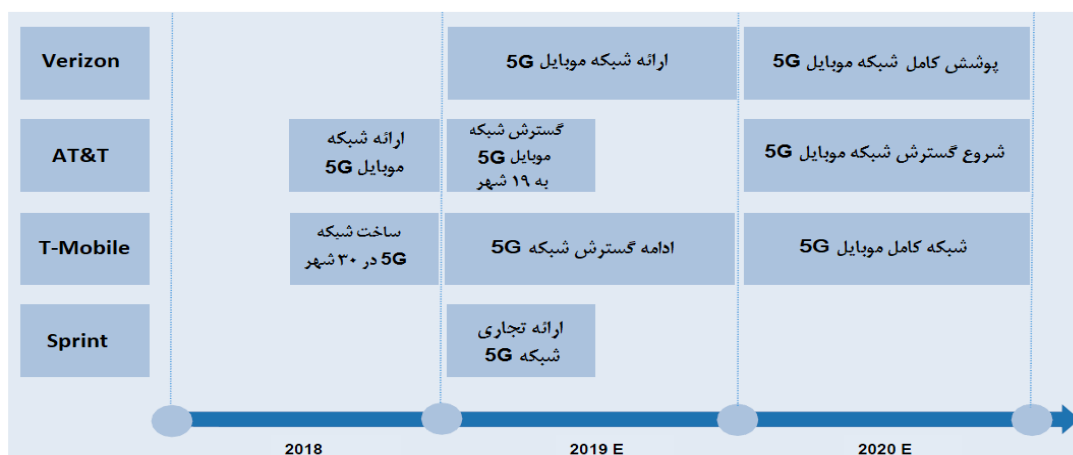
در میان مدت و بلندمدت، شبکه بک‌هال با نرخ داده زیاد، تأخیر بسیار کم، کنترل هوشمند مبتنی بر فناوری شبکه مبتنی بر نرم‌افزار و قابلیت برش شبکه را خواهد ساخت. چندین شبکه مانند شبکه‌های موبایل و ثابت به‌طور هم‌زمان در دوره موبایل نسل پنجم حضور خواهند داشت. برای کاهش فشار ترافیک از بک‌هال و اطمینان از دریافت سرویس موردنظر کاربران، شرکت China Telecom برای دستیابی به همگرایی شبکه‌های موبایل و ثابت، در لبه یک واحد رایانش لبه سیار خواهد ساخت. به این منظور از منابع موجود شبکه ثابت همانند آنچه در شکل ۹-۳ دیده می‌شود، استفاده خواهد شد.



شکل ۹-۳ معماری مبتنی بر MEC برای انتقال داده [۳]

۳-۴-۲- آمریکا

برنامه‌های اپراتورهای بزرگ مخابراتی آمریکا (AT&T، Verizon، T-Mobile و Sprint)، نحوه ورود شبکه موبایل نسل پنجم به این کشور را نشان می‌دهد. البته این برنامه‌ها از نظر مدل کسب‌وکار، زمان‌بندی اجرا و تخصیص فرکانس‌ها کاملاً متفاوت هستند. بر اساس گزارش GSMA در ماه‌های می تا اکتبر سال ۲۰۱۹، چهار اپراتور اصلی در آمریکا به پیاده‌سازی کامل موبایل نسل پنجم و ارائه عمومی آن دست‌یافته‌اند. شکل ۱۰-۳ توسعه شبکه موبایل نسل پنجم توسط اپراتورهای آمریکا را بعد از سال ۲۰۱۸ نشان می‌دهد.



شکل ۱۰-۳ جدول زمانی گسترش شبکه موبایل نسل پنجم توسط اپراتورها در کشور آمریکا [۱۶]

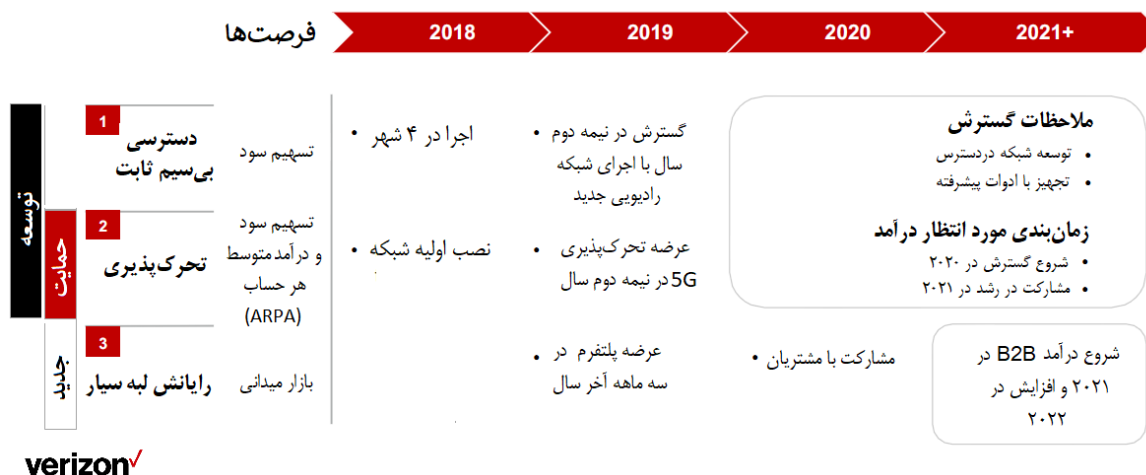
در ادامه این برنامه‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرند.

Verizon - ۱-۲-۴-۳

در ماه اکتبر سال ۲۰۱۸ این شرکت به‌عنوان اولین سرویس موبایل نسل پنجم ارائه‌شده در آمریکا، 5G خانگی را راه‌اندازی کرد. سرویس این شبکه با سرعتی بین ۳۰۰ مگابیت بر ثانیه تا ۱ گیگابیت بر ثانیه و بر اساس طیف فرکانسی ۲۸ گیگاهرتز و با کمک شبکه هسته موبایل نسل پنجم و تجهیزات رادیویی موبایل نسل پنجم شرکت نوکیا ارائه شد. طرح اولیه ورود به شبکه موبایل نسل پنجم در این شرکت، وجود هم‌زمان شبکه‌ها و ارائه سرویس بوده است. در حقیقت شبکه موبایل نسل پنجم در کنار شبکه موجود و بر اساس سرویس‌هایی که بخشی از مشتریان درخواست داده‌اند آغاز به کار کرده است [۵]. همچنین، این شرکت در ژانویه ۲۰۱۹ اولین شبکه موبایل نسل پنجم سازگار با سخت‌افزارهای موجود را تجاری‌سازی کرد [۱۵].

شرکت Verizon در طرحی به نام تبدیل Verizon 2.0، تحول شبکه به سمت موبایل نسل پنجم را مبتنی بر مدل‌هایی از جمله مدل کسب‌وکار و مدل مشتریان ارائه کرده است. همچنین، این شرکت تغییر به سمت پیاده‌سازی شبکه موبایل نسل پنجم را از ابعاد اجرای فناوری راینش لبه سیار، تحرک پذیری و دسترسی بی‌سیم ثابت (FWA^۱) مورد بررسی قرار داده است که اجرای آن‌ها در طول زمان، در شکل ۱۱-۳ نشان داده شده است.

فرصت‌های 5G



شکل ۱۱-۳ اجرای بخش‌های شبکه موبایل نسل پنجم [۱۷]

AT&T - ۲-۲-۴-۳

شرکت AT&T در سال ۲۰۱۶ یک نمونه آزمایشگاهی از شبکه موبایل نسل پنجم در محدوده موج میلی‌متری به انجام رساند. در ۲۰۱۷ نیز این شرکت به تست دسترسی بی‌سیم ثابت نسل پنجم (5G FWA) در چند

¹ Fixed Wireless Access

منطقه شهری اقدام کرد. در سال ۲۰۱۸ شرکت AT&T یکی از اولین تست‌های شبکه موبایل نسل پنجم با معماری کامل شامل سیستم رادیویی و هسته شبکه موبایل نسل پنجم را اجرا کرد و نشان داد که شرایط جوی و آب و هوایی اثری در کارایی سیگنال موج میلی‌متری شبکه موبایل نسل پنجم ندارد [۱۵]. برنامه توسعه شرکت AT&T در محدوده موج میلی‌متری با عنوان 5G+ نام‌گذاری شده است. تاکنون تحت این برنامه، سرویس‌هایی به تعدادی از شهرهای آمریکا داده شده است.

۳-۴-۳-۳ T-Mobile

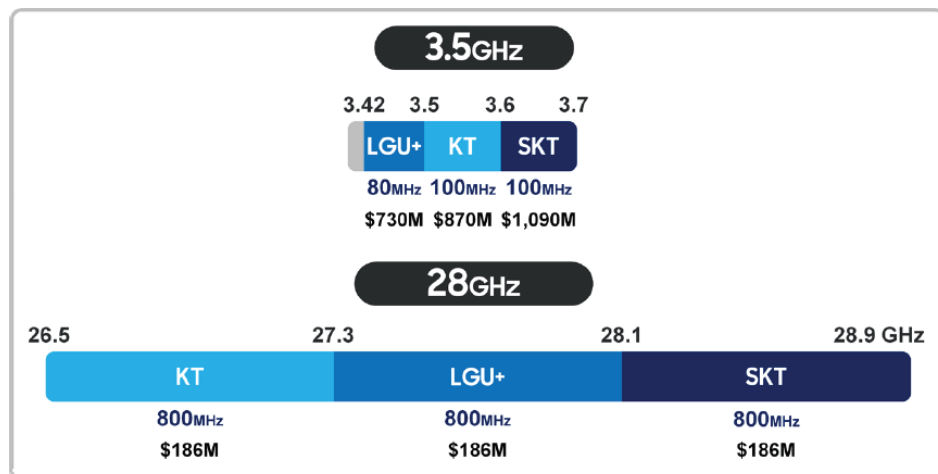
اولین سرویس شبکه موبایل نسل پنجم این شرکت در ژانویه سال ۲۰۱۹ میلادی و در فرکانس ۶۰۰ مگاهرتز ارائه شد. این سرویس بر اساس آخرین استاندارد 3GPP برای رادیوی جدید (5G NR) و روی طراحی تجربی شرکت‌های Intel و Ericsson در کنار شبکه LTE موجود اجرا شد [۵]. اجرای مرحله دوم شبکه موبایل نسل پنجم توسط شرکت T-Mobile، در سه باند متفاوت با فرکانس‌های ۶۰۰ مگاهرتز، ۲۸ گیگاهرتز و ۳۹ گیگاهرتز خواهد بود. در سال ۲۰۱۸ میلادی نیز، این شرکت برای گسترش شبکه رادیوی (5G NR) در کشور آمریکا با شرکت‌های Ericsson و Nokia قرارداد پشتیبانی امضا کرده است.

۳-۴-۳-۴ Sprint

این اپراتور کوچک در سال ۲۰۱۹ اولین برنامه تجاری شبکه موبایل نسل پنجم را ارائه داد. شرکت Sprint بیشترین طیف در فرکانس ۲.۵ گیگاهرتز را در مقایسه با بقیه اپراتورها در آمریکا دارد و با پیاده‌سازی ساختار سیستم چند ورودی چند خروجی حجیم به استفاده بهینه از این طیف فرکانسی در هر دو شبکه نسل چهارم (LTE) و نسل پنجم خواهد پرداخت [۵]. اولین برنامه شرکت Sprint اجرای همزمان شبکه دسترسی رادیویی جدید (NR) شبکه نسل پنجم در کنار شبکه نسل چهارم (LTE) با استفاده از آرایه‌های سیستم چند ورودی چند خروجی حجیم می‌باشد. این روش برای استفاده مشتریان از سرویس‌های هر دو شبکه مناسب است و پیاده‌سازی شبکه نسل پنجم را سریع‌تر خواهد کرد [۱۸].

۳-۴-۳-۵ کره جنوبی

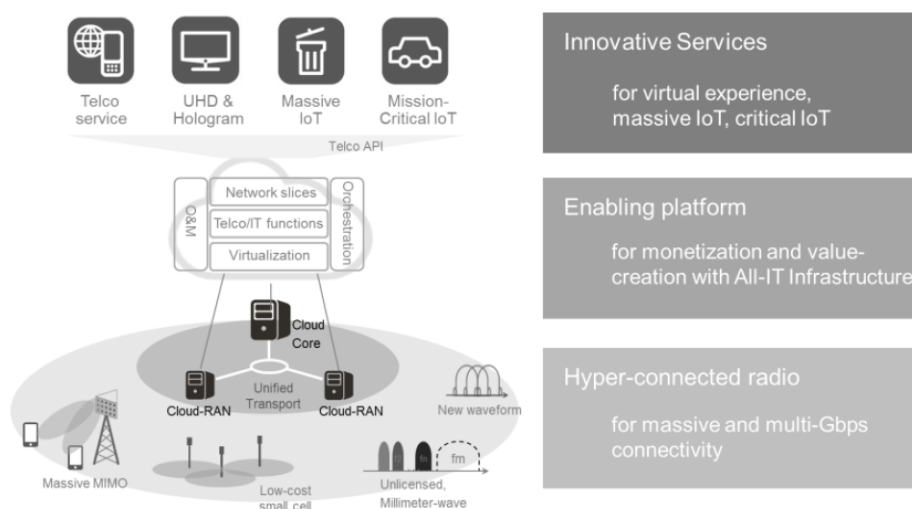
اپراتورهای بزرگ مخابراتی کشور کره جنوبی SK Telecom، KT Corp و LG U+ هستند. این سه اپراتور در دسامبر ۲۰۱۸ از شبکه موبایل نسل پنجم در برخی از شهرها رونمایی کردند اما ارائه رسمی سرویس‌ها برای موبایل مشتریان از آوریل ۲۰۱۹ آغاز شد [۵]. طیف فرکانسی اختصاص یافته به سه اپراتور فوق برای بهره‌برداری در شبکه موبایل نسل پنجم در باندهای ۳.۵ گیگاهرتز و ۲۸ گیگاهرتز در شکل ۱۲-۳ دیده می‌شود.



شکل ۱۲-۳ طیف فرکانسی تخصیص یافته به سه اپراتور کره جنوبی [۱۹]

۳-۴-۱- SK Telecom

اپراتور SK Telecom یکی از بزرگ‌ترین اپراتورهای موبایل در دنیا است که در آوریل ۲۰۱۹ شبکه موبایل نسل پنجم را راه‌اندازی کرد. در ماه مارس سال ۲۰۲۰ میلادی، شرکت SK Telecom یکی از نخستین ارائه‌دهندگان سرویس است که اجرای فناوری رایانش لبه سیار را آغاز کرده و اولین شرکتی است که پلتفرم رایانش لبه سیار اختصاصی خود را پیاده‌سازی می‌کند. توصیف کلی از معماری شبکه موبایل نسل پنجم موردنظر این شرکت در شکل ۱۳-۳ آمده است.



شکل ۱۳-۳ معماری شرکت SK Telecom برای شبکه موبایل نسل پنجم [۲۱]

دسترسی چندگانه در فناوری رایانش لبه سیار موردنظر قرار گرفته است زیرا این فناوری، کاربردهای مختلفی در بخش‌هایی چون ارتباطات خودروها و بازی‌های مبتنی بر ابر خواهد داشت [۲۰].

استراتژی کنونی شرکت SK Telecom گسترش سرویس‌های شبکه موبایل نسل پنجم در بخش‌های بنگاه به بنگاه (B2B) و کسب‌وکارهای مشتریان است. لذا در مرکز استراتژی این شرکت، اجرای فناوری رایانش لبه سیار قرار دارد که دو نوع اصلی از آن را در برمی‌گیرد:

- فناوری رایانش لبه سیار توزیع‌شده^۲: سایت‌های رایانش لبه در شبکه موبایل نسل پنجم شرکت SK Telecom قرار دارد. برنامه شرکت برای این سایت‌ها، انتخاب شهرها و ساخت سایت‌های بیشتری در سطح شهر است. در این مدل، شرکت SK Telecom سرویس‌ها و زیرساخت‌های استاندارد رایانش لبه را دنبال می‌کند.
 - فناوری رایانش لبه سیار در محل^۳: نقاط اصلی برای لبه در سایت‌های مشتریان (مانند کارخانه‌ها، بیمارستان‌ها و ادارات) قرار دارند. با در اختیار داشتن فناوری رایانش لبه سیار در محل، هر مشتری می‌تواند سرویس‌هایی متناسب با نیازهای مخصوص به خود را دریافت کند. هدف شرکت SK Telecom انتخاب کارخانه‌های هوشمند با نیازهای تأخیر کم و حساسیت بالا به امنیت است که برای اجرای فعالیت‌های حیاتی خود به سایت خاص فناوری رایانش لبه سیار نیاز دارند.
- از نظر ساخت پلتفرم فناوری رایانش لبه سیار توزیع‌شده و ارائه سرویس‌های آن، شرکت SK Telecom با شرکت‌های دیگر همکاری را آغاز کرده و سرویس‌های ابری در لبه آن‌ها را در سایت‌های فناوری رایانش لبه سیار شرکت SK Telecom به اجرا درخواهد آورد. نمونه‌ای از این همکاری در نوامبر ۲۰۱۹ بین شرکت‌های SK Telecom و AWS برای عرضه مدلی مبتنی بر سرویس‌های ابری شرکت آمازون (AWS^۴) هست.

KT - ۲-۳-۴-۳

شرکت مخابراتی KT در کره جنوبی، دو سناریو برای پیاده‌سازی شبکه موبایل نسل پنجم ارائه کرد (شکل ۳-۱۴) که به صورت زیر هستند:

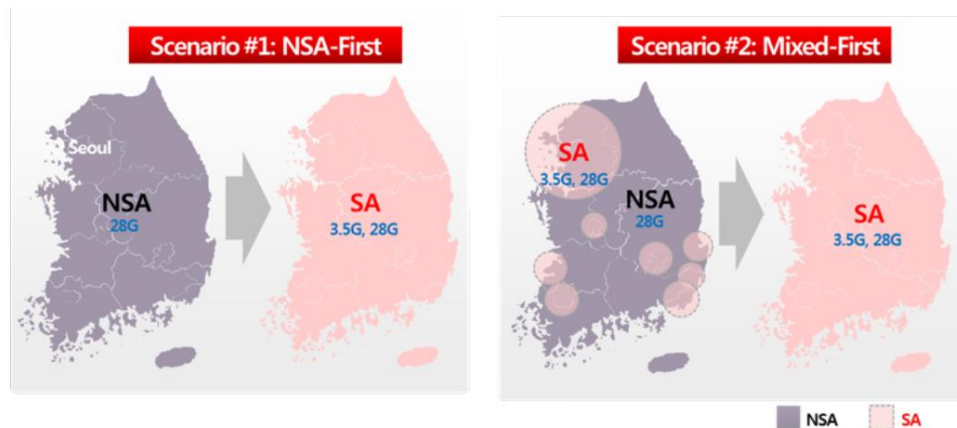
۱. اولین سناریو به صورت پیاده‌سازی کامل سناریوی NSA است که در این سناریو، گسترش شبکه موبایل نسل پنجم با سرعت، صرف هزینه سرمایه‌گذاری (CAPEX) کم و عملکرد ساده به دست می‌آید. پس از آن حرکت به سمت اجرای کامل شبکه خوداتکا (SA) صورت می‌پذیرد.
۲. دومین سناریو بر اساس اجرای شبکه خوداتکا (SA) در شهرهای بزرگی چون سئول، و شبکه NSA در مناطق دیگر طراحی شده است.

¹ Business-to-Business

² Distributed

³ On-site

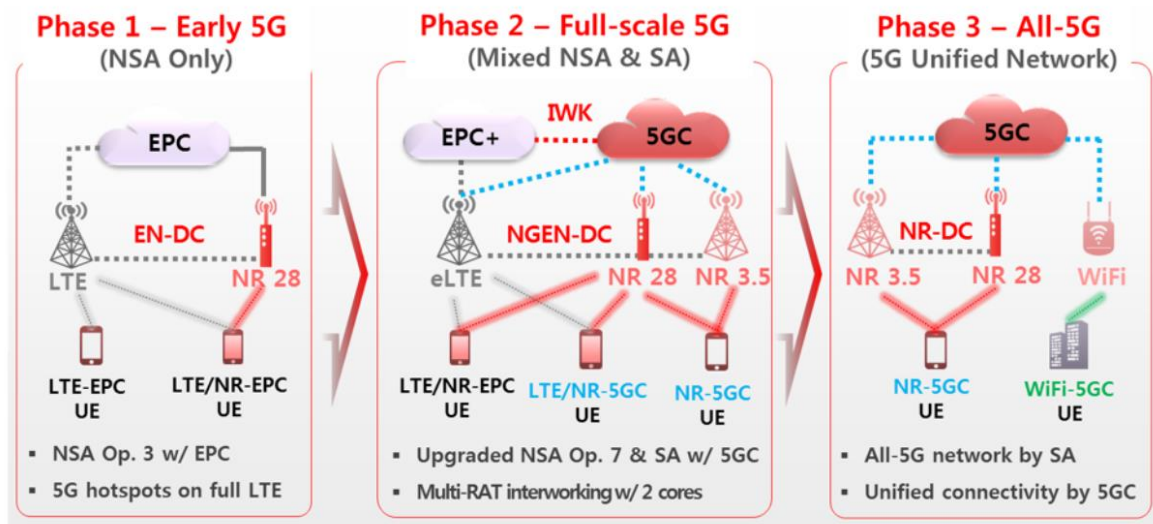
⁴ Amazon Web Services



شکل ۱۴-۳ دو سناریو گسترش شبکه موبایل نسل پنجم توسط شرکت KT [۲۲]

شرکت KT، هر دو سناریوی استقرار شماره ۲ و ۳ را برای تغییر شبکه نسل چهارم به شبکه نسل پنجم موردنظر قرار داده است. این شرکت، مهاجرت به شبکه موبایل نسل پنجم را از مدل اولیه NSA آغاز کرد و سپس با صرف هزینه و زمان بیشتر به شبکه SA ورود پیدا کرد. همان‌طور که در شکل ۱۵-۳ دیده می‌شود، این تغییر در سه فاز به شرح زیر انجام شد:

- فاز ۱ (موبایل نسل پنجم زود هنگام): شبکه NSA برای بخش‌هایی که نسل چهارم (LTE) و رادیوی جدید (NR) به صورت هم‌زمان به فعالیت پرداختند انتخاب شده است. نقش سلول‌های رادیوی جدید (NR) به عنوان سلول‌های انتقال داده، تحت عمل سلول‌های نسل چهارم (LTE) تعریف شد.
- فاز ۲ (موبایل نسل پنجم کامل): سناریوی استقرار شماره ۳ شبکه NSA به سمت سناریوی استقرار شماره ۷ حرکت کرد و در کنار eLTE از نسخه Release 15 اجرا شد. همچنین ممکن است در بخش‌هایی، سناریوی استقرار شماره ۲ برای شبکه خوداتکا (SA) در حال فعالیت باشد. در ساختار موجود، شبکه هسته به سمت شبکه هسته نسل چهارم (EPC) مبتنی بر فناوری مجازی‌سازی توابع شبکه ارتقا داده شده (EPC+) و همکاری بین شبکه هسته نسل چهارم (EPC) و شبکه هسته نسل پنجم (5GC) را پشتیبانی می‌کند.
- فاز ۳ (موبایل نسل پنجم جامع و یکپارچه): پس از یک مهاجرت طولانی مدت، شبکه یکپارچه موبایل نسل پنجم بر اساس سناریوی استقرار شماره ۲ و در کنار شبکه نسل چهارم (LTE) به فعالیت خواهد پرداخت. همچنین ممکن است شبکه هسته نسل پنجم (5GC) را کنترل کند.



شکل ۱۵-۳ نقشه مهاجرت به شبکه موبایل نسل پنجم در شرکت KT [۲۲]

۳-۵- بررسی اقدامات اپراتورها برای ارائه سرویس

در این بخش، تلاش شده است فعالیت‌های اپراتورها از دید سرویسی شامل نوع و شیوه سرویس‌دهی بررسی شود. پرواضح است که تجربیات جهانی در خصوص ارائه سرویس به صنایع می‌تواند به تصمیم‌گیری نحوه به کارگیری موبایل نسل پنجم در صنعت برق تأثیرگذار باشد. برخی از این اقدامات به شرح زیر می‌باشد:

- شرکت‌های ZTE و اپراتور China Mobile استفاده از فناوری رایانش لبه موبایل (MEC) را فعال کرده‌اند تا به دنبال آن، سرویس‌های برش شبکه انتها-به-انتها را در شبکه‌های نسل پنجم راه‌اندازی نمایند. این دو شرکت بیان می‌کنند که پیاده‌سازی برش شبکه با وجود چارچوب NSA و مبتنی بر هسته شبکه نسل چهارم به انجام رسیده است. شرکت ZTE بیان می‌کند که اپراتور China Mobile با اجرای این معماری، کاربردهایی چون ویدیو مبتنی بر هوش مصنوعی را به کاربران ارائه کرده است [۲۳].
- شرکت China Telecom از اواخر سال ۲۰۱۹، پروژه جدیدی را برای مطالعه اجرای برش شبکه در کاربردهای صنعتی آغاز کرده است [۲۴].
- شرکت ZTE قراردادی نیز با اپراتور China Unicom برای اجرای برش شبکه منعقد کرده است. این قرارداد منجر به پیاده‌سازی تجاری برش شبکه انتها-به-انتها در شهر شنزن شده و دستیابی به شبکه کامل موبایل نسل پنجم را تسریع کرده است [۲۵].
- سه اپراتور بزرگ آمریکایی Verizon، AT&T و T-Mobile برای تغییر کامل شبکه نسل پنجم SA متمرکز شده‌اند. این تغییر به عنوان قدم مهمی برای پیاده‌سازی سرویس‌های برش شبکه شناخته می‌شود [۲۶].

- اپراتور KT کشور کره جنوبی در ماه آگوست سال ۲۰۲۰ اعلام کرد که برش شبکه را برای ارائه به کسب و کارها پیاده و اجرا کرده است. همچنین این شرکت اعلام کرد که ساختار فیزیکی شبکه نسل پنجم را به تعدادی از برش‌های مجازی تقسیم کرده و مشتریان می‌توانند شبکه مخصوص به خود را به برش‌هایی تقسیم کرده و مورد استفاده قرار دهند [۲۷].

۶-۳- جمع‌بندی

دوره اجرا و استفاده از شبکه موبایل نسل چهارم، زندگی انسان را پیشرفت داده است و دوره شبکه موبایل نسل پنجم ابعاد مختلف زندگی جامعه را دگرگون خواهد کرد و امکاناتی را ارائه خواهد کرد که در گذشته ممکن نبودند. شبکه موبایل نسل پنجم فقط یک تحول در شبکه مخابرات سلولی نیست بلکه اجرای کامل آن، قابلیت‌ها و سرویس‌های نوینی را به بخش‌های صنعتی ارائه خواهد داد. این شبکه زیرساخت انواع اتصالات برای همه ارتباطات هوشمند خواهد بود.

در حال حاضر، مراحل اولیه ساخت شبکه موبایل نسل پنجم نه تنها باید نیازهای رو به رشد سرویس‌ها را برآورده سازد، بلکه باید تطابق کامل با شبکه‌های نسل‌های قبلی موبایل را نیز مدنظر قرار دهد. بر اساس گزارش‌های منتشرشده از فعالیتهای مؤسسات تحقیقاتی و اپراتورها، در این فصل، جهت‌دهی تغییر ساختار شبکه سلولی به سمت شبکه موبایل نسل پنجم به دو گروه راهبردهای بین‌المللی و برنامه‌ریزی در سطح کشورها تقسیم‌بندی شده است. همچنین نقشه راه توسعه شبکه موبایل نسل پنجم در چندین کشور پیشرو دنیا مورد بررسی قرار گرفته است.

جمع‌بندی این فعالیت‌ها نشان می‌دهد که اکثر شرکت‌های ارائه‌دهنده سرویس و اپراتورها در حرکت به سمت توسعه شبکه موبایل نسل پنجم، هر دو استراتژی تغییر SA و NSA را برگزیده‌اند. این استراتژی‌ها متناسب با وسعت جغرافیایی و سطح سرویس‌های ارائه‌شده انتخاب می‌شوند. در بیشتر برنامه‌های توسعه اپراتورها، شروع تغییر با حرکت به سمت NSA آغاز می‌شود. سپس با گسترش تجهیزات و بر اساس برنامه‌های کلان و سیاست‌های موردنظر آن شرکت، استراتژی تغییر SA دنبال می‌شود.

۷-۳- مراجع فصل سوم

- [1] "5G Vision," 5G-PPP, 2015.
- [2] و. عابدی‌فر، ر. جدا، ن. محسنی، نسل پنجم شبکه‌های ارتباطی؛ الزامات و فرصت‌های پیش رو، عقل سرخ. 1398.
- [3] "China Telecom 5G Technology White Paper," 2018.
- [4] "THE 5G GUIDE: A Reference for Operators," GSMA, 2019.
- [5] "5G Deployment; State of Play in Europe, USA and Asia," IN-DEPTH ANALYSIS; Requested by the ITRE committee, April 2019.
- [6] "International Network Generations Roadmap (INGR), An IEEE 5G and Beyond Technology Roadmap: 1st Edition," IEEE, 2020.
- [7] M. Medin, et.al, "The 5G Ecosystem: Risks & Opportunities for DoD," Defense Innovation Board (DIB), 2019.
- [8] "5G+ Strategy to Realize Innovative Growth," The government of the Republic of Korea.
- [9] R. Hall, et.al, "5G: Moving from the lab to the launchpad," The Goldman Sachs group, 2018.
- [10] "5G Implementation Guidelines: SA Option 2," GSMA, Feb. 2020.
- [11] "5G Global Launches & Statistics," GSMA, [Online]. Available: <https://www.gsma.com/futurenetworks/technology/understanding-5g/5g-innovation/>.
- [12] "2019 Annual Results: 5G+, Infinite Future," China Mobile, 2020.
- [13] "China is poised to win the 5G race, Key steps extending global leadership" EY, 2018.
- [14] "2019 Interim Results," China Mobile, 2019.
- [15] "Benchmark, 5G in the US," Global 5G, 5G PPP, 2019.
- [16] R. Hall. et.al, "5G, Moving from the lab to the launchpad", The Goldman Sachs Group Inc., 2019.
- [17] Verizon Leadership Team, "2019 Investor Meeting," Verizon, 2019.
- [18] "5G New Radio", Sprint Business, [Online]. Available: <https://www.business.sprint.com/5g/5g-new-radio/>.
- [19] "5G Launches in Korea: Get a taste of the future," Samsung, 2019.
- [20] D. Adib, et.al, "SK TELECOM: The Road th the World's First 5G MEC Platform," STL Partners, 2020.
- [21] L. HyeonWoo, "5G Trials and Launch Plan in Korea (KT and SKT cases)", in 6th Global 5G Event, 2018.
- [22] "Road to 5G: Introduction and Migration," GSMA, 2018.
[https://www.sdxcentral.com/articles/news/zte-advances-mec-network-slicing-with-](https://www.sdxcentral.com/articles/news/zte-advances-mec-network-slicing-with-china-mobile/2019/11/)
- [23] [china-mobile/2019/11/](https://www.ctamericas.com/leveraging-5g-network-slicing-and-mec-to-deliver-real-world-services-and-true-business/)
[https://www.ctamericas.com/leveraging-5g-network-slicing-and-mec-to-deliver-real-](https://www.ctamericas.com/leveraging-5g-network-slicing-and-mec-to-deliver-real-world-services-and-true-business/)
- [24] [world-services-and-true-business/](https://www.ctamericas.com/leveraging-5g-network-slicing-and-mec-to-deliver-real-world-services-and-true-business/)

- <https://www.mobileworldlive.com/zte-updates-2019-20/zte-helps-china-unicom-verify-5g-network-slicing-application-and-achieve-automatic-deployment-of-5g-flexible-slicing/>
- [25] <https://www.lightreading.com/5g/atandt-t-mobile-verizon-prep-for-standalone-5g/d/d-id/762326>
- [26] <http://www.thelec.net/news/articleView.html?idxno=1195>
- [27]

فصل ۴ – مطالعات تطبیقی به کارگیری 5G در شبکه هوشمند

۴-۱- مقدمه

به دلیل مزایایی که شبکه 5G در ابعاد مختلف همچون سرعت انتقال بالا، قابلیت اطمینان بالا، امنیت، مصرف انرژی پایین و پوشش مناسب دارد، در بسیاری از کشورها دنیا کاربردهای 5G در صنایع عمودی ترویج یافته است. در مورد شبکه‌های هوشمند نسل آینده، شرکت‌های برق و اپراتورهای تلفن همراه در آمریکای شمالی، چین و ایتالیا در حال پیاده‌سازی نسل دوم زیرساخت اندازه‌گیری پیشرفته (AMI) مبتنی بر زیرساخت‌های 5G هستند [۱].

در این فصل به بررسی مطالعات تطبیقی شبکه نسل پنجم مخابرات سلولی در صنعت برق و انرژی پرداخته شده است. در سال‌های اخیر، پروژه‌های بسیار زیادی روی توسعه و آزمایش قابلیت‌های شبکه پنجم متمرکز بوده است و در بسیاری از تحقیقات دانشگاهی و صنعتی موضوع به کارگیری شبکه نسل پنجم توسط صنایع عمودی مورد بررسی قرار گرفته است به عنوان مثال مجموعه پایلوت‌هایی که در اروپا با محوریت شبکه نسل پنجم موبایل انجام شده است (۲۲۲ پایلوت تا زمان تدوین این گزارش) در آدرس سایت مرجع [۲] فهرست شده است. این اطلاعات شامل کشوری که پایلوت در آن اجرا شده است، اپراتور موبایل همکار، زمان اعلام پایلوت، فرکانس کاری، سازندگان تجهیزات مخابراتی و صنایع مشارکت کننده می باشد.

در بررسی انجام شده در این فصل، آن دسته از پروژه‌های صنعتی و فعالیت‌های تحقیقاتی مورد نظر می‌باشد که موارد مصرف صنعت برق در آنها هدف‌گذاری شده باشد.

مطالعات شامل تحقیقات و پروژه‌های بین‌المللی بخصوص پروژه‌های اجرا شده در اتحادیه اروپا و تحت حمایت مجمع تحقیق و توسعه^۱ در اتحادیه اروپا همانند NRG-5، SOGNO، SLICENET، VirtuWind می‌باشد و همچنین پایلوت‌ها و آزمایش‌هایی که توسط شرکت‌های بخش انرژی (مشمول بر بهره‌بردار یا سازنده تجهیزات) و سازندگان تجهیزات مخابراتی بر روی به کارگیری شبکه نسل پنجم در صنعت برق و انرژی انجام شده، مورد بررسی قرار گرفته است؛ همکاری نوکیا و شرکت ABB با دانشگاه Kalmar در پروژه WIVE در فنلاند، پروژه 5G+Smart Grid در چین، مشارکت نوکیا و وزارت نیرو و انرژی لهستان، مشارکت شرکت ABB و اریکسون در آلمان، فعالیت اپراتور O2 انگلستان برای اتصال سیستم‌های قدرت همکاری، شرکت انرژی Fortum و اریکسون در فنلاند همگی مواردی است که در آن، پایلوت‌هایی بر روی به کارگیری شبکه نسل پنجم در صنعت برق و انرژی اجرا شده است.

¹ CORDIS

با توجه به اهمیت فعالیتهای سازمان سیگره در بررسی جنبه‌های فنی، اقتصادی، محیطی و مقرراتی شبکه برق کارگروه‌های کاری مرتبط با فناوری اطلاعات و ارتباطات این سازمان نیز در این گزارش بررسی شده است.

لازم به ذکر است که در خصوص حوزه‌های هفت‌گانه شبکه هوشمند و ارتباطات تعریف شده در این حوزه‌ها و کاربرد فناوری 5G در فصل یازدهم از گزارش مرحله اول پروژه توضیحات کافی ارائه شده است؛ در این فصل، هدف یافتن مواردی از این ارتباطات هستند که پیاده‌سازی فناوری 5G در آن تحقق یافته است. خلاصه‌ای از موارد بررسی شده و کاربرد آن در زیرسیستم‌های شبکه هوشمند در جدول ۴-۸ در انتهای این فصل ارائه شده است.

۴-۲- بررسی پروژه‌های صنعتی-تحقیقاتی به‌کارگیری موبایل نسل پنجم در صنعت برق

۴-۲-۱- پروژه NRG5 از مجموعه فعالیت‌های برنامه H2020 کمیسیون اروپا

پروژه NRG5 با بودجه حدود ۷ میلیون یورو در بازه زمانی ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۹ در ایتالیا انجام شده است. شرکت‌ها و مؤسسات پژوهشی و دانشگاه‌ها از کشورهای فرانسه، انگلیس، اسپانیا، آلمان، یونان، رومانی و اسلونی، دانمارک و آمریکا در کنار ایتالیا و شرکت‌هایی چون شرکت Engineering ایتالیا (فعال در حوزه IT در بخش انرژی و شبکه هوشمند، شرکت بین‌المللی Thales (فعال در حوزه ارتباطات مأموریت بحران) و شرکت استارت‌آپ انرژی PowerOps (فعال در حوزه یکپارچه سازی و پردازش داده شبکه هوشمند) در این پروژه فعالیت داشته‌اند.

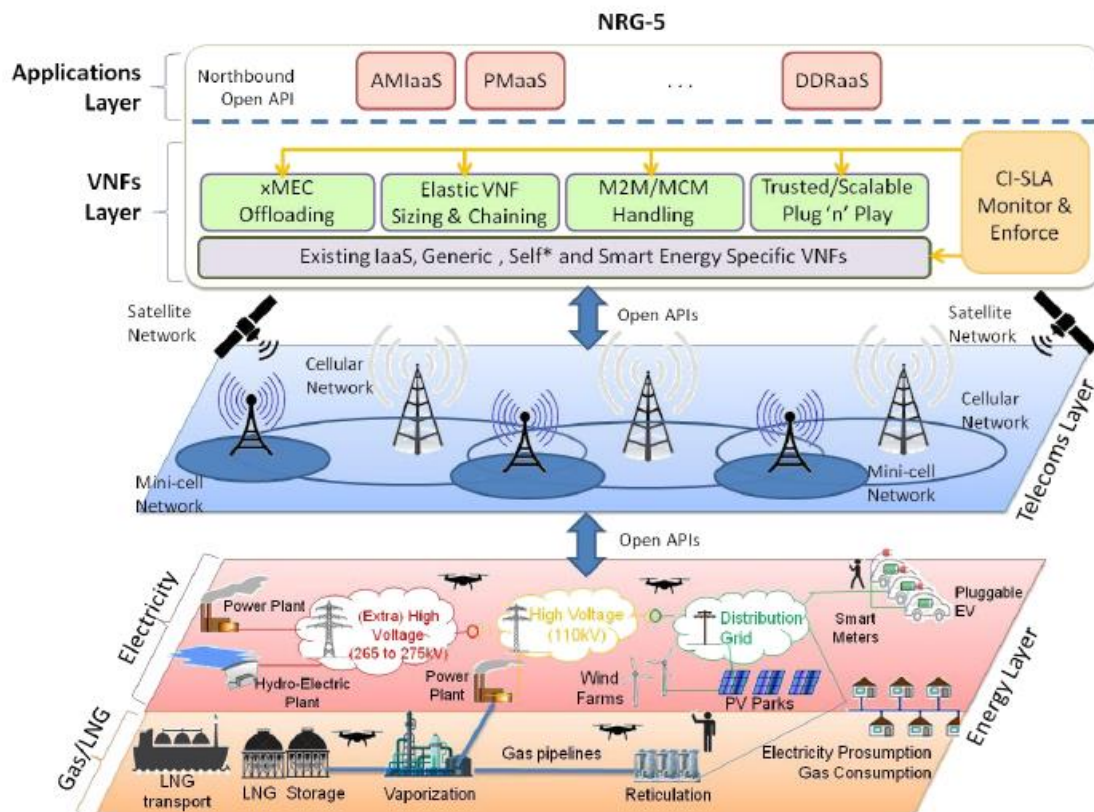
صنعت انرژی و برق به‌عنوان یکی از مهم‌ترین موارد مصرف^۱ فناوری 5G می‌باشد که در آن پاسخگویی به دسته بزرگی از نیازمندی‌های متفاوت با تنوع زیادی از برنامه‌های کاربردی هست. در حال برای پشتیبانی مؤثر شبکه نسل پنجم سلولی از صنعت انرژی که در حال گذر به سمت سیستم‌های تجدیدپذیر توزیع شده می‌باشد، چندین چالش در بخش‌های مدیریت شبکه‌های نسل پنجم، امنیت، تاب‌آوری، مقیاس‌پذیری و تحرک‌پذیری وجود دارد. برای مواجهه با این موضوعات، پروژه NRG-5، پلتفرم کاری نرم‌افزاری منطبق با پروژه 5G-PPP را بررسی و توسعه می‌دهد. این پلتفرم امن و غیرمتمرکز قادر خواهد بود منابع محاسباتی لبه و تجهیزات با سخت‌افزار محدودشده (همانند کنتور) متحرک یا ساکن را به‌صورت مجازی بکار گیرد و سرویس‌های مجازی را بر روی زیرساخت صنعت گاز و برق در کنار زیرساخت مخابرات پیاده‌سازی کند تا تمامی نیازهای محاسباتی و ارتباطی پوشش داده شوند. پشتیبانی شبکه نسل پنجم از صنعت برق برای حرکت به سمت منابع تجدیدپذیر غیرمتمرکز و توزیع شده، با چندین چالش در شبکه همچنان مواجه است [۳،۴].

¹ Use case

۱-۲-۴- معماری شبکه به کار گرفته شده در پروژه NRG5

معماری NRG5 با هدف برآورده کردن نیازمندی‌های شبکه نسل پنجم سلولی برای پشتیبانی از سرویس‌های صنعت انرژی و ایجاد سیستم غیرمتمرکز تولید انرژی تجدید پذیر ارائه شده است. بعد از بررسی طرح‌ها و اسناد مشخص شد جنبه‌های اصلی که در صنعت برق و انرژی برای معماری شبکه مبتنی بر نسل پنجم موردنظر است شامل موارد زیر است:

- سرویس‌های زمان حقیقی و مقیاس‌پذیر: این دسته سرویس‌ها به مشترکان این امکان را می‌دهند که وضعیت مصرف الکتریسیته خود را نظارت کنند یا در پاسخ تقاضا مشارکت کنند یا در بهره‌برداری از پهباد برای نظارت و مدیریت قابل پیش‌بینی نقش داشته باشند.
 - سرویس‌های ثابت و مقاوم در برابر خطا: به‌عنوان نتیجه خطا در اتصال و تأخیر در پردازش، سرویس‌های ابری بعضاً دچار نوسان می‌شوند بنابراین باید سرویس مقاوم و ثابت پیاده‌سازی شود.
 - داده خصوصی: ساختار ابری سیستم مجازی‌سازی توابع شبکه محیطی مشترک و بدون خصوصی‌سازی ایجاد می‌کند. بنابراین نیاز به مکانیسم‌های مراقبت و خصوصی‌سازی برای سیستم‌های ابری که داده‌های حساسی دارند ضروری است.
 - برقراری مجدد اتصال: در مواقع قطع اتصال، مکانیسم‌هایی برای ایجاد اتصال ایمن بین نقاط حیاتی و سرور ابری که سیستم مجازی‌سازی توابع شبکه بر روی آن قرار دارد ضروری است.
 - برش شبکه: منابع شبکه محدود هستند و باید به‌صورت هماهنگ بر اساس عملکردها و سرویس‌ها اختصاص داده شوند. برش‌های دلخواه شبکه که شامل تجهیزات و منابع فیزیکی و غیر فیزیکی شبکه هستند و دست‌های خاص از نیازها را برآورده می‌کنند برای این منظور مناسب هستند.
- این جنبه‌ها و موارد ذکر شده در طرح NRG5 که بین صنایع انرژی و مخابرات عمل می‌کند منظور شده است. در این طرح شبکه مخابراتی نسل پنجم به‌عنوان زیرساخت مخابراتی برای برآورده کردن نیازها و چالش‌های بخش صنعت برق و انرژی شناخته می‌شود. از نقطه‌نظر مالی یک ویژگی مهم شبکه نسل پنجم، انطباق فناوری و قابلیت مصرف مجدد تجهیزات مرتبط با شبکه کنونی است. به‌کارگیری مفاهیم مجازی‌سازی و استفاده از به‌روزرسانی‌های نرم‌افزاری موجب کاهش هزینه‌ها می‌گردد.
- معماری طرح NRG5 با معماری ارائه شده توسط 5G PPP مبتنی بر ساختار هماهنگ‌سازی شبکه بر اساس SDN/NFV مطابقت دارد. در این طرح اجزای جدیدی به معماری اضافه می‌شود که با مشخصات و نیازمندی‌های صنعت انرژی و برق همخوانی دارد که در شکل ۱-۴ نشان داده شده است.



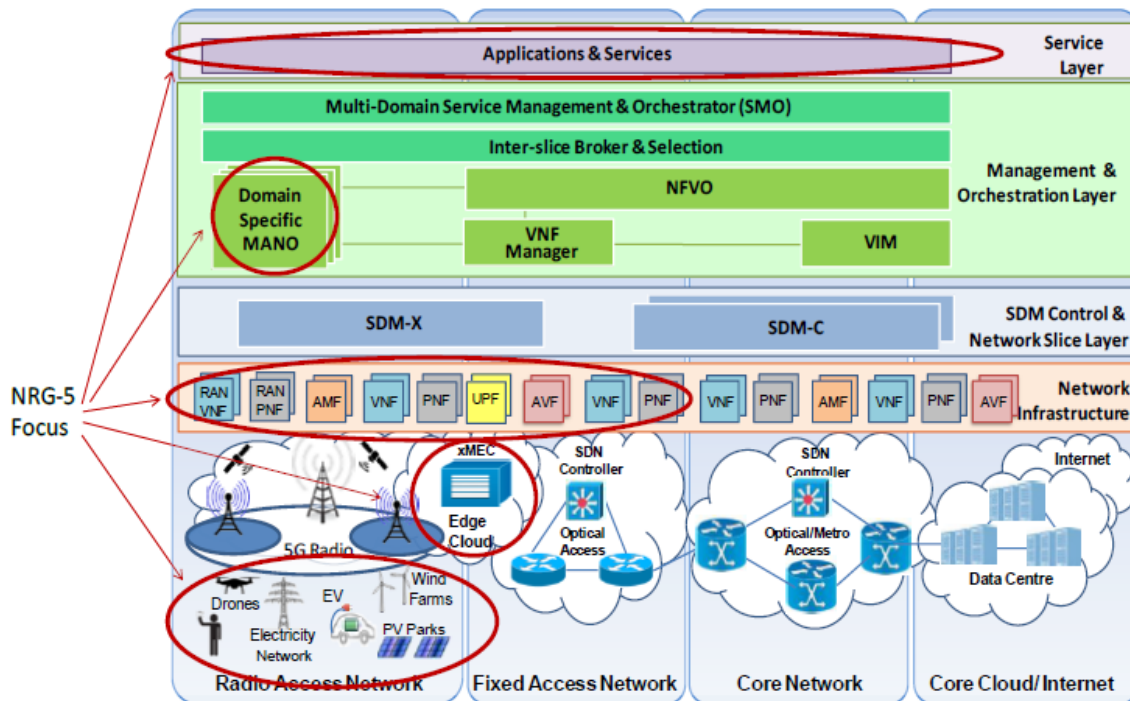
شکل ۱-۴ معماری 5NRG [۴]

در این طرح لایه پایینی لایه انرژی هوشمند است که شامل بخش‌های مختلف در صنعت انرژی می‌باشد. لایه بالای انرژی لایه شبکه مخابراتی است که شامل شبکه سلولی و اینترنت اشیا و شبکه ماهواره ایست. در ساختار NRG5 تعدادی تابع شبکه مجازی شامل توابع شبکه مجازی مربوط به بخش انرژی و سایر نرم‌افزارها و سخت‌افزارهای مرتبط است. در لایه بالاتر ساختار رایانش لایه سیار برای بارگیری مجدد^۱ بکار می‌رود، بعلاوه بخش‌هایی نظیر رشته تابع مجازی شبکه و مخبره ماشین با ماشین وجود دارد که توسط مکانیزه توافق سطح سرویس^۲ زیرساخت، هماهنگ‌سازی و مدیریت می‌شوند. این لایه و لایه مخابرات قابل نگاشته شدن روی معماری ارائه‌شده 5G PPP می‌باشند.

در بخش شبکه دسترسی رادیویی، طرح NRG5 شامل مورد جدیدی نمی‌شود. در لایه زیرساخت منطقی شبکه، واحدهای مختلف شبکه مانند AMF و UPF و غیره به صورت توابع شبکه مجازی و توابع شبکه فیزیکی پیاده‌سازی می‌شوند. در لایه بالاتر، واحد کنترل‌کننده، بخش کنترل برش شبکه را بر عهده دارد. هر برش شبکه شامل اجزای فیزیکی و مجازی شبکه می‌باشد. طرح NRG5 از مزایای معماری 5G PPP همچون برش شبکه بهره می‌برد. در لایه مدیریت و هماهنگ‌سازی شبکه، واحدهای مربوط به بخش مدیریتی مانند مدیریت

¹ Offloading² Service level agreement

زیرساخت مجازی و هماهنگ ساز توابع شبکه مجازی و همچنین بخش‌های مدیریتی مربوط به هر کاربرد خاص پیاده‌سازی می‌شوند. در لایه سرویس کاربردها و سرویس‌های مختلف بخش انرژی و صنعت برق قرار دارند.



شکل ۲-۴ معماری 5G و طرح NRG5 [۴]

سه مورد مصرف زیرساخت اندازه‌گیری هوشمند به‌عنوان سرویس^۱، مدیریت و نگهداری قابل پیش‌بینی به‌عنوان سرویس^۲ و پاسخ به تقاضای قابل ارسال به‌عنوان سرویس^۳ در این پروژه مطرح می‌باشند. در ادامه، نوآوری‌های حوزه انرژی هوشمند و صنعت برق که در معماری NRG5 مطرح است ارائه شده است. نوآوری‌های حوزه انرژی هوشمند و صنعت برق که در معماری NRG5 مطرح است در زیر آورده شده است.

- نوآوری‌های مربوط به AMIaaS به شرح زیر هست:

۱. تنظیم و پیکربندی خودکار: قابلیت اتصال به شبکه هوشمند انرژی به‌وسیله فناوری‌های موجود دسترسی رادیویی. همانند اتصال مستقیم و پیکربندی خودکار به زیرساخت‌های شبکه هوشمند که در آن خدمات ارائه می‌شود.
۲. اندازه‌گیری زمان حقیقی: محدودیت بر روی اتصال و شبکه در زمان اندازه‌گیری برای پشتیبانی از سرویس‌های مربوط به مشترکان و تولیدکنندگان برطرف شده است.

¹ AMIaaS

² PMaaS

³ DRaaS

۳. اعتبارسنجی: هر سرویس در صورت اعتبارسنجی مشترک درخواست‌کننده به آن اختصاص داده می‌شود و دلیل آن جلوگیری از دسترسی مخرب به زیرساخت هوشمند شبکه است.
 ۴. پیمانکاری هوشمند: پیمانکاری بین بخش‌های مختلف به‌منظور پرورش دادن بهره‌برداری از انرژی به‌صورت توزیع‌شده و تعدیل بار بر روی شبکه هوشمند انجام می‌گیرد.
- نوآوری‌های مربوط به PMaaS به شرح زیر هست:
 ۱. نظارت بر شبکه تولید و توزیع انرژی: این نظارت توسط پهباد شامل نظارت بر کابل‌های فشارقوی و ایزولاتورها و لوله‌ها و پمپ‌ها می‌شود و موجب کاهش هزینه‌ها و نظارت زمان حقیقی بر روی کل شبکه می‌شود.
 ۲. کنترل پهبادها به‌وسیله تحلیل ویدئوهای دریافتی از پهباد: پهبادها به‌وسیله اطلاعات دریافتی از آن‌ها قابل هدایت هستند. این ویژگی به‌وسیله قابلیت‌های شبکه نسل پنجم و محاسبات لبه سیار صورت می‌گیرد.
 ۳. عملکرد در وضعیت اضطراری: قابلیت کنترل پهبادها به‌صورت مؤثر و سریع توسط اپراتور باعث عملکرد مطلوب آن‌ها در شرایط بحرانی و اضطراری می‌شود.
 - نوآوری‌های مربوط به DRaaS به شرح زیر هست:
 ۱. هدایت و توزیع انرژی به‌صورت زمان حقیقی: قابلیت نظارت بر شبکه هوشمند از طریق کنترل کیفیت انرژی در نقاط کلیدی شبکه باعث هدایت و توزیع بهینه انرژی در شبکه هوشمند می‌شود.
- لازم به ذکر است که موارد مصرف مطرح‌شده در طرح NRG5 بر اساس ویژگی‌ها و نیازمندی‌ها در سه دسته سرویس شبکه نسل پنجم قرار می‌گیرند که در جدول ۴-۱ مشخص شده است.

جدول ۴-۱ دسته‌بندی موارد مصرف به تفکیک سرویس در پروژه NRG5

موارد مصرف / سرویس	URLLC	mMTC	eMBB
AMIaaS	✓	✓	
PMaaS	✓		✓
DRaaS	✓	✓	

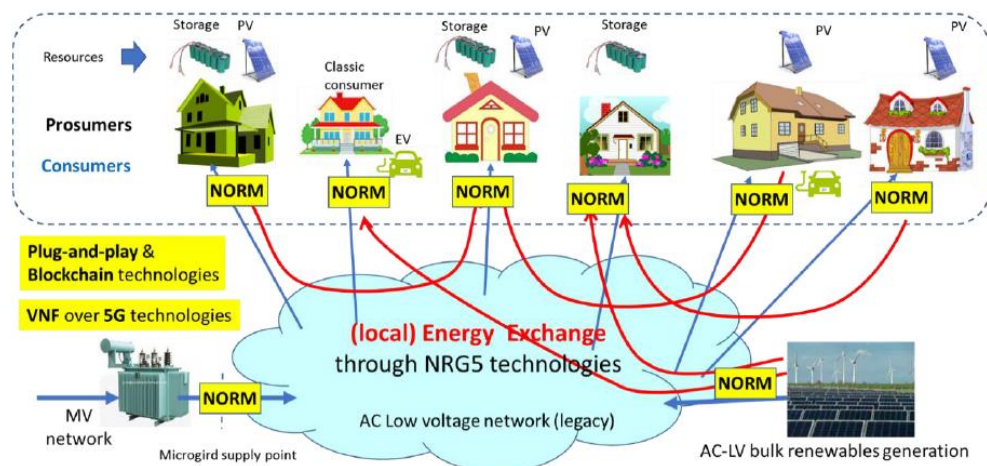
۴-۲-۱-۲- مورد کاربردی: زیرساخت اندازه‌گیری هوشمند به‌عنوان سرویس^۱ (AMIaaS)

هدف از به‌کارگیری این فناوری به‌عنوان سرویس یا AMIaaS عبارت است از:

- تهیه اطلاعات زمان حقیقی در مورد وضعیت عمومی شبکه همچنین تهیه اطلاعات مربوط به واحدهای اندازه‌گیری فازور^۲ یا PMU، ذخیره‌سازی توزیع‌شده^۳ یا DES و منابع تجدید پذیر انرژی^۴ یا RES برای اپراتور شبکه توزیع یا عاملین شبکه‌های هوشمند.
- ایجاد چارچوب و ساختار بازار انرژی مبتنی بر بلاک چین، که در آن تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان و مشترکان باهم در تعامل باشند.

اهداف تعیین‌شده بالا با همکاری و مشارکت توابع شبکه مجازی^۵ و برنامه‌های اختصاصی پیاده‌سازی شده اولاً به ایجاد ساختار باز و آزاد بازار انرژی کمک می‌کنند و دوما قابلیت‌های شبکه نسل پنجم برای کنترل و نظارت زمان حقیقی روی مشترکان و ایجاد ارتباط بین مشترکان و توزیع‌کنندگان و تولیدکنندگان را که از آن به‌عنوان AMI یاد می‌شود را فراهم می‌کند.

ایجاد بازار مصرف محلی به همراه نظارت زمان حقیقی توسط AMI باعث ظهور طرح AMIaaS می‌شود که در شکل ۳-۴ نشان داده‌شده است و شامل اندازه‌گیری هوشمند زمان حقیقی نسل بعدی یا NORM^۶ است.



شکل ۳-۴ طرح بازار انرژی و عملکرد NRG5 [۴]

هدف از طرح AMIaaS تغییر در سرویس‌های مبتنی بر انرژی مانند تغییر مدل خریدوفروش موجود به مدلی با تبادلات بیشتر و به‌صورت آزادانه‌تر است. در این مدل، سرویس‌های انرژی نتیجه تبادل اطلاعات میان

¹ Advanced Metering Infrastructure as a Service

² Phasor Measurement Unit

³ Distributed Energy Storage

⁴ Renewable Energy Sources

⁵ VNFs

⁶ Next generation Open Real time Smart meter

بازیگران اصلی مانند تولیدکنندگان و مشترکان خواهد بود. با استفاده از این پروسه تعاملی، بازیگران، برای خرید و فروش انرژی و ساخت زیرساخت کنترلی برای کنترل جریان انرژی درون شبکه هوشمند قراردادی بین خود تعریف می‌کنند. این طرح مانند جداسازی لایه کنترل در شبکه داده است که امکان مسیریابی مؤثر در شبکه را ایجاد می‌کند.

همچنین AMIaaS امکان به‌کارگیری طرحی غیرمتمرکز و با قابلیت "اتصال و اجرا" برای دستگاه‌های اندازه‌گیری را ایجاد می‌کند که به‌کارگیری معماری محاسبات لبه سیار را فراهم می‌کند. برای مورد کاربرد اندازه‌گیری هوشمند، ارسال اطلاعات به‌صورت زمان حقیقی به/ از سمت کاربر موردنظر است. در این کاربرد علاوه بر موارد ذکرشده، مخابره ماشین با ماشین وسیع یا mMTC نقش کلیدی ایفا می‌کند. همچنین اهمیت معماری نوین شبکه نسل پنجم که قابلیت‌های جدیدی را برای ارائه سرویس‌های جدید دارد قابل توجه است. مشخصات و نیازمندی‌های شبکه نسل پنجم برای مورد کاربردی AMI در جدول ۲-۴ نشان داده شده است.

جدول ۲-۴ مشخصات ترافیک شبکه نسل پنجم برای کاربرد AMI [۴]

5G Traffic Requirement	UC 1
User Density	High
User Data Rate	Medium
Mobility	Static
Infrastructure	High (*)
Traffic Type	Period / Event driven
Latency	Low
Reliability	High
Availability	High
eMBB	-
uMTC (URLLC)	X
mMTC	X

۳-۱-۲-۴- مورد کاربردی: مدیریت و نگهداری قابل پیش‌بینی

مدیریت قابل پیش‌بینی^۱ (PM) یک نیروگاه، به‌طور خلاصه به تصمیم‌گیری‌های مرتبط با سیستم بر اساس تخمین نتایج و وضعیت سیستم گفته می‌شود که نیازمندی‌های خاص خود را دارد. طرح مدیریت پیشگیرانه به‌عنوان سرویس یا PMaaS که از مزایای شبکه نسل پنجم بهره می‌برد با تأمین این نیازمندی‌ها قابل دستیابی است.

¹ Predictive Maintenance

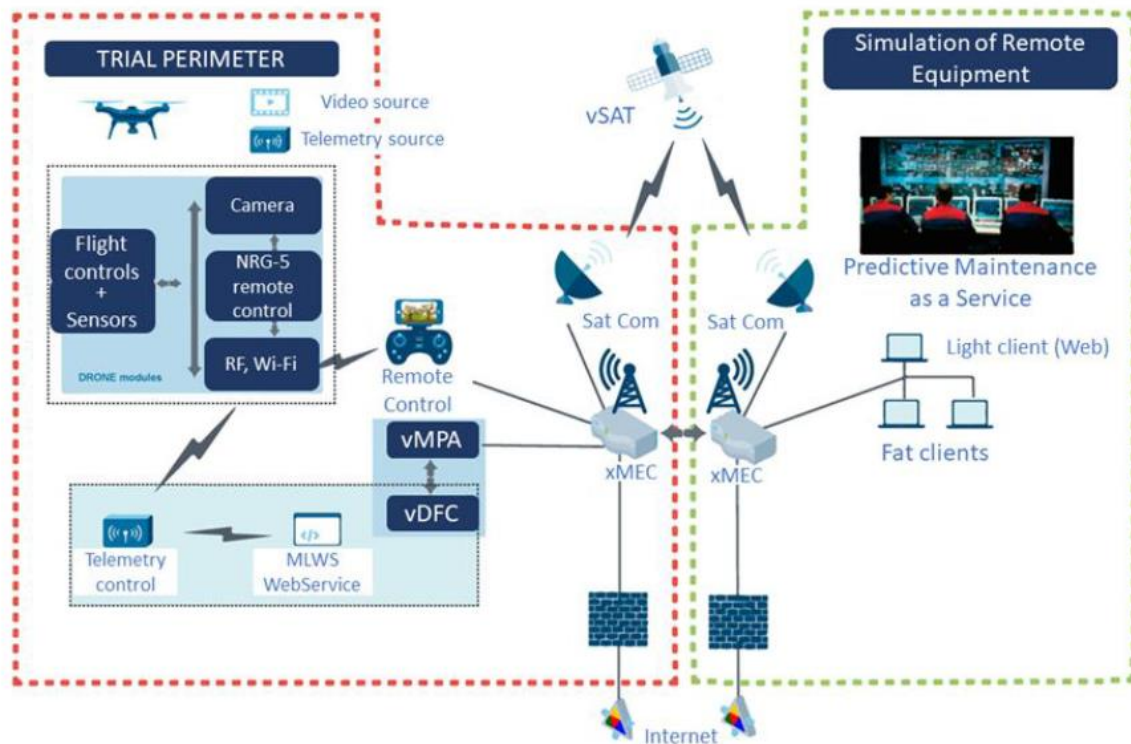
در این طرح از پهباد برای تصویربرداری از مناطق حساس و تهیه جزئیات استفاده می‌شود. شبکه نسل پنجم با ارائه مخابره زمان حقیقی و پهن باند، قابلیت ارسال ویدئو و قدرت پردازشی در لبه شبکه را برای پهباد به همراه خواهد داشت.

برای رسیدن به اهداف این مورد کاربردی، چند سناریو بررسی می‌شود. سناریو اول شامل مسیری است که توسط اپراتور یا مسئول بخش اجرایی برای بررسی نقاط حساس تعیین می‌شود. تشخیص هر نقص و عیب در سیستم موجب کاهش هزینه‌های عملیاتی می‌شود. در سناریو دوم، زمانی که اعلام خطا در اتاق کنترل دریافت شود پهباد توسط اپراتور به نقطه موردنظر ارسال می‌شود تا تصاویری حاوی جزئیات موردنظر تهیه شود. سناریو بعدی مربوط به وضعیت بحران است که مخابره به شیوه متداول قابل‌دسترس نیست یا امکان استفاده از آن در محیط محیا نیست، در چنین شرایطی ممکن است لینک ماهواره پیشنهاد شود لکن این ارتباطات ماهواره‌ای شرایط و نیازهای سرویس موردنظر را پشتیبانی نمی‌کند؛ در این شرایط استفاده از پهباد برای تصویربرداری و عیب‌یابی مطلوب است. نیازمندی‌های این دسته کاربردی در جدول ۳-۴ آورده شده است.

جدول ۳-۴ مشخصات ترافیک نسل پنجم برای کاربرد PM [۴]

5G Traffic Requirement	UC2
User Density	Low
User Data Rate	Medium
Mobility	Dynamic
Infrastructure	High
Traffic Type	Continuous
Latency	Low
Reliability	High
Availability	High
eMBB	X
uMTC (URLLC)	X
mMTC	X

سناریو و نیازمندی‌های مطرح‌شده در این کاربرد استفاده از قابلیت‌های نوین شبکه نسل پنجم مانند به‌کارگیری محاسبات لبه سیار و مجازی‌سازی توابع شبکه را طلب می‌کند. توابع مجازی شبکه در این کاربرد نه‌تنها برای طرح مدیریت و نگهداری قابل پیش‌بینی بلکه برای سایر کاربردها که در آن پخش ویدئو مطرح است و زیرساخت شبکه نسل پنجم مهیاست قابل استفاده است.



شکل ۴-۴ به کارگیری PMaaS در پروژه NRG5 [۴]

۴-۲-۱-۴- مورد کاربردی: پاسخ به تقاضای قابل ارسال^۱ (DR)

امروزه شاهد تحول در جریان انرژی در شبکه انتقال هستیم. ظهور نیروگاه‌های تولید انرژی تجدید پذیر و تغییر جریان انرژی از تک جهت به دو جهت منجر شده است. برای جلوگیری از چالش‌های به وجود آمده و بهینه‌سازی استفاده از منابع، نظارت و کنترل شبکه انتقال به صورت زمان حقیقی و در نتیجه مدیریت جریان انرژی هوشمند حیاتی است. اپراتورهایی که مدیریت سیستم‌های توزیع و انتقال را برعهده دارند دارای زیرساختی مجهز به اندازه‌گیری هوشمند که قادر به نظارت از راه دور و سیستم اندازه‌گیری فازور PMU هستند. حجم انتقال اطلاعات بین این واحدها به فناوری‌ها و مشخصات خاصی نیازمند است. به همین دلیل این مورد کاربردی نیاز کلیدی به شبکه‌های نسل پنجم و فناوری‌هایی که به وسیله آن فعال می‌شوند دارد تا عملکرد شبکه انتقال را بهینه می‌کند و بار را مدیریت می‌کند.

سناریو اول توصیف‌کننده تولید انعطاف‌پذیر از طریق پاسخ تقاضا را نشان می‌دهد و نشان می‌دهد که چگونه ارائه‌دهندگان انرژی نقش مؤثری در مدیریت انعطاف‌پذیر انرژی دارند. به عنوان مثال به اپراتور توزیع یا DSO^۲ بار قابل کنترل ارائه می‌دهد تا از بی‌ثباتی شبکه هوشمند جلوگیری شود و استفاده از منابع بهینه‌سازی شود.

^۱ Dispatchable demand response

^۲ Distributed System Operator

سناریو دوم توصیف‌کننده شرایط مجزا سازی خطا و بازیابی شبکه هوشمند با تغییر جریان انرژی است. این کاربرد به مدیریت جریان در زمان حقیقی با در نظر گرفتن نقطه شارژ مجدد می‌پردازد.

۵-۱-۲-۴- پیلوت‌های اجرا شده در پروژه NRG-5

در این پروژه دو پیلوت اجرا شده است. اولین پیلوت در فرانسه و بر روی ترمینالهای LNG¹ شبکه گاز طبیعی متعلق به شرکت ENGIE که اولین موقعیت توزیع و انتقال و ذخیره گاز در کل اروپا را داراست اجرا شده است. این شرکت، حدود ۳۲ هزار کیلومتر لوله های فشار قوی گاز را که از طریق ۱۷ اپراتور شبکه توزیع متصل می شود و ۱۰ میلیون مشترک خانگی، ۸۰۲ مشترک صنعتی (شامل ۱۲ نیروگاه گازی) و انتقال ۵۸۳ تراوات ساعت گاز را بعهده دارد. برای هر ۱۵۰ تا ۲۰۰ کیلومتر از خطوط انتقال گاز، ایستگاههای مجهز به کمپرسور و سیستم اندازه گیری، کنترل و ایمنی تعبیه شده است تا فشار گاز لوله های گاز را بالا ببرد. در پیلوت پروژه NRG-5، با استفاده از پهباد، عملیات نگهداری پیشگیرانه^۲ در محیط چندگانه دسترسی رادیویی^۳ (سلولی، ماهواره و وای فای) در محل ایستگاه انجام شده است. همچنین عملیات اسکادای پیشرفته و اتصال به حس گر و عمل گر برای ارزیابی رایانش لبه و توابع مجازی به کار گرفته شده‌اند[۵].

پیلوت دوم که برای مدیریت و کنترل بهینه انرژی در شهر Torni ایتالیا اجرا شده است توسط شرکت ASM، اپراتور توزیع برق و گاز شهرداری Torni و شرکت EMOT در هر سه مورد مصرف پروژه NRG-5 پیاده سازی شده است. تعدادی از انشعابهای برق ولتاژ ضعیف، چهار پست توزیع، یک منبع تجدیدپذیر با تولید مازاد محلی در این پیلوت به کار گرفته شده‌اند[۶].

۲-۲-۴- پروژه SOGNO از مجموعه فعالیت‌های برنامه H2020 کمیسیون اروپا

سیستم‌های انرژی تا سال ۲۰۲۵ بر پایه افزایش سطح نفوذ منابع تجدید پذیر می‌باشند و اپراتورهای شبکه برق نیاز به نگرش جدید برای اجرای بهینه عملیات از نظر صرفه مالی دارند. هم‌زمان با این مسئله شبکه‌های موبایل نسل پنجم که تا سال ۲۰۲۵ توسعه یافته‌تر شده‌اند سرویس‌هایی را پیشنهاد می‌دهند که دسترسی بالا و تأخیر پایین دارند و کنترل بر مبنای داده را فعال می‌کنند. از آنجایی که تکامل بخش انرژی به سمت وسوی تمرکز بر انرژی به‌عنوان سرویس می‌رود، اپراتورهای شبکه توزیع احتیاج دارند که بر قابلیت‌های خود بیافزایند و نوآوری‌هایی همچون اقتصاد مشارکتی را معرفی کنند و از سرویس‌هایی که قابلیت انعطاف را برای تطابق و کاهش نیاز به سرمایه‌گذاری ثابت افزایش می‌دهد استفاده شود.

¹ liquefied natural gas

² Predictive Maintenance

³ Multi-RAT

پروژه SOGNO رؤیت‌پذیری و کنترلی مناسب را در هر دو شبکه‌های قدرت ولتاژ پایین و متوسط مهیا سازد و از اتوماسیون انتها به انتها در محیط مجازی استفاده کند. در این پروژه از ترکیب فناوری‌های نوین به شرح زیر استفاده شده است:

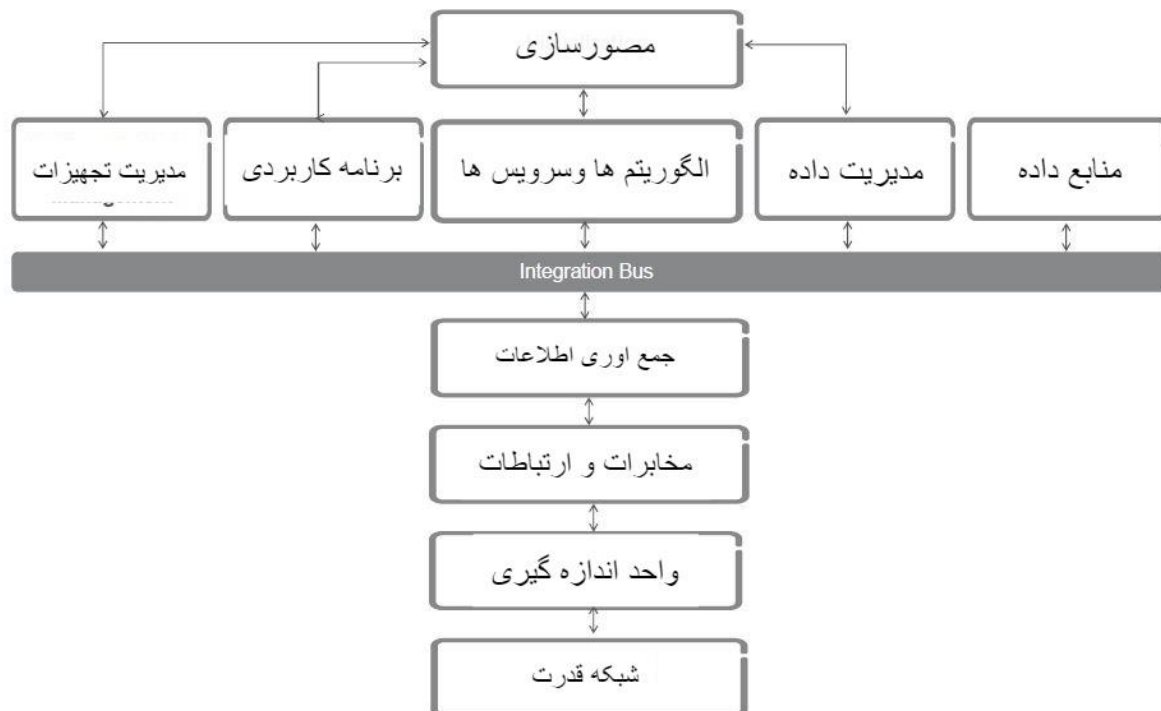
- فن‌های هوشمند عمیق
- تحلیل داده
- ابزارهای مصورسازی
- حس‌گرهای پیشرفته
- واحد اندازه‌گیری توان پیشرفته
- 5G بر اساس ICT

پروژه SOGNO در کشور آلمان مدیریت و انجام می‌شود و دانشگاه RWTH نقش فعالی در آن دارد همچنین کشورهای چین هلند و رومانی و ایرلند و شرکت‌هایی چون اریکسون، استارت‌آپ Gridhound (همکاری دانشگاه RWTH آخن و مرکز تحقیقات انرژی E.ON) در آن نقش فعالی دارند. این پروژه تا تابستان ۲۰۲۰ به پایان می‌رسد و حدود ۴ میلیون یورو بودجه برای آن در نظر گرفته شده است. در این پروژه، پنج پایلوت مختلف به شرح زیر اجرا شده است [۷]:

- پایلوت میدانی رومانی برای ارزیابی قابلیت‌های تخمین حالت و پیش‌بینی بار در شبکه ولتاژ ضعیف رومانی
- پایلوت میدانی توسط اپراتور سیستم توزیع ESB در ایرلند با به کارگیری سیستم فناوری اطلاعات و ارتباطات برای توسعه آزادی بازیگران بخش انرژی برای کنترل تولید و بار مصرفی
- پایلوت آزمایشگاهی آزمایشگاه انرژی دانشگاه Tallin در کشور استونی
- پایلوت آزمایشگاهی دانشگاه RWTH در آلمان براساس سخت‌افزار و شبیه‌سازی زمان-واقعی که برای اپراتورهای توزیع امکان آزمایش یکپارچه را مهیا می‌سازد.
- پایلوت میدانی در دانشگاه RWTH آلمان که در شبکه انرژی محوطه دانشگاه از ابزارهای بهینه‌سازی و پایش با به کارگیری ابر امن استفاده می‌کند.

در مورد معماری سیستم SOGNO، این معماری باهدف ارائه سرویس مطمئن و امن طراحی شده است. افزایش نظارت بر شبکه توزیع به اپراتور شبکه برق امکان می‌دهد تا توزیع انرژی به شکل بهینه انجام شود. برای این هدف پروژه SOGNO طرحی اتوماسیونی مبتنی بر به کارگیری وسیع واحدهای اندازه‌گیری پیشرفته (دسته سرویس‌های mMTC) و نیازمند مخابرات سریع و با پهنای باند بالا (دسته سرویس‌های eMBB و URLLC) و استفاده از هوش مصنوعی در محیط مجازی‌سازی شده ارائه می‌کند. در این پروژه بیشتر به تعریف و ارزیابی سرویس‌ها پرداخته شده است و شبکه نسل پنجم به عنوان ابزار ارتباطی مناسب برای ارائه سرویس‌ها در نظر

گرفته شده است. معماری SOGNO شامل اجزایی است که برای ارائه سرویس ضروری است و در شکل ۴-۵ در گروه‌های کلی نشان داده شده‌اند. قابل ذکر است که وزن بیشتر این پروژه روی هوشمند سازی و تعریف سرویس برای اپراتور برق است و به فناوری موبایل نسل پنجم به عنوان یکی از کاندیداهای زیرساخت ارتباطی نگاه شده است [۸،۹].



شکل ۴-۵ معماری طرح SOGNO [۹]

در ادامه برخی از بخش‌های مهم معماری SOGNO بررسی شده است.

۴-۲-۲-۱- بخش مصورسازی^۱

مجازی‌سازی برای برآورده کردن نیازهای سرویس‌های موردنظر و کمک به اپراتورهای شبکه برای کنترل و مدیریت وضعیت شبکه ضروری است و شامل موارد زیر است:

- هشداردهنده‌ها: هشداردهنده‌ها به مشترکان یا تولیدکنندگان اجازه مطلع شدن از وضعیت بحرانی در شبکه را می‌دهند.
- پارامترهای پیکربندی: این بخش پارامترهای مربوط به تجهیزات را ارائه می‌دهد. این بخش کنترل و نظارت بر تجهیزات نصب شده را میسر می‌کند.
- قرارگیری جغرافیایی: این بخش قرارگیری جغرافیایی تجهیزات الکتریکی را به صورت دقیق مشخص می‌کند.

¹ Visualization

- گراف عملکرد: گراف عملکرد تغییرات در عملکرد شبکه را نشان می‌دهد. این بخش امکان تحلیل و بهینه‌سازی شبکه را نشان می‌دهد.
- گراف اندازه‌گیری: این بخش اندازه‌گیری‌های مربوط به یک دستگاه را نشان می‌دهد.
- بخش مخابراتی: این بخش امکان جستجو و ارتباط بین اجزا و مشترکان را به شبکه می‌دهد.
- حفاری^۱ شبکه هوشمند: این بخش به مشترکان امکان جستجو در شبکه هوشمند به‌طور مثال از ایستگاه به ترانسفورماتورهای آن، سپس به فیدرهای ورودی و خروجی مربوطه را می‌دهد و به‌طور کلی از یک جزء شبکه به مؤلفه متصل آن را می‌دهد.
- بخش KPI: این بخش عملکرد KPI و مقادیر اساسی KPI مربوطه را نشان می‌دهد.
- بخش موقعیت: بخش موقعیت نشان‌دهنده ارتباط بین موقعیت‌های مختلف است.

۴-۲-۲-۲- بخش سرویس و الگوریتم

سرویس‌ها و الگوریتم‌های ارائه‌شده در پروژه SOGNO به شرح زیر است:

- سرویس تخمین وضعیت: این سرویس وضعیت شبکه را در زمان خاصی پیش‌بینی می‌کند. به این وسیله نظارت زمان حقیقی بر شبکه نیز مهیا می‌شود. اطلاعات به دست آمده از الگوریتم تخمین وضعیت به اپراتور شبکه امکان تشخیص عیب‌ها را می‌دهد.
- سرویس کنترل توان: سرویس کنترل توان مقدار بهینه توان اکتیو و راکتیو را تعیین می‌کند. هدف این سرویس جلوگیری از بروز وضعیت بحرانی در شبکه است.
- سرویس مکان‌یابی خطا و بازسازی بخش ایزوله شده (FLISR^۲): سرویس FLISR عیب در شبکه را موقعیت‌یابی می‌کند و با تغییر در وضعیت شبکه بخش دارای خطا را جداسازی می‌کند.
- سرویس تخمین بار: این سرویس وظیفه تخمین تولید بار شبکه بر اساس وضعیت مصرف و تولید را برعهده دارد.
- سرویس ارزیابی KPI: این الگوریتم مقادیر KPI مانند شاخص متوسط مدت وقفه (SAIDI^۳) و شاخص متوسط تعداد وقوع وقفه در سیستم (SAIFI^۴) را برای ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه تعیین می‌کند.
- سرویس ارزیابی کیفیت توان: این سرویس مقادیر کلیدی نظیر تلف هارمونیک یا ولتاژ غیر متعادل را برای ارزیابی کیفیت تولید توان بررسی می‌کند.

^۱ Drilldown

^۲ Fault Localization and Isolated Service Restoration

^۳ System Average Interruption Duration Index

^۴ System Average Interruption Frequency Index

۴-۲-۳-۳- فناوری‌های مخابراتی

در این بخش فناوری‌های مخابراتی مختلفی که برای انتقال اطلاعات در این پروژه از آن‌ها استفاده می‌شود معرفی شده است:

- NB-IoT: اینترنت اشیا باند باریک یا NB-IoT قابلیت پشتیبانی از تعداد بالایی دستگاه با توان پایین و سخت‌افزار ارزان قیمت و با محدوده تحت پوشش پایین را دارد. این فناوری به‌طور معمول بر روی یک شبکه اصلی مانند LTE یا 5G که در ادامه آورده شده‌اند پیاده‌سازی می‌شود.
- LTE: شبکه نسل چهارم مخابرات سلولی پهن باند که در سال‌های اخیر به‌طور وسیع پیاده‌سازی شده است. با این وجود این شبکه مغایرت‌هایی با نیازمندی‌های سرویس‌های موردنظر در این طرح دارد.
- 5G: شبکه نسل پنجم مخابرات سلولی که نسبت به نسل چهارم قابلیت‌های به‌مراتب بالاتری دارد، به دلیل ویژگی‌های آن بهترین و مناسب‌ترین فناوری برای بکارگیری در این طرح و سایر طرح‌های صنعت برق و انرژی است.

۴-۲-۳-۴- واحدهای اندازه‌گیری

در این لایه دستگاه‌های کنترل و اندازه‌گیری که در شبکه هوشمند به کار گرفته می‌شوند و موردنظر پروژه SOGNO می‌باشند معرفی می‌شود.

- PMU: واحد اندازه‌گیری فازور، اندازه‌گیری‌های مربوط به ولتاژ و جریان و فرکانس و نرخ تغییر فرکانس را اندازه می‌گیرد. همه این اندازه‌گیری‌ها به‌صورت هم‌دوس انجام می‌شوند.
- واحد اندازه‌گیری توان: این واحد اندازه‌گیری مقادیر الکتریکی و مقادیر پارامترهای توان را اندازه‌گیری می‌کند.
- واحد کنترل سوییچ: این واحد کنترل می‌تواند وضعیت سوییچ‌ها را در شبکه هوشمند تغییر دهد.
- کانورتر^۱: این سخت‌افزار قدرت وظیفه مداخله در منابع شبکه هوشمند را بر عهده دارد.

۴-۲-۳-۵- مدیریت تجهیزات و اتصالات

این گروه از واحدهای مدیریتی، پیکره‌بندی و مدیریت تجهیزات کنترلی و اندازه‌گیری و مخابراتی را بر عهده دارند:

- مدیریت بر پیکره‌بندی تجهیزات: این بخش تنظیماتی بر پیکره‌بندی تجهیزات را فعال می‌کند که وضعیت هر دستگاه در شبکه را بتوان نظارت کرد.

¹ converter

- مدیریت بر چرخه فعالیت تجهیزات: این بخش مدیریت نصب و جانشینی تجهیزات در شبکه هوشمند را بر اساس وضعیت آن‌ها بر عهده دارد.
- مدیریت بر اتصال الکتریکی: این بخش اتصال تجهیزات به شبکه را مدیریت می‌کند.
- مدیریت بر انتقال اطلاعات: اطلاعات مربوط به بخش مخابراتی و انتقال اطلاعات در شبکه را مدیریت می‌کند.

۴-۲-۶- مدیریت سرویس

- این گروه به اپراتورهای برق امکان اعطای دسترسی به مشترکان و دستگاه‌ها برای اتصال به سیستم را می‌دهد:
- مدیریت دسترسی: این بخش اطمینان ایجاد می‌کند که تنها مشترکان دارای مجوز قابلیت اتصال به سیستم داشته باشند.
 - حوزه‌بندی: این بخش دستگاه‌ها و تجهیزات و سایر عناصر شبکه را نشان می‌دهد.
 - پیکربندی تصویری: این بخش مشخص می‌کند چه دستگاهی در چه حوزه‌ای قابل‌نمایش خواهد بود.

۴-۲-۷- سرویس مکان‌یابی خطا و بازسازی بخش ایزوله شده

سرویس مکان‌یابی خطا و بازسازی بخش ایزوله شده اصلی‌ترین بخش پروژه SOGNO هست. همان‌طور که اشاره شد این سرویس قابلیت تشخیص خطا و ایزوله سازی در شبکه قدرت را دارا است. دستگاه‌های اندازه‌گیری از طریق شبکه نسل پنجم با این سرویس در ارتباط هستند. به‌طور دقیق‌تر دستگاه‌های اندازه‌گیری از طریق ماژول‌های ارتباطی به‌عنوان کاربر شبکه نسل پنجم اطلاعات خود را به ایستگاه‌های پایه و سرورهای رایانش لبه ارسال می‌کنند و از این طریق به سرویس FLISR متصل می‌شوند. تحقیقات مربوط به این سرویس طی تست‌های آزمایشگاهی در دانشگاه RWTH آخن آلمان بررسی شده است.

سرویس مکان‌یابی خطا و بازسازی بخش ایزوله شده دارای نیازمندی‌های مخابراتی مشخصی است که بر اساس آن در دسته‌بندی سرویس‌های مخابراتی شبکه نسل پنجم قرار می‌گیرد. اولاً این سرویس نیازمندی تأخیر مشخصی دارد، به‌طور کلی تمام عملیات مربوط به این سرویس باید در زمانی کمتر از دو دقیقه انجام شود که این شامل دریافت و انتقال و پردازش اطلاعات و تصمیم‌گیری در سیستم است. دوماً این سرویس نیاز به قابلیت پایداری حداکثری دارد که از طریق فناوری برش شبکه حاصل می‌شود. بنابراین می‌توان این مورد کاربردی را به‌عنوان سرویس‌های URLLC دسته‌بندی کرد.

۳-۲-۴- پروژه SLICENET از مجموعه فعالیت‌های برنامه H2020 کمیسیون اروپا

با افزایش نقش فناوری دسترسی پهن باند به اینترنت و فناوری محاسبات ابری در اقتصاد و بهبود وضعیت زندگی، فناوری مخابرات سلولی به‌خصوص شبکه نسل پنجم موردتوجه قرار گرفته است. به‌خصوص فناوری برش شبکه به‌عنوان راه‌حلی برای پاسخ به نیازهای متنوع سرویس‌های شبکه نسل پنجم از اهمیت دوچندانی در میان فناوری‌های شبکه نسل پنجم بهره می‌برد.

پروژه SLICENET با هدف طراحی و نمایش چارچوب برش شبکه و با تأکید بر قابلیت مدیریت شبکه و برش شبکه end-to end در سال ۲۰۱۷ آغاز به کار کرده است. بودجه این پروژه در حدود ۸ میلیون یورو است و مؤسساتی از کشورهای انگلیس، ایتالیا، پرتغال و ایرلند با آن همکاری می‌کنند. شرکت‌های متعددی مانند شرکت سازنده تجهیزات مخابراتی اریکسون، اپراتور Orange در دو کشور فرانسه و رومانی، شرکت مخابراتی یونانی OTE و شرکت انرژی پرتغالی EFACEC در این پروژه همکاری داشته‌اند [۱۰].

این پروژه، برش شبکه نسل پنجم، قابلیت کنترل و مدیریت شبکه، همکاری بین لایه‌ای، هماهنگ‌سازی، مقیاس‌پذیری، امنیت و بسیاری ویژگی‌های دیگر را شامل می‌شود [۱۱].

تحلیل نیازمندی‌های صنایع عمودی و موارد مصرف مربوط به آن‌ها در پروژه SLICENET موردتوجه قرار گرفته است. همچنین بخش‌های مربوط به بازار مصرف این صنایع عمودی و سرویس‌های آن‌ها نیز بررسی شده است. نیازمندی‌های شبکه و سرویس‌ها و صنایع عمودی معرفی شده و از نظر فنی، عملیاتی و اقتصادی هر مورد کاربردی بررسی شده است. سه صنعت عمودی موردنظر پروژه عبارت‌اند از صنعت برق و انرژی، شهر هوشمند و سلامت الکترونیک.

بنابراین به دلیل اینکه صنعت برق و انرژی به‌عنوان یکی از سه صنعت انتخابی در این پروژه در نظر گرفته شده است بررسی بیشتر این پروژه در دستور کار قرار گرفته شد. بررسی موارد زیر در پروژه SLICENET محقق شده است:

- توصیف و بررسی موارد مصرف از نقطه‌نظر صنایع عمودی: بررسی موارد مصرف از دیدگاه اقتصادی، دیدی از وضعیت پروژه و معماری آن و راهکارهای بهینه برای بررسی نتایج پروژه ایجاد خواهد کرد.
- مشخص نمودن انتظار صنایع عمودی از شبکه نسل پنجم: به دلیل اینکه ارائه سرویس‌های ثابت و غیر منعطف دیگر جایگاهی ندارند و نیازمندی‌های مشتریان و سرویس‌های مدنظر آن‌ها هست که وضعیت و قابلیت شبکه را معین می‌کند بنابراین نیاز است که انتظار صنایع عمودی از شبکه نسل پنجم مشخص باشد.
- مشخص نمودن نیازمندی‌هایی که شبکه مخابراتی را با چالش روبرو می‌کنند: برخی نیازمندی‌های صنایع عمودی که ممکن است برای شبکه نسل پنجم چالش‌هایی ایجاد کند بررسی می‌شود.

- توصیف وضعیت تعامل میان صنایع عمودی و ارائه‌دهندگان سرویس

از دید فنی و تکنولوژیکی، این پروژه بر اساس طرح 5G-PPP باهدف نرم‌افزار محور نمودن شبکه تعریف شده است. برای این هدف از فناوری برش شبکه بهره می‌برد که تأثیر قابل توجهی بر عملکرد و کیفیت سرویس و کاهش هزینه‌های اجرایی شبکه دارد. به‌طور دقیق‌تر، نقطه توجه پروژه SLICENET قابلیت مقیاس‌پذیری در شبکه با به‌کارگیری عناصر نرم‌افزاری در شبکه است. توانایی اینکه شبکه به آسانی در مواقع حساس قابل گسترش باشد بسیار اهمیت دارد، زیرا اولاً در مواقع اوج ترافیک شبکه موردنظر قادر به پاسخگویی خواهد بود و تأخیر محسوسی به وجود نمی‌آید و دوما ناحیه تحت پوشش مطلوب و وسیعی قابل دستیابی خواهد بود. با به‌کارگیری SLICENET دو قابلیت بالا قابل دسترسی است.

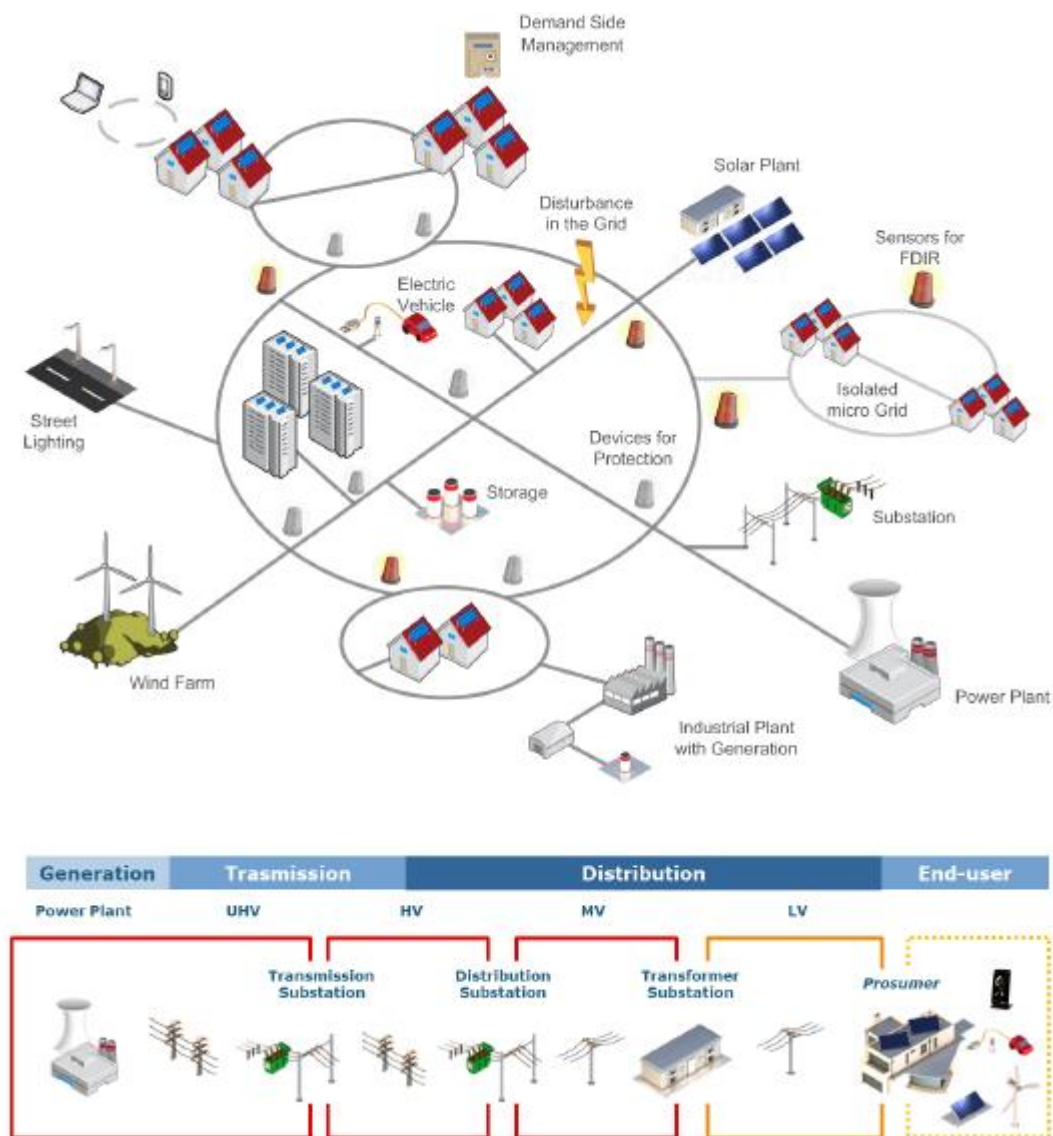
علاوه بر این، معرفی معماری مبتنی بر نرم‌افزار به ارائه‌دهندگان اجازه ارائه سرویس‌های جدید را می‌دهد. این توانایی از وعده‌های شبکه نسل پنجم برای ارائه سرویس‌های نوین به کاربران است. بعلاوه با به‌کارگیری مجازی‌سازی محدودیت‌های ارائه سرویس مانند تعداد کاربران نیز از بین می‌رود. همچنین برش شبکه در کاهش هزینه‌های شبکه نیز نقش کلیدی ایفا می‌کند. اولاً اشتراک‌گذاری منابع را به حداکثر می‌رساند که مصرف منابع را به شکلی اقتصادی‌تر ممکن می‌سازد و دوماً مدیریت شبکه را نیز از طریق ارائه چارچوب مجتمع برای مدیریت زیرساخت‌ها و منابع به شکلی کارآمد درمی‌آورد. با معرفی موارد مصرف این پروژه تأثیرات آن به شکل محسوسی قابل مشاهده است.

از دید کاربردی، در بخش صنعت برق و انرژی، پیاده‌سازی SLICENET، با هدف بهره بردن از شبکه‌های با قابلیت اطمینان بالا و تأخیر حداقلی به‌منظور ایجاد قابلیت خود بهبودی¹ در شبکه هوشمند موردنظر است. وقفه در سرویس یکی از دغدغه‌های اپراتورهای شبکه قدرت است که مستقیماً به قابلیت اطمینان سیستم برق و کیفیت ارائه برق و عملکرد سیستم مرتبط است. بدون توجه به ابعاد و ماهیت خسارتی که به دلیل خطا و عیب در شبکه قدرت ایجاد می‌شود، اپراتورهای سیستم قدرت، مسئولیت فنی و اقتصادی آن را باید قبول کنند. وقفه در سرویس به دلیل وجود عیب و خطا در سیستم حاصل می‌شود و برای مقابله با آن راه‌حل‌های مبتنی بر اتوماسیون توزیع برای ایجاد قابلیت اطمینان بالاتر در سیستم ارائه می‌شود که به‌موجب آن کیفیت ارائه سرویس در شبکه قدرت بهبود میابد. اتوماسیون توزیع شامل مجموعه‌های از فناوری‌هاست که به‌صورت زمان حقیقی اجازه اجرا شدن قابلیت خود بهبودی بر اثر تشخیص و جداسازی قسمت دارای خطا به سیستم را می‌دهد که در ادامه پیکربندی خودکار و بازیابی سرویس انجام می‌شود. کاهش زمان بازیابی بار به حداقل مقدار ممکن در مقیاس شبکه هوشمند به‌وسیله افزایش به‌کارگیری فناوری اطلاعات و مخابرات، به‌کارگیری

¹ self-healing

یک واحد خطایابی، جداسازی و بازیابی (FDIR¹) کارآمد که پاسخگویی خودکار شبکه به تغییرات و خطایابی و جداسازی قسمت معیوب را ایجاد کند، از اهداف ضمنی مفهوم خود بهبودی شبکه هست. معماری شبکه قدرت موردنظر در پروژه SLICENET در شکل ۴-۶ نشان داده شده است.

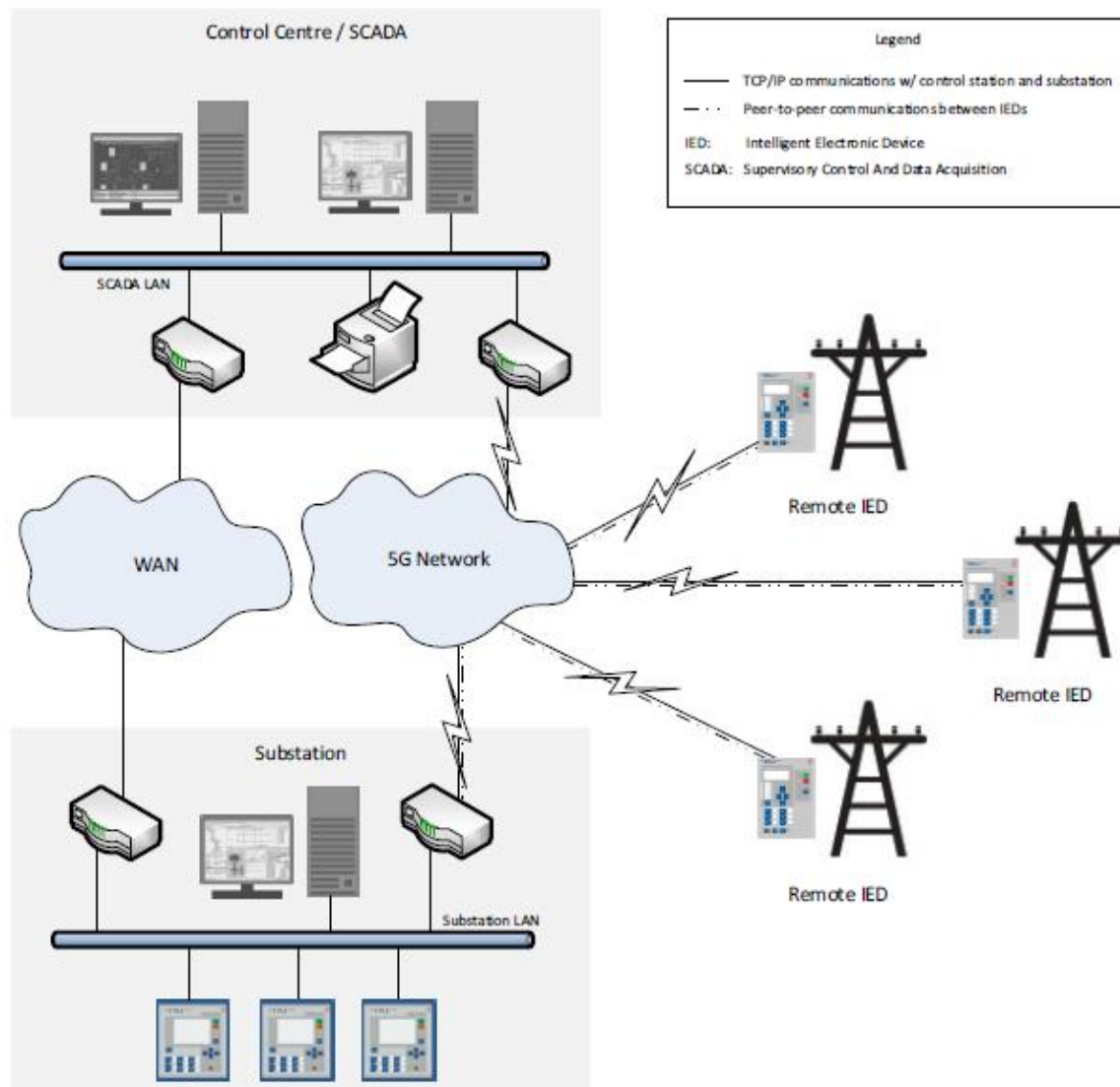
- فناوری 5G در شبکه هوشمند در این پروژه با اهداف ذیل به کار گرفته شده است:
- ایجاد زیرساخت مخابراتی قابل اطمینان برای دستگاه‌های شبکه هوشمند
 - ردوبدل پیام میان دستگاه‌های توزیع‌شده با ارتباط پرسرعت
 - ایجاد مخابرات امن بین دستگاه‌های شبکه هوشمند با تأکید بر فناوری امنیت سایبری



شکل ۴-۶ معماری شبکه قدرت در نظر گرفته‌شده در پروژه SLICENET [۱۱]

¹ Fault Detection, Isolation, Restoration

یکی از فرضیات در این پروژه، استفاده از زیرساخت مخابراتی مطابق شکل ۷-۴ است که در آن دستگاه‌های توزیع‌شده مثل واحدهای IED می‌توانند از شبکه 5G با دسترسی وسیع بهره ببرند.



شکل ۷-۴ شبکه نسل پنجم در مورد کاربردی شبکه هوشمند با قابلیت خود بهبودی [۱۱]

سه سناریویی که در صنعت برق و انرژی و در شبکه هوشمند در پروژه SLICENET برای ایجاد قابلیت خود بهبودی موردنظر است در ادامه ارائه شده است.

- مشارکت در محافظت^۱: برای پیاده‌سازی این سناریو، محیط باید ارتباط پرسرعتی میان واحدهای اندازه‌گیری الکترونیکی یا IED ایجاد کند تا بدین ترتیب مشارکت بین این واحدها محقق شود.

¹ Protection Coordination

- پیکربندی خودکار^۱: طرح خود بهبودی در طی این سناریو قابل‌دستیابی است. در این سناریو معماری توزیع‌شده با پشتیبانی از واحدهای IED که با یکدیگر ارتباط دوطرفه (پیام‌Goose در پروتکل ۶۱۸۵۰) دارند برقرار می‌شود.
- مشارکت تفاضلی^۲: برای پیاده‌سازی این سناریو، واحدهای IED باید به ارتباط پرسرعت مجهز باشند تا واکنشی بدون تأخیر نسبت به تغییرات و خطاهای شبکه داشته باشند.

۱-۳-۲-۴- سناریوی به کار گرفته‌شده در شبکه هوشمند: مشارکت در محافظت

مشارکت در محافظت در سیستم‌های قدرت برای ایجاد سیستمی امن و مطمئن دارای اهمیت زیادی می‌باشد. طرح‌های متداول مشارکت در محافظت به دلیل عدم وجود زیرساخت مخابراتی مناسب، شامل انتقال اطلاعات بین واحدهای IED نیستند.

در این سناریو، اطلاعاتی بین واحدهای سیستم محافظت کنترل و اتوماسیون منتقل می‌شود. تمام سناریوهای سیستم شبکه هوشمند با قابلیت خود بهبودی بر اساس شبیه‌سازی‌های آزمایشگاهی که در آن شرایط واقعی منظور می‌گردد سنجیده می‌شود. برای سناریو مشارکت در محافظت، خطاها در موقعیت‌های مختلف شبکه شبیه‌سازی می‌شوند و بر این اساس واحدهای IED باید در کوتاه‌ترین زمان نسبت به آن واکنش نشان دهند. نیازمندی‌های فنی این سناریو در جدول ۴-۴ آورده شده است. این نیازمندی‌ها مربوط به مخابره اجزا با یکدیگر است همچنین باید نیازمندی‌های مخابراتی ارتباط با مرکز کنترل و فرمان نیز در نظر گرفته شود. مقادیر پهنای باند مشخص‌شده در جدول می‌توانند با ترافیک با اولویت پایین در شبکه به اشتراک گذاشته شود. مقدار تأخیر مشخص‌شده نیز مربوط به زمان انتقال اطلاعات بین دو IED در شبکه است.

جدول ۴-۴ نیازمندی‌های مخابراتی سناریو مشارکت در محافظت [۱۱]

نیازمندی‌های مخابراتی	حداقل مقدار	مقدار بهینه
تأخیر (میلی‌ثانیه)	<10	<5
نرخ خطا	$<10^{-4}$	$<10^{-6}$
پهنای باند (فروسو/فراوسو)	1/10 Mbps	2/20 Mbps

۲-۳-۲-۴- سناریوی به کار گرفته‌شده در شبکه هوشمند: پیکربندی خودکار^۳

بعد از عیب‌یابی و ایزوله سازی قسمت معیوب، باید اطمینان حاصل کرد کوچک‌ترین تأثیری بر روی ارائه انرژی به مشتریان پیش نیاید. به همین منظور لازم است پیکربندی خودکار سیستم قدرت بکار گرفته شود.

¹ Automatic Reconfiguration

² Differential Protection

³ Automatic Reconfiguration

برای کاهش زمان از دسترس خارج شدن شبکه برای تعداد بالایی از مشترکان، توپولوژی شبکه باید مجدداً به صورت خودکار پیکربندی شود تا مسیر جایگزینی برای تأمین انرژی برای مشترکان ایجاد شود. برای این کاربرد لازم است سیستم مخابراتی تحت تأثیر عوامل خارجی مثل حملات سایبری قرار نگیرد و قابلیت اطمینان و امنیت مناسبی داشته باشد. پیکره‌بندی مجدد و خودکار شبکه بعد از عیب‌یابی توسط واحدهای IED و جداسازی بخش معیوب انجام می‌شود.

نیازمندی‌های فنی این سناریو در جدول ۴-۵ آورده شده است. این نیازمندی‌ها مربوط به مخابره اجزا با یکدیگر است همچنین باید نیازمندی‌های مخابراتی ارتباط با مرکز کنترل و فرمان نیز در نظر گرفته شود. مقادیر پهنای باند مشخص شده در جدول می‌توانند با ترافیک با اولویت پایین در شبکه به اشتراک گذاشته شود. مقدار تأخیر مشخص شده نیز مربوط به زمان انتقال اطلاعات بین دو IED در شبکه است.

جدول ۴-۵ نیازمندی‌های مخابراتی سناریو پیکربندی خودکار [۱۱]

نیازمندی‌های مخابراتی	حداقل مقدار	مقدار بهینه
تأخیر (میلی ثانیه)	<30	<10
نرخ خطا	<10 ⁻⁴	<10 ⁻⁶
پهنای باند (فروسو/فراوسو)	0.59/5.9 Mbps	1.7/17 Mbps

۳-۲-۴- سناریوی به کار گرفته شده در شبکه هوشمند: محافظت تفاضلی

طرح محافظت تفاضلی جایگزینی برای طرح مشارکت در محافظت است که در بخش قبلی معرفی شد با این تفاوت که این فناوری دقیق‌تر و سریع‌تر عمل می‌کند و توپولوژی‌های پیچیده‌تر شبکه را نیز پشتیبانی می‌کند. با این وجود حال این فناوری دارای نیازمندی‌های مخابراتی بیشتر و حجم محاسبات بالاتری است که در شبکه‌های متداول و سنتی قابل دسترسی نبوده است.

محافظت تفاضلی با مقایسه جریان عبوری از نقاط مختلف شبکه عمل می‌کند. برای پیاده‌سازی این طرح IED ها در نقاط مشخصی از شبکه قرار می‌گیرند تا به جریان اندازه‌گیری شده از دستگاه‌ها دسترسی داشته باشند که مرتباً با مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه شوند. در این سناریو نیز مانند تمام سناریوهای سیستم شبکه هوشمند با قابلیت خود بهبودی، بر اساس شبیه‌سازی‌های آزمایشگاهی که در آن شرایط واقعی منظور می‌گردد سنجیده می‌شود. همچنین واحدهای IED باید در کوتاه‌ترین زمان نسبت به آن واکنش نشان دهند. نیازمندی‌های این سیستم در جدول ۴-۶ آورده شده است.

جدول ۴-۶ نیازمندی‌های مخابراتی سناریو محافظت تفاضلی [۱۱]

نیازمندی‌های مخابراتی	حداقل مقدار	مقدار بهینه
تأخیر (میلی ثانیه)	<5	<3

نرخ خطا	$<10^{-6}$	$<10^{-8}$
پهنای باند(فروسو/فرا سو)	0.5/1.6 Mbps	1/3.2 Mbps

۴-۲-۴ - پروژه VirtuWind از مجموعه فعالیت‌های برنامه H2020 کمیسیون اروپا

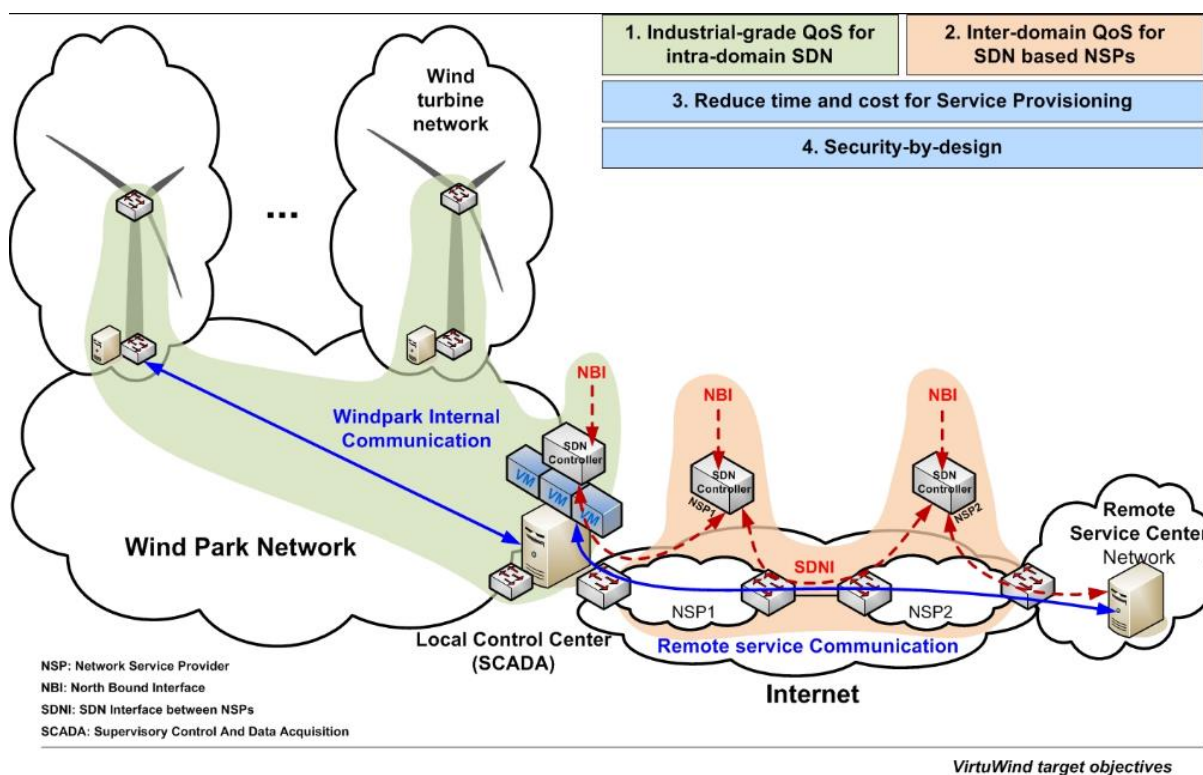
پروژه VirtuWind جزء پروژه‌های Horizon 2020 است که در سال ۲۰۱۵ با همکاری شرکت زیمنس و شرکای آن شروع و در سال ۲۰۱۸ با بودجه‌ای معادل ۶.۳ میلیون یورو در اتحادیه اروپا پایان یافته است. در این پروژه، کنترل و ارتباط مزارع بادی بر اساس شبکه 5G در حال توسعه است [۱۲]. با کمک پروژه VirtuWind و بر اساس فناوری‌های NFV و SDN که خاص شبکه 5G هستند، می‌توان حجم سخت‌افزار را کاهش داده و کنترل مزارع بادی را سریع‌تر و ساده‌تر انجام داد. شبکه کنترلی مزارع بادی به‌عنوان یک برنامه کاربردی حرفه‌ای در VirtuWind انتخاب شده است زیرا انرژی بادی امروزه به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین جریان‌های تولید انرژی پایدار هست که پروژه VirtuWind با کاهش هزینه‌های سرمایه‌ای و عملیاتی نقش مهمی در زیرساخت‌های شبکه کنترل ایفا خواهد کرد. با رشد نمایی دستگاه‌های متصل، شبکه‌های آینده نیاز به یک معماری با راه‌حل‌های بازدارند که توسط استانداردها و یک اکوسیستم قوی تسهیل می‌شود. دستگاه‌های متصل برای درخواست نوع ارتباطی که پهنای باند، تأخیر، لغزش زمانی و فرکانسی، از دست رفتن بسته و سرشار را تضمین کند به یک رابط کاربری آسان به‌منظور اتصال به شبکه نیاز دارند. در پاسخ به درخواست‌ها، شبکه باید منابع درخواستی را به‌طور خودکار در اختیار دستگاه‌های متصل قرار دهد و درخواست‌ها را بر اساس مشخصات دستگاه برنامه‌ریزی و اولویت‌بندی کند. شبکه مبتنی بر نرم‌افزار (SDN) و مجازی‌سازی توابع شبکه (NFV) ترکیبی نویدبخش را برای اتصال برنامه‌ریزی‌شده، ارائه سریع خدمات و ایجاد زنجیره خدمات فراهم کرده است. بلوک‌دیگرام پروژه در شکل ۸-۴ نشان داده شده است در این پروژه شرکای صنعتی شرکت‌های Siemens، اپراتور DEUTSCHE TELEKOM AG، شرکت تحقیقاتی شبکه Intel Shannon در ایرلند، شرکت اروپایی مخابراتی NEC، شرکت مخابراتی Intracom، شرکت مخابراتی WorldSensing در اسپانیا و شرکای دانشگاهی پروژه سه دانشگاه FORTH، TUM و KLC می‌باشند.

هدف اصلی پروژه VirtuWind توسعه اکوسیستم SDN & NFV برای حوزه‌های صنعتی، بر اساس چارچوب باز، ماژولار و ایمن است که منجر به اجرای پایلوت (نمونه اولیه) سناریوهای درون یک مزرعه یا بین مزارع بادی می‌شود. مزایای اجرای این پروژه عبارت‌اند از :

۱. تحقق کیفیت سرویس (QoS) در مقیاس صنعتی بر اساس راه‌حل SDN درون مزارع بادی
۲. تضمین QoS بین مزارع برای اکوسیستم چند اپراتوری مبتنی بر SDN
۳. کاهش زمان و هزینه برای ارائه خدمات و نگهداری شبکه

۴- اطمینان از طراحی امنیتی برای اکوسیستم SDN و NFV.

۵. آزمایش میدانی نمونه پایلوت SDN و NFV درون و بین مزارع بادی



شکل ۸-۴ بلوک دیاگرام پروژه VirtuWind [۱۳]

۴-۲-۵ پروژه WIVE از مجموعه فعالیت‌های تشکیلات 5GTNF¹

این پروژه از مجموعه فعالیت‌های 5GTNF در فنلاند در سال ۲۰۱۷ به مدت ۲ سال تعریف شده است که هدف آن توسعه فناوری‌های رادیویی و مطالعه کاربردهای آن در صنایع عمودی با بررسی موارد مصرف، سناریوها و نیازمندی‌های فنی از طریق آزمایش و تست پایلوت می‌باشد [۱۴].

پروژه WIVE برای دستیابی به کنترل از راه دور ماشین‌هایی با تأخیر کم بر اساس ویژگی‌های uRLLC و mMTC در شبکه 5G متمرکز شده است. بخش مهمی از پروژه WIVE نیز بر کاربران و شناسایی فرصت‌های شغلی برای صنایع عمودی مختلف متمرکز شده است. شبکه 5G مفاهیم و خدمات نوآورانه تجاری را در صنایع عمودی امکان‌پذیر کرده است، زیرا دستگاه‌ها و ماشین‌ها به‌طور فزاینده‌ای به هم متصل می‌شوند و زمینه ظهور مدل‌ها و بازارهای تجاری جدید در یک دنیای متصل را فراهم می‌کند.

تشکیل کنسرسیوم و همکاری در آزمایش‌های عملی درک کاملی از قابلیت uRLLC شبکه 5G و فرصت‌های شغلی جدید از طریق این پروژه را مهیا کرده است. نیاز به ظرفیت بالا و تأخیر کم، نظارت تصویری و برنامه‌های

¹ 5G test network Finland

چند رسانه‌ای همه‌کاره، ضرورت استفاده از شبکه‌های بی‌سیم امروزی را مشخص می‌کند که پروژه WIVE فرصتی عالی را برای بررسی چگونگی غلبه بر این چالش‌ها از طریق شبکه 5G فراهم کرده است. همچنین دانشگاه صنعتی Tampere فنلاند از طریق تهیه راه‌حل‌های ارتباطی لایه فیزیکی انعطاف‌پذیر، قابل برنامه‌ریزی و الگوریتم‌های پردازش کارآمد در شبکه جدید رادیویی نسل پنجم (5G NR) به کمک پروژه WIVE آمده است. از سوی دیگر با اتصال تعداد زیاد دستگاه‌ها به اینترنت نه تنها ظرفیت شبکه‌های ارتباطی بلکه امنیت آن‌ها نیز به چالش کشیده خواهد شد، لذا پروژه WIVE پایه‌ای را برای فناوری‌های امنیتی فراهم کرده است و در نهایت شناسایی و ایجاد فرصت‌های شغلی و بازارهای فعال شده توسط شبکه 5G در پروژه WIVE از اهمیت بالایی برخوردار است که دانشکده تجارت و اقتصاد دانشگاه Åbo در مورد روندهای آینده و جنبه‌های تجاری شبکه 5G در شبکه‌های هوشمند برق تحقیق می‌کند [۱۵، ۱۶].

یکی از فعالیت‌هایی که ذیل این پروژه انجام شده است همکاری شرکت سازنده مخابراتی Nokia، شرکت سازنده تجهیزات صنعتی ABB و دانشگاه Kalmar هست که ارزش تجاری شبکه 5G در شبکه‌های هوشمند را مورد مطالعه قرار داده است. بر اساس راه‌حل‌های اتوماسیونی شرکت ABB، شدت بالای اتوماسیون، همراه با تأخیر کم و قابل اطمینان بین گره‌ها در شبکه توزیع برق، پیش‌شرط‌های بهبود قابلیت اطمینان تأمین برق و یکپارچه‌سازی تعداد زیادی از منابع تولید تجدیدپذیر است که توسط فناوری‌های جدید مانند 5G در این پروژه تسهیل خواهد شد. همچنین پیشرفته‌ترین برنامه‌های کاربردی شبکه هوشمند مانند SCADA، OMS^۱، DMS^۲ و سایر نرم‌افزارهای کاربردی با معیار شبکه 5G آزمایش خواهد شد.

در ادامه به برخی از فناوری‌های استفاده شده در این پروژه اشاره شده است :

- رایانش لبه دسترسی چندگانه^۳ برای کاهش تاخیر
- برش شبکه^۴ برای ایجاد چندین شبکه مجازی در یک زیرساخت فیزیکی که هر شبکه مجازی برای نیازمندی‌های هر برنامه کاربردی، سرویس، دستگاه یا مشتری سفارشی خواهد شد
- شبکه مبتنی بر نرم‌افزار^۵ برای معماری شبکه هوشمند به منظور به حداقل رساندن محدودیت‌های سخت افزاری و استخراج توابع سطح پایین و انتقال آنها به یک برنامه کنترلی استاندارد که رفتار شبکه را از طریق رابط‌های برنامه کاربردی (API) مدیریت کند.

1 - Outage Management System

2 - Distribution Management System

3 - Multi-access Edge Computing

4 - Network Slicing

5 - Software Define Network

- مجازی‌سازی توابع شبکه^۱ برای انعطاف‌پذیری سریع و ارائه خدمات جدید بدون طراحی مجدد شبکه فیزیکی
- نسل جدید رادیویی 5G^۲: موج میلی‌متری (mmWave) برای طیف جدید، Massive MIMO برای ارتقا بازده طیفی و شکل‌دهی پرتو (Beam Forming)

۶-۲-۴- پروژه 5G+Smart Grid

شرکت China Southern Power Grid یا به اختصار CSG یکی از شرکت‌های پیشرو در زمینه‌ی شبکه‌های توزیع انرژی است. این شرکت مسئول توزیع و انتقال انرژی برق به حدود ۲۳۰ میلیون نفر در چندین ایالت چین است. یکی از اهداف این شرکت به‌روزرسانی سیستم‌های اتوماسیون و رسیدن به ساختاری برای کنترل داده‌ها و مدیریت بهینه در شبکه بوده است. این شرکت در سالیان گذشته از فناوری‌های مختلف مخابراتی همچون GPRS برای این منظور استفاده کرده است و در ادامه تبدیل به اولین شرکت فعال در صنعت برق و انرژی شد که از فناوری LTE که توسط HUAWEI ارائه می‌شد بهره برد [۱۷].

همکاری مشترک شرکت برق CSG^۳ با شرکت Huawei و اپراتور China Mobile در پروژه‌ای به نام "5G+Smart Grid" تحقق یافته است که هدف آن استفاده از برش شبکه و ارائه خدمات به بخش توزیع در هر سه سناریوی eMBB، mMTC و uRLLC می‌باشد؛ به گونه‌ای که الزامات امنیتی، قابلیت اطمینان و انعطاف‌پذیری شبکه برق برآورده شود. این پروژه در سال ۲۰۱۸ شروع شده و قرار است در سال ۲۰۲۰ در پنج استان جنوبی چین به صورت آزمایشی راه‌اندازی شود [۱۷]. بر اساس اطلاعات موجود، تا به حال مرحله تست پایلوت این پروژه به طور کامل به نتیجه رسیده است.

چالش‌هایی که شبکه هوشمند در حوزه‌های ارتباطات، کارایی و قابلیت اطمینان با آن روبرو است و باعث شده است این پروژه کلید بخورد عبارت‌اند از:

- پایداری در تأمین برق شبکه‌های توزیع و تشخیص دقیق و شناسایی سریع خرابی‌ها: شبکه‌های توزیع سنتی به خاطر مسائل ایمنی از سطوح مختلف حفاظتی استفاده می‌کنند که این امر باعث می‌شود طیف وسیعی از تجهیزات برقی در خلال ایجاد خطا از مدار خارج و تشخیص خطا دشوار شود.
- مشکلات استقرار فیبر در شبکه‌های توزیع: شبکه اصلی توزیع کاملاً با فیبر نوری پوشیده شده است اما در شبکه‌های NAN^۴ به دلیل مشکلاتی همچون پوشش، هزینه‌های بالا، زمان استقرار طولانی و هزینه‌های نگهداری (۱۵۰،۰۰۰ یوان در کیلومتر) هنوز ارتباطی برقرار نیست.

^۱ -Network Function Virtualization

^۲ - 5G NEW RADIO

^۳ - China Southern Power Grid

^۴ -Neighbourhood Area Network

- الزامات فنی بسیار بالا برای حفاظت دیفرانسیلی در شبکه‌های توزیع و واحدهای اندازه‌گیری فازوری (PMUs): در این سیستم‌ها بر اساس الزامات و استاندارد، باید میانگین تأخیر کمتر از 15 ms، زمان سرویس‌دهی $1 \mu s$ و قابلیت اطمینان 99.99% باشد.

اما شبکه 5G می‌تواند شبکه هوشمند برق را به‌صورت یک شبکه خصوصی مجازی انعطاف‌پذیر، با برش‌های شبکه ایزوله شده ارائه دهد به‌نحوی که ایمنی افزایش‌یافته و سرویس‌دهی در زمان دقیق و با تأخیر کم انجام گردد. همچنین راه‌حل‌های جدید دسترسی بی‌سیم را برای صنعت برق فراهم و فرصت‌های تجاری جدیدی را برای اپراتورهای تلفن همراه مهیا خواهد کرد. پروژه "5G+Smart Grid" در ابتدا، ۱۵ پیشنهادیه برای طراحی سطح بالا دریافت کرد که توسط 3GPP پذیرفته شد. طراحی سطح بالا شامل برش شبکه انتها به انتها، دقت زمان^۱ و راه‌حل‌های کاهش تأخیر متناسب با نیازهای صنعت برق است. در مورد نوآوری‌های فنی این پروژه باید گفت که در این پروژه به اولین راه‌حل برش شبکه انتها به انتها با مدیریت عملیاتی شبکه در چین، ارائه طرح‌هایی برای استانداردهای زمان سرویس و اجرای پایلوت در شهر شنزن چین دست یافتند.

۴-۲-۱- برش شبکه انتها به انتها

برش شبکه یکی از فناوری‌های پیشرفته متمایزکننده شبکه‌های 4G و 5G می‌باشد. این فناوری قابلیت اساسی در دیجیتالی کردن انتقال و مخابره اطلاعات در صنایع عمودی دارد. پروژه پایلوت برش شبکه 5G بر روی شبکه CSG به‌عنوان یک سنگ محک برای به‌کارگیری شبکه نسل پنجم در صنعت برق و انرژی شناخته می‌شود که قادر به کمک به سایر صنایع عمودی برای استفاده از مزایای شبکه نسل پنجم هست. همچنین معماری مدیریت برش شبکه E2E نیز به اتمام رسیده است. در پروژه برش شبکه 5G بر روی شبکه هوشمند CSG از اسناد منتشرشده GSMA برای تعریف KPIهای مربوط به برش شبکه 5G در شبکه هوشمند مثل ناحیه تحت پوشش و تأخیر قابل قبول و نرخ داده در لینک فروسو و ... استفاده شد. همچنین برای بررسی موارد امنیتی و ایزوله سازی در برش شبکه E2E، سه برش شبکه مجزا بر روی شبکه هوشمند CSG ایجاد شد؛ برش شبکه با تأخیر حداقل برای کنترل شبکه، برش شبکه با پهنای باند بالا برای انتقال و جمع‌آوری اطلاعات و برش شبکه برای سرویس‌های عمومی شبکه هوشمند. مشخص شد که با اضافه‌بار بر روی یک برش شبکه برش‌های دیگر دچار مشکل نخواهند شد [۱۹، ۱۸].

^۱ -سیستم قدرت برای نظارت بر شبکه و آگاهی از وضعیت آن به یک زمان‌بندی دقیق نیاز دارند، از آنجا که سیستم‌های قدرت غالباً از لحاظ جغرافیایی از هم جدا و در یک گستره وسیع توزیع شده‌اند لذا برای کسب اطلاعات و یکپارچگی آن نیاز به یک مرجع زمانی مشترک با دقت بالا دارند.

جدول ۷-۴ پلتفرم‌های ایجاد شده در برش شبکه [۱۷]

پلتفرم مدیریت برش شبکه برق یک پورتال مدیریت برش شبکه در واحد مدیریت شبکه که مدیریت و نظارت بر برش های شبکه در حین عملیات را بر عهده دارد	پلتفرم عملکردی مدیریت سرویس ارتباطات (CSMF) یک پورتال عملیاتی برش شبکه که برای اپراتورها، شرکت ها و بازار طراحی شده است برای تهیه برش های سفارشی برای مشتری های اصلی و مدیریت فهرست موجود برش ها	پلتفرم عملکردی مدیریت برش شبکه (NSMF) یک پورتال مدیریت برش شبکه که برای ایجاد برش شبکه، تنظیمات پیکربندی، وضعیت نظارت و برنامه ریزی SLAهای اپراتورهای تلفن همراه طراحی شده است

شبکه برق در برخی از کاربردهایش مانند عملیات حفاظت شبکه یا پایش منطقه گسترده نیازمند به مقایسه بین شکل موج‌ها و فازورهای گره‌های هم‌جوار در یک نقطه زمانی و در یک چرخه ۲۰ میلی‌ثانیه‌ای است، این امر مستلزم این است که تأخیر ارتباطی انتها به انتها کمتر از 15 ms و دقت زمانی در رابط هوایی حدود 10 μ s باشد. در این پروژه تحولات هدفمندی در زمینه شبکه، تجهیزات و پایانه‌ها انجام شده است و به متوسط تأخیر میدانی 10 ms دست‌یافته‌اند. بر اساس استاندارد 3GPP Release 16، از منبع پالس ساعت در ایستگاه پایه (BTS) تا پایانه، دقت زمانی رابط هوایی می‌تواند به 300 ns کاهش یابد [۲۰، ۱۷].

فاز؛ ۲ صفحه ۹۸

۳-۶-۲-۴- راه‌حل کاهش تأخیر

شرکت Huawei در این پروژه برای اولین بار از تراشه NP^۱ توسعه‌یافته [۲۱] که تأخیر آن کمتر از الزامات موردنیاز در صنعت بود، استفاده کرد. همچنین در شبکه اصلی از فناوری رایانش لبه سیار (MEC^۲) برای کاهش تأخیر استفاده شد و ضمن بهبود قابلیت اطمینان در شبکه دسترسی رادیویی، قابلیت پردازش آن را برای تأخیر تعیین‌شده بهینه کرد.

۴-۶-۲-۴- پایانه CPE صنعتی

یک ترمینال CPE^۳ با قابلیت عملکردی در دقت زمانی و رعایت الزامات صنعتی طراحی شد. CPE یا تجهیزات سمت مشتری عبارت است از هرگونه تجهیزات در سمت مشتری مانند درگاه، مسیریاب، تلفن و ... که از طریق یک شبکه مخابراتی محلی به شرکت مخابرات وصل می‌شود.

۵-۶-۲-۴- اجرای پایلوت

یک شبکه آزمایشی 5G در مقیاس کوچک در شهر شنزن مستقر شد و تست‌های میدانی برای حفاظت دیفرانسیلی و PMU انجام شد. برش شبکه مستقل (SA^۴) عملکرد ثابتی داشت؛ حتی زمانی که مقدار قابل توجهی از خطاها و از دست رفتن بسته‌ها را تجربه کرد. بنابراین در این پروژه به این نتیجه رسیدند که شبکه 5G تجاری توانایی برآورده کردن الزامات شبکه هوشمند را دارد. با اجرای برش شبکه SA-5G در سپتامبر ۲۰۱۹، ایجاد یک شبکه خصوصی مجازی که امکان استفاده از برش شبکه در سرویس‌های تجاری را میسر کرده بود و برش‌هایی را که مدیریت، کنترل و عملیاتی شده بودند را ارائه نمودند.

صنعت برق از بالاترین سطوح ایمنی و امنیتی که نیاز به تأییدیه‌های استانداردهای ایمنی ملی و تولیدکنندگان دارد، تشکیل شده است. به همین منظور برای توسعه پروژه CSG، در حال حاضر برنامه‌ریزی شده است تا برنامه‌های آزمایشی در مقیاس وسیع انجام شود، که به‌زودی در استان‌های مختلف برای شبکه‌ها، پایانه‌ها و برنامه‌ها اجرایی خواهد شد. این پروژه تاکنون ۵۲ سناریو کاربردی شبکه را مورد بررسی قرار داده است که طیف وسیعی از فرآیندهای تولید، انتقال، توزیع و مصرف را در بر می‌گیرد و خدمات آزمایشی را برای توزیع خودکار برق، بازرسی ویدیویی شبکه‌های انتقال و اندازه‌گیری الکترونیکی در شبکه زنده برق در سال ۲۰۲۰

^۱ -Network Processor

^۲ -Mobile Edge Computing

^۳ - Customer Premises Equipment

^۴ -StandAlone

را برای پنج استان در جنوب چین در نظر گرفته است. این سناریوها در حوزه‌های زیر به صورت پایلوت انجام شده یا در مرحله تحقیق و امکان‌سنجی هستند [۲۲، ۲۳، ۲۴]:

- اتوماسیون هوشمند شبکه توزیع
- بازرسی ویدئویی آنلاین خطوط انتقال
- حفاظت سریع منطقه وسیع
- مدیریت و کنترل خودروهای برقی
- زیرساخت‌های اطلاعاتی و ارتباطی شبکه هوشمند
- مدیریت و کنترل منابع تولید پراکنده
- اندازه‌گیری پیشرفته
- مدیریت پاسخگویی بار
- ربات‌های بازرسی و تعمیرکار (پهپادها، وسایل بدون سرنشین و ...)
- اپراتور دیجیتال و متحرک (واقعیت مجازی و واقعیت افزوده)
- امنیت

۴-۲-۷- پروژه‌های مرتبط از مجموعه فعالیت‌های سیگره

سازمان سیگره، یک سازمان غیرانتفاعی جهانی هست که در سال ۱۹۲۱ در پاریس تأسیس شده است. جنبه‌های فنی و اقتصادی شبکه برق در کنار جنبه‌های محیطی و مقرراتی در حیطه فعالیت این سازمان قرار دارد. فعالیت‌های این سازمان در ۱۶ کمیته مختلف انجام می‌گیرد. کمیته D2 به سیستم‌های اطلاعاتی و ارتباطاتی تخصیص دارد. فعالیت‌های این سازمان در قالب موارد ذیل هست:

- برگزاری انواع کنفرانس (نشست‌های دو سال یکبار و نمایشگاه‌های فنی، سمپوزیوم، کنفرانس منطقه‌ای)

- تشکیل گروه‌های کاری در کمیته‌های تحقیقاتی و انتشار بروشورهای فنی
- انتشار مجلات Electra هر دو ماه یکبار

با توجه به اهمیت و ارتباط مستقیم فعالیت‌های این سازمان با صنعت برق، در این بخش نگاهی اجمالی بر گروه‌ها و فعالیت‌های کاری مرتبط این سازمان به موضوع پروژه جاری شده است.

با بررسی گروه‌های کاری سیگره، گروه‌های کاری مرتبط با فناوری اطلاعات و ارتباطات در این سازمان در ادامه لیست شده است:

❖ WG D2.34: سامانه‌های مبتنی بر ICT جهت اطمینان از تداوم کسب‌وکار و بازیابی از بحران، ۲۰۱۶.

❖ WG D2.36: راه‌حل‌های مخابراتی برای تبادل اطلاعات در انتقال هوشمند انرژی الکتریکی، ۲۰۱۷.

❖ WG B3.44: خدمات‌رسانی و نظارت بر پست‌ها با استفاده از تجهیزات موبایل و حسگرهای هوشمند (۲۰۱۵-۲۰۱۸)

❖ WG D2/B2.39: طراحی، توسعه و تعمیر و نگهداری کابل‌های نوری بالای خطوط انتقال ولتاژ بالا

❖ WG D2.40: خطرات و امنیت سایبری برای نسل آتی سیستم‌های دیجیتال در شرکت‌های برق

❖ WG D2/C2.41: تحلیل و مدیریت داده پیشرفته صنعت برق برای بهبود آگاهی وضعیتی مربوط به بهره‌برداری EPU (۲۰۱۷-۲۰۱۵)

❖ WG D2.42: سنکرون سازی و توزیع زمان در شبکه‌های مخابراتی برای کاربردهای عملیاتی حساس به زمان در شبکه‌های برق (۲۰۱۸-۲۰۱۶)

❖ WG D2.43: به‌کارگیری فناوری‌های SDN در کاربردهای مخابراتی EPU (۲۰۲۰-۲۰۱۷)

❖ WG D2.44: استفاده از زیرساخت‌های عمومی یا خصوصی مخابرات بدون سیم برای نظارت و نگهداری از تجهیزات شبکه برق (۲۰۱۷-۲۰۲۰)

❖ WG D2.45: تأثیر قوانین و محدودیت‌های دولتی بر توزیع دیتای حساس و مکان ذخیره داده در شرکت‌های برق

❖ WG D2.46: تهدیدات آتی امنیت سایبری و تأثیر آن بر سازمان‌های صنعت برق و عملیات آن‌ها همان‌طور که در لیست این کارگروه‌ها مشخص است استفاده از موبایل نسل پنجم هنوز به‌طور مستقیم در این سازمان به‌عنوان موضوع تحقیقاتی هدف‌گذاری نشده است لکن بسیاری از نیازمندی‌های شبکه برق در این کارگروه‌ها قابل رصد می‌باشد؛ برخی از این نیازمندی‌ها با فناوری موبایل نسل پنجم می‌توانند آدرس‌دهی شوند.

۴-۳- بررسی فعالیت‌های انجام‌شده توسط وندورها

۴-۳-۱- مشارکت شرکت مخابراتی NOKIA با شرکت PGE

شرکت ELEKTRO بر روی افزایش کارآمدی و قابلیت اطمینان در شبکه هوشمند در سائوپائولوی برزیل فعالیت می‌کند. این شرکت سابقاً از فناوری‌های مخابراتی مختلفی برای پیاده‌سازی زیرساخت مخابراتی شبکه‌های هوشمند برق استفاده می‌کرد. نوکیا با پیشنهاد طرحی جایگزین، اولین شبکه Private LTE را در آمریکای جنوبی برای پشتیبانی و به‌روزرسانی شبکه هوشمند ELECTRO پیاده‌سازی کرد. شبکه P-LTE قادر به پشتیبانی از فناوری‌های پیشرفته محافظتی و قابلیت‌هایی در مدیریت و کنترل شبکه هست. در فاز اول این پایلوت، نوکیا شبکه P-LTE با قابلیت پشتیبانی از ۷۵۰۰۰ مشترک در سائوپائولو و حدود ۷۸۰۰۰ کنتور هوشمند را پیاده‌سازی کرد. همچنین این شبکه قابلیت مطابقت و به‌روزرسانی به شبکه 5G را نیز داشت.

بعد از این تجربه و تجربه مشابه در لهستان، نوکیا برای پیاده‌سازی شبکه 5G در شبکه هوشمند لهستان با مشارکت شرکت PGE انتخاب شد. شرکت PGE توسط وزارت انرژی و نیرو لهستان برای پیاده‌سازی شبکه 4.9G و 5G برای کاربردهای عملیاتی و مأموریت بحران در باند ۴۵۰ گیگاهرتز در شبکه هوشمند انتخاب شده است. این باند به دلیل قابلیت پشتیبانی از مخابرات ماشین با ماشین که در صنعت برق معادل ارتباط سیستم SCADA با کنتورهای هوشمند برای کاربرد AMI است مورد توجه صنعت برق قرار دارد. نوکیا با مشارکت PGE گروه‌های تحقیق و توسعه‌ای برای بررسی پیاده‌سازی شبکه نسل پنجم مخابراتی برای کاربردهای مورد نظر تشکیل داده است [۲۵].

در خصوص اینکه از کدام یک از فناوری‌های توانمند ساز نوین در 5G استفاده شده و مقیاس مورد نظر برای پیاده‌سازی چه بوده است در اخبار و سندهای محدودی که در بستر اینترنت وجود داشته است مطلبی یافته نشده است.

۲-۳-۴- مشارکت شرکت صنعتی ABB و شرکت مخابراتی ERICSSON

شرکت ABB یکی از شرکت‌های فعال در مجموعه صنعت نیرو و برق، خصوصاً کنترل و اتوماسیون شبکه‌های هوشمند است که اخیراً با مشارکت ERICSSON به دنبال پیاده‌سازی شبکه نسل پنجم در شبکه هوشمند خود است. این شبکه هم‌اکنون در کارخانه ترانسفورمر شرکت ABB در شهر لودویکا در سوئد به عنوان مورد کاربرد کارخانه‌های هوشمند^۱ مورد استفاده قرار گرفته است و هم‌اکنون تحقیقات مربوط به پیاده‌سازی در بخش‌های دیگر شبکه هوشمند این شرکت در جریان است.

از طرفی دیگر شبکه‌های هوشمندی که از فناوری P-LTE شرکت اریکسون بهره می‌برند قابل سازگاری و به‌روزرسانی به شبکه‌های 5G هستند به عنوان مثال شبکه P-LTE اریکسون و Deutsche Telekom در شهر آخن کشور آلمان که مربوط به محیط صنعتی مرتبط با گروه‌های دانشگاه RWTH بود به شبکه SA نسل پنجم ارتقا پیدا کرده است. از طرفی دیگر، این دو شرکت با مشارکت شرکت Stromnetz Berlin در سال ۲۰۱۷ تست پایلوتی در یکی از پارک‌های فناوری در آلمان با هدف بررسی تأثیر شبکه 5G روی صنعت برق و شبکه‌های هوشمند انجام داده‌اند که هدف آن آزمایش نیازمندی‌ها و قابلیت‌های شبکه نسل پنجم برای ارائه سرویس‌های محافظتی در شبکه هوشمند بود [۲۶]. همچنین اپراتور Deutsche Telekom در شهر Dresden پایلوت دیگری را در سال ۲۰۱۸ با مشارکت دانشگاه Dresden بر روی منابع تولید پراکنده انرژی با استفاده از شبکه 5G امن و زمان-واقعی انجام داده است [۲۷].

¹ Smart manufacturing

در خصوص اینکه کدامیک از سه سرویس موبایل نسل پنجم در این فعالیت‌ها موردنظر بوده است و اینکه از کدامیک از فناوری‌های توانمند ساز نوین در 5G استفاده‌شده و مقیاس موردنظر برای پیاده‌سازی چه بوده است در اخبار و سندهای محدودی که در بستر اینترنت وجود داشته است مطلبی یافته نشده است.

۴-۳-۳- مشارکت اپراتور O2 انگلستان با شرکت‌های برقی

یکی از مهم‌ترین کاربردهای شبکه 5G در شبکه هوشمند، مدیریت و کاهش مصرف است. به گزارش شرکت اپراتور موبایل O2 یکی از اپراتورهای مخابراتی انگلستان، در صورت استفاده از شبکه 5G در شبکه هوشمند می‌توان تا ۱۲٪ در مصرف انرژی کشور انگلستان صرفه‌جویی کرد. با کنترل حجم داده‌ها از حسگرهای کم‌مصرف، کم‌هزینه و سایر دستگاه‌های متصل، می‌توان راه کارهای جدیدی باقابلیت‌هایی مانند هوش مصنوعی، واقعیت افزوده و تجزیه و تحلیل پیشرفته اتخاذ نمود که به بهترین روش، مصرف مشترکین را کنترل نمود. در انگلستان، چندین پروژه در حال توسعه است تا به کمک شبکه 5G بتوانند تمامی سیستم‌های قدرت را متصل کرده و شبکه‌های هوشمند را به یک "شبکه‌های عصبی" به‌روزرسانی کنند [۲۸]. در این پروژه‌ها، فناوری‌های نوین اطلاعاتی و ارتباطاتی ذیل مورد استفاده قرار خواهد گرفت:

-کلان داده‌ها،

-محاسبات ابری،

-هوش مصنوعی،

-پردازش لبه

کاربردهای موردنظر این پروژه در شبکه هوشمند به این شرح می‌باشد:

-فناوری‌های سنجش فراگیر برای مدیریت منابع پراکنده،

-شبکه‌های توزیع شده،

-منابع انرژی تجدید پذیر،

-هوشمندی ساختمان‌ها،

-مدیریت مصرف

-اتصال هر چیزی به شبکه عصبی [۲۹].

برخی از فرصت‌ها و مزایای استفاده از شبکه هوشمند نسل جدید - تحت عنوان "شبکه عصبی" - در گزارش اپراتور تلفن همراه O2 شناسایی شده‌اند که شامل تشخیص سریع و پاسخ به تقاضا است. به‌عنوان مثال با شارژ انبوه وسایل نقلیه برقی (EVs)، قیمت‌گذاری پویای انرژی بر اساس تقاضای زمان واقعی شکل خواهد گرفت. شبکه هوشمند متصل به قیمت‌گذاری پویا، امکان برقراری ارتباط دوطرفه به شهروندان را خواهد داد و آن‌ها امکان این‌که در کجا انرژی خود را خریداری کنند را دارند. خانواده‌های انگلیسی در حال حاضر به‌طور متوسط

سالانه ۱،۲۰۸ پوند برای گاز و برق هزینه می‌کنند، که در صورت اجرایی شدن این پروژه‌ها و کاهش ۱۲٪ مصرف، ۳،۹ میلیارد پوند یا ۱۴۵ پوند برای هر خانوار صرفه‌جویی اقتصادی خواهد داشت. همچنین ۶،۴ میلیون تن از تولید CO₂ کاهش می‌یابد که این معادل حذف تقریباً ۱،۵ میلیون وسیله نقلیه از جاده‌ها است. این گزارش همچنین تصریح می‌کند که با استفاده از حس‌گرهای 5G و فناوری‌های بی‌سیم، امکان اجرایی شدن روشنایی هوشمند معابر با کمک لامپ‌های LED وجود دارد که باعث خواهد شد ۱،۳ میلیون پوند در مصرف برق صرفه‌جویی شود. همچنین یک مطالعه در سال ۲۰۱۶ نشان داد که کنتورهای هوشمند بر پایه قابلیت‌های شبکه 5G، سود سالانه ۶،۴۷ میلیارد یورو در سال ۲۰۲۵ را برای اتحادیه اروپا تأمین می‌کند که این رقم در سال ۲۰۳۰ به ۷،۳۷ میلیارد یورو افزایش خواهد یافت.

۴-۳-۴ مشارکت شرکت انرژی Fortum فنلاند و شرکت مخابراتی Ericson

پروژه نیروگاه مجازی (VPP¹) توسط شرکت انرژی Fortum فنلاند و شرکت مخابراتی Ericson در حال توسعه است. لازم به توضیح است که نیروگاه مجازی (VPP) نیروگاهی توزیع‌شده مبتنی بر ابر است که ظرفیت منابع انرژی توزیع‌شده پراکنده (DER) را به‌منظور تقویت تولید برق و همچنین تجارت یا فروش آن در بازار برق را جمع می‌کند.

هدف از انجام این پروژه آزمایش شبکه 5G و IoT برای مدیریت منابع پراکنده (DR) است تا سیستم‌های حفاظتی و باتری‌های مربوطه را از مرکز داده اریکسون استخراج و استفاده از منابع انرژی را بهینه کنند [۳۰]. در پروژه VPP، باتری‌ها برای مدت‌زمان کوتاه و در صورت بروز اوج بار، می‌توانند برق مشترکین را تأمین کنند. عرضه و تقاضای متعادل انرژی با استفاده از داده‌های مربوط به باتری‌ها در مرکز داده اریکسون قابل‌دستیابی است. به عبارت دیگر، مرکز داده شرکت اریکسون به یک "نیروگاه مجازی" تبدیل می‌شود که می‌تواند برق را به شبکه Fingrid که یک اپراتور سیستم انتقال فنلاند است، تزریق کند. علاوه بر این، با استفاده از فناوری‌های IoT و فناوری‌های شبکه 5G و ارائه داده‌های معتبر و واقعی، علاوه بر این که تعادل شبکه حفظ می‌شود، از این طریق، مصرف‌کنندگان می‌توانند از انرژی‌های تجدید پذیر در حد توان استفاده کنند.

۴-۴-۴ جمع‌بندی

در این فصل به برخی پروژه‌ها و پایلوت‌های به‌کارگیری شبکه نسل پنجم در صنعت برق پرداخته شد. در ابتدا به پروژه‌های بین‌المللی از جمله پروژه‌های تحت حمایت اتحادیه اروپا همچون SLICENET، SOGNO، NRG5 و virtuWind پرداخته شد. طرح‌ها و بخش‌های کلیدی هریک از پروژه‌ها و اهداف و انتظارات آن‌ها بررسی

¹ - Virtual Power Plant

شد. منابع این بخش، اسناد و گزارش‌های منتشرشده از هر پروژه و وبسایت مربوط به هریک از پروژه‌ها بود. در جدول ۴-۸ خلاصه‌ای از پروژه‌های به‌کارگیری 5G در صنعت برق ارائه شده است. همچنین فعالیت‌های اخیر مرتبط با موضوع در سازمان سیگرا که یک سازمان غیرانتفاعی جهانی هست و در حوزه صنعت برق فعالیت دارد موردبررسی قرارگرفته است. در ادامه پایلوت‌ها و تست‌های اپراتورها درزمینه‌ی به‌کارگیری شبکه نسل پنجم در صنعت برق بررسی و در انتهای این فصل ارائه شده است.

جدول ۸-۴ خلاصه‌ای از پروژه‌های به‌کارگیری 5G در صنعت برق

نام پروژه	کشور	شرکای تحقیقاتی/صنعتی	سال-بودجه	سناریوی سه‌گانه موردنظر	فناوری نوین ICT	کاربرد موردنظر در شبکه برق	مدل تست
NRG5	ایتالیا	فرانسه، انگلیس، اسپانیا، آلمان، یونان، رومانی و اسلوونی، دانمارک و آمریکا	۲۰۱۷-۲۰۱۹ حدود ۷ میلیون یورو	- eMBB - uRLLC - mMTC	به‌کارگیری SDN/NFV در معماری طرح	AMI به‌عنوان سرویس PM به‌عنوان سرویس DR به‌عنوان سرویس	دو تست پایلوت در ایتالیا و فرانسه و چند تست آزمایشگاهی
SOGNO	آلمان	هلند و رومانی و ایرلند و استونی	۲۰۲۰-۲۰۱۸ حدود ۴ میلیون یورو	- URLLC	به‌کارگیری محاسبات لبه و برش شبکه	بررسی مورد کاربردی FLISR	سه تست پایلوت در رومانی و آلمان و ایرلند و دو تست آزمایشگاهی در دانشگاه RWTH
SLICENET	آلمان	پرتغال، انگلیس، ایتالیا، فرانسه، اسپانیا، ایرلند	۲۰۲۰-۲۰۱۷ حدود ۸ میلیون یورو	- eMBB - uRLLC - mMTC	برش شبکه	- سرویس‌های مربوط به خود بهبودی و محافظت شبکه و نیازمندی‌های مخابراتی آن	شبیه سازی آزمایشگاهی

VirtuWind	اتحادیه اروپا H2020	شرکای صنعتی شرکت‌های Telekom، Siemens، Intracom، NEC، Intel، WorldSensing و شرکای دانشگاهی پروژه سه دانشگاه KLC و TUM، FORTH	۲۰۱۵-۲۰۱۸		- شبکه مبتنی بر نرم‌افزار (SDN) - مجازی‌سازی توابع شبکه (NFV)	توسعه اکوسیستم SDN & NFV برای حوزه‌های صنعتی، بر اساس چارچوب باز، ماژولار و ایمن است که منجر به اجرای پایلوت (نمونه اولیه) سناریوهای درون یک مزرعه یا بین مزارع بادی می‌شود.	پایلوت
WIVE	فنلاند	Nokia, ABB and Kalmar	۲۰۱۷-۲۰۱۹	-uRLLC -mMTC	- شبکه مبتنی بر نرم‌افزار (SDN) - مجازی‌سازی توابع شبکه (NFV) - رایانش لبه - برش شبکه - رادیوی جدید	-دستیابی به کنترل از راه دور ماشین‌هایی با تأخیر کم -تمرکز بخش مهمی از پروژه بر کاربران و شناسایی فرصت‌های شغلی برای صنایع عمودی - استفاده از 5G در برنامه‌های کاربردی چون SCADA، OMS، DMS	

پایلوت	- ارائه خدمات به بخش‌های مختلف توزیع	برش شبکه	- eMBB - uRLLC - mMTC	۲۰۱۸-۲۰۲۰	CSG,Huawei, China Mobile	چین	5G+Smart Grid
مقیاس کوچک	آزمایش شبکه 5G و IoT برای مدیریت منابع پراکنده (DR)			۲۰۱۸	Ericson, Fortum	فنلاند	VPP

۵-۴- مراجع فصل چهارم

- [1] Networking and communications for smart grids and utility applications : A \$100B opportunity, Utility Dive, 2019. [Online]. Available: <https://www.utilitydive.com/news/networking-and-communications-for-smart-grids-and-utility-applications-a/545873/>.
- [2] Available: <https://5gobservatory.eu/5g-trial/major-european-5g-trials-and-pilots/>
- [3] Available: <http://www.nrg5.eu/>
- [4] NRG-5 D1.1: Use Case Scenarios Analysis and 5G requirements
- [5] Available: <http://www.nrg5.eu/pilot-1/>
- [6] Available: <http://www.nrg5.eu/pilot-2/>
- [7] Available: <https://www.sogno-energy.eu/>
- [8] Available: <https://www.sogno-energy.eu/>
- [9] SOGNO D4.1 v1.0 Definition of overall SOGNO System Architecture
- [10] Available: <https://5g-ppp.eu/slicenet/>
- [11] SLICENET D2.1 Vertical Sector Requirements Analysis and Use Case Definition
- [12] VirtuWind, 2015. [Online]. Available: <http://www.virtuwind.eu/>.
- [13] Available: <https://cordis.europa.eu/project/id/671648/reporting>
- [14] Available: <https://wive.turkuamk.fi/>
- [15] "WIVE project uses 5G to increase the business value of smart grids", Engerati, 2017. [Online]. Available: <https://www.engerati.com/article/wive-project-uses-5gincrease-business-value-smart-grids>
- [16] WIVE, 2019. [Online]. Available: <https://wive.turkuamk.fi/>.
- [17] "5G Use Cases for Vertical China 2020", CAICT & GSMA, 2020
- [18] <https://carrier.huawei.com/en/spotlight/5g>
- [19] "Leading New ICT Building a Better Connected Smart Grid", Huawei in Smart Grid
- [20] <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3528>
- [21] Huawei-NE9000-Product-Brochure, Available: <http://www.huawei.com>
- [22] 5G Accelerate Smart Grid, China Southern Power Grid (CSG) Zhang Guoyi June.2018
- [23] Powered by SA: Smart Grid 5G Network Slicing, SGCC, China Telecom and Huawei,
- [24] Available: http://eng.csg.cn/Press_release/News_2019/index_4.html
- [25] <https://www.nokia.com/networks/industries/energy-and-resources/>
- [26] Available: <https://www.ericsson.com/en/5g>
- [27] Available: <https://www.telecompaper.com/news/deutsche-telekom-showcases-5g-ean-smart-home-applications-at-mwc--1233729>
- [28] The value of 5G for cities and communities, O2, 2018. [Online]. Available: <https://d10wc7q7re41fz.cloudfront.net/wp-content/uploads/2018/03/Smart-Cities-Report.pdf>.

- [29] From smart grid to neural grid, Navigant, 2018. [Online]. Available: <https://www.navigant.com/-/media/www/site/insights/energy/2018/from-smart-to-neuralgrid-industry-transformation.pdf>.
- [30] G-driver of the next generation smart grid, Engerati, 2018. [Online]. Available: <https://www.engerati.com/transmission-and-distribution/article/communications-networks-technologies/g-%E2%80%93-driver-next>.

فهرست مطالب فاز سوم با عنوان

"بررسی مستندات برای شناسایی وضعیت هوشمندسازی شبکه برق کشور در بخش‌های اتوماسیون توزیع، بازار برق، قرائت کنتورهای فهمام، مدیریت تقاضا، منابع تولید پراکنده و ایستگاه‌های شارژ و خودرو برقی و برنامه توسعه ۵ ساله هوشمندی صنعت برق"

عنوان	صفحه
مقدمه	۱.....
فصل ۱- اسناد بالادستی مرتبط با برنامه توسعه هوشمند سازی شبکه.....	۲.....
۱-۱- مقدمه	۲.....
۱-۲- طرح جامع انرژی کشور	۲.....
۱-۳- برنامه‌های وزیر در دولت دوازدهم (حوزه برق).....	۳.....
۱-۴- سند ملی راهبرد انرژی کشور	۳.....
۱-۵- سند چشم‌انداز شرکت توانیر در افق سال ۱۴۰۴.....	۴.....
۱-۶- قانون برنامه پنج‌ساله ششم توسعه کشور	۴.....
۱-۷- نقشه راه توسعه دولت الکترونیکی- جایگاه وزارت نیرو- خوشه ۶ انرژی، ۱۳۹۳.....	۵.....
۱-۸- سند چشم‌انداز فناوری اطلاعات و آمار صنعت برق- شرکت توانیر.....	۵.....
۱-۹- جمع‌بندی.....	۶.....
۱-۱۰- مراجع	۷.....
فصل ۲- سند نقشه راه شبکه هوشمند.....	۸.....
۲-۱- مقدمه	۸.....
۲-۲- نقشه راه استراتژیک " توسعه شبکه‌ها و سیستم‌های هوشمند"	۸.....
۲-۳- سند نقشه راه شبکه هوشمند- عتف	۱۲.....
۲-۴- جمع‌بندی.....	۱۸.....
۲-۵- مراجع	۱۹.....
فصل ۳- اسناد راهبردی و نقشه راه توسعه فناوری‌های پژوهشگاه نیرو مرتبط با ICT.....	۲۰.....
۳-۱- مقدمه	۲۰.....
۳-۲- توسعه اتوماسیون پیشرفته در شبکه توزیع برق ایران	۲۱.....

- ۳-۳- خودروی برقی و ایستگاه‌های شارژ ۲۳
- ۳-۴- سند پایایی در شبکه‌ی برق ایران ۲۵
- ۳-۵- پایش سلامت سازه‌های صنعت برق ۲۶
- ۳-۶- فناوری‌های نوین حفاظت در شبکه ایران ۲۸
- ۳-۷- مدیریت بارهای سرمایشی و روش‌های کاهش مصرف انرژی در سیستم‌های سرمایشی ۲۹
- ۳-۸- ارتقای سطح رضایتمندی مشترکین صنعت برق ایران ۳۰
- ۳-۹- سند راهبردی و نقشه‌ی راه (توسعه‌ی) فناوری‌های نوین بهره‌برداری، نگهداری و تعمیرات نیروگاه‌ها ۳۱
- ۳-۱۰- فناوری‌های نوین پایش و کنترل خوردگی در صنعت برق ایران (تولید، انتقال و توزیع) ۳۲
- ۳-۱۱- سند تحول دیجیتال ۳۳
- ۳-۱۲- جمع‌بندی ۳۵
- ۳-۱۳- مراجع ۳۵
- فصل ۴- وضعیت فعلی هوشمند سازی شبکه کشور ۳۶**
- ۴-۱- مقدمه ۳۶
- ۴-۲- قرائت کنتور ۳۶
- ۴-۳- پاسخگویی بار ۳۷
- ۴-۴- اتوماسیون توزیع ۴۰
- ۴-۵- منابع تولید پراکنده ۴۱
- ۴-۶- خودرو برقی و ایستگاه‌های شارژ ۴۴
- ۴-۷- بازار برق ۴۷
- ۴-۸- جمع‌بندی ۴۸
- ۴-۹- مراجع ۵۰

فهرست شکل‌های فاز سوم

صفحه

عنوان

- شکل ۱-۲ اولویت‌دهی توسعه فناوری شبکه هوشمند با استفاده از ماتریس جذابیت توانمندی ۱۵
- شکل ۲-۲ موانع اولویت‌دار نظام نوآوری شبکه هوشمند برق ایران ۱۵
- شکل ۳-۲ شناسایی بازیگران شبکه هوشمند برق ۱۶
- شکل ۱-۴ موقعیت جغرافیایی نیروگاه‌های مگاواتی تجدیدپذیر ۴۳
- شکل ۲-۴ پراکندگی مولدهای کیلوواتی تجدیدپذیر ۴۳

فهرست جدول‌های فاز سوم

عنوان	صفحه
جدول ۲-۱ گروه‌های هشت‌گانه فناوری‌های شبکه هوشمند	۱۳
جدول ۲-۲ رویکرد توسعه برای گروه‌های هشت‌گانه فناوری شبکه هوشمند	۱۴
جدول ۲-۳ حداقل قابلیت‌های اجباری اتحادیه اروپا برای شبکه هوشمند	۱۷

مقدمه فاز سوم

از مزایای شبکه برق هوشمند، می‌توان به مواردی چون افزایش کیفیت توان، افزایش قابلیت اطمینان، افزایش راندمان، کاهش تلفات شبکه، استفاده بهینه از زیرساخت‌های موجود، مدیریت دارایی، کاهش آلودگی، سازگاری با محیط‌زیست، کاهش خاموشی و بازیابی خودکار با استفاده از قابلیت خودترمیمی اشاره کرد. فعال شدن بازار برق و راه‌اندازی بازار خرده‌فروشی، مدیریت عرضه و تقاضا، خطایابی و ایزوله سازی خطا در کوچک‌ترین وسعت ممکن، صرفه‌جویی و مدیریت مصرف با استفاده از وسایل اندازه‌گیری هوشمند از دیگر مزیت‌های شبکه هوشمند هستند. در کل می‌توان گفت از دید مصرف‌کنندگان، شبکه هوشمند به معنای مدیریت هوشمندانه مصرف و عرضه هوشمندانه انرژی در مقیاس کوچک است تا در ساعات اوج مصرف که قیمت گران است هزینه کمتری پردازند و بهای بیشتری بابت برق تولیدی دریافت کنند و از پایداری و کیفیت برق اطمینان داشته باشند؛ از دید حاکمیت و بهره‌برداران صنعت برق، نیز شبکه هوشمند به معنای پیک‌سای، تصمیم‌گیری هوشمندانه و ارائه اطلاعات دقیق از وضعیت شبکه است.

در کشور برای تجهیز شبکه هوشمند برق اقداماتی در حوزه‌های مختلف تولید، انتقال، توزیع و مصرف در حال انجام است و همانند سایر کشورها، سرمایه‌گذاری در شبکه هوشمند برق بیشتر به سمت نصب کنتورهای هوشمند در حوزه‌های مشترکین و توزیع بوده است.

در این مرحله از پروژه هدف بررسی اسناد بالادستی و وضعیت موجود هوشمندی شبکه در زیرسیستم‌های قرائت کنتور، پاسخگویی بار، اتوماسیون توزیع، خودروی برقی، بازار برق و منابع تولید پراکنده هست. آگاهی از برنامه‌های توسعه هوشمندی شبکه و وضعیت موجود کشور می‌تواند به فعالیت‌ها و برنامه‌ریزی‌های آتی برای استفاده از فناوری‌های جدید و به‌روزرسانی‌های فناوری‌های موجود کمک شایانی نماید.

همچنین علم داشتن بر برنامه توسعه شبکه برق می‌تواند به استخراج نیازمندی‌های آتی و الزامات مخابراتی شبکه برق کمک نماید. در مورد فناوری 5G در حال حاضر اپراتورها به دنبال شناسایی صنایعی هستند که پتانسیل و ظرفیت‌های کافی برای استفاده از این فناوری نوین را دارا باشند. مطلع ساختن نهادها و اپراتورهای مخابراتی از این نیازمندی‌ها، می‌تواند از طرفی به برنامه‌های توسعه فناوری صنعت مخابرات کشور کمک نماید و از طرف دیگر، باعث شود که صنعت برق به‌طور هوشمندانه‌تری ارتباطات خود را به‌روزرسانی و ارتقا دهد و دقت برنامه‌ریزی‌ها و سیاست‌گذاری‌ها برای استفاده از فناوری نوین مخابراتی در صنعت برق را افزایش دهد.

فصل ۱ – اسناد بالادستی مرتبط با برنامه توسعه هوشمند سازی شبکه

۱-۱- مقدمه

این فصل با هدف بررسی اسناد بالادستی مرتبط با مبحث هوشمندی شبکه برق گردآوری شده است. در برخی از این اسناد، هوشمندسازی مستقیم به عنوان اهداف، راهبرد یا برنامه ذکر شده است لکن در برخی دیگر از این اسناد، توسعه هوشمندی و پایش از راه دور شبکه به طور ضمنی قابل استنتاج است و یا اینکه پایش از راه دور شبکه و هوشمندسازی می‌تواند به عنوان تسهیل‌کننده در نظر گرفته شود؛ در هر حال تلاش شده است که تمامی موارد مرتبط با هوشمندی شبکه برق از این اسناد استخراج شود. اسناد بالادستی بررسی شده به شرح زیر هست:

- طرح جامع انرژی، ۱۳۹۹
- قانون برنامه پنج‌ساله ششم توسعه کشور، ۱۳۹۶
- سند ملی راهبرد انرژی کشور، ۱۳۹۶ (یا شاید طرح جامع انرژی کشور)
- برنامه‌های وزیر در دولت دوازدهم (حوزه برق) (یا شاید سند بالادستی و چشم‌انداز وزارت نیرو، ۱۳۹۶)
- سند چشم‌انداز شرکت توانیر در افق سال ۱۴۰۴، ۱۳۹۶
- نقشه راه توسعه دولت الکترونیکی - جایگاه وزارت نیرو - خوشه ۶ انرژی، ۱۳۹۳
- سند چشم‌انداز فناوری اطلاعات و آمار صنعت برق - شرکت توانیر، ۱۳۹۳

۱-۲- طرح جامع انرژی کشور

هدف اصلی طرح جامع انرژی، تهیه ابزار تحلیلی مناسب برای تدوین راهبردهای میان‌مدت و درازمدت در توسعه بخش انرژی و سیاست‌گذاری مناسب در راستای حداکثر کردن منافع اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی به منظور دستیابی به توسعه پایدار است. طرح جامع انرژی اصلی‌ترین مرجع برای تصمیم‌سازی در مسائل کلان انرژی کشور است [۱].

برنامه اجرایی اخیر طرح جامع انرژی کشور مصوب ۱۳۹۹/۱/۲۴ هیئت‌وزیران می‌باشد. بخش "ب۲" از این طرح جامع به برنامه اجرایی بخش برق و انرژی‌های پاک تعلق دارد. موارد ذیل در این طرح مستقیم یا غیرمستقیم به توسعه هوشمند سازی شبکه برق اشاره دارد.

- مدیریت تقاضا و بار مشترکین تا ۵۷۵۶ مگاوات و ۵۰۶۲ گیگاوات ساعت در سال ۱۴۰۰
- توسعه نیروگاه‌های تولید پراکنده تا ۱۴۱۰ مگاوات در سال ۱۴۰۰
- توسعه نیروگاه‌های تجدیدپذیر (به جز برق آبی) تا ۱۷۰۰ مگاوات در سال ۱۴۰۰

- کاهش تلفات در شبکه توزیع به ۹.۲ درصد در سال ۱۴۰۰

۳-۱- برنامه‌های وزیر در دولت دوازدهم (حوزه برق)

این برنامه در سال ۱۳۹۶ توسط وزیر محترم نیرو جناب آقای اردکانیان جهت تصدی پست وزارت نیرو به مجلس شورای اسلامی پیشنهاد شده است [۴]. با بررسی این برنامه، راهبردها و سیاست‌های مرتبط با توسعه هوشمندی شبکه استخراج و در ادامه ارائه شده است:

در بخش برق و انرژی‌های تجدید پذیر این برنامه به موارد زیر اشاره شده است:

- راهبرد ارتقا و توسعه نظام مدیریت تقاضا و اصلاح الگوی مصرف انرژی با رویکرد کاهش شدت انرژی در کشور از جمله با ایجاد نهاد تنظیم مقررات بخش برق مورد تأکید قرار گرفته است.
- راهبرد توسعه انرژی‌های نو و تجدیدپذیر در این گزارش مورد توجه قرار گرفته است.
- برنامه افزایش ظرفیت تولید برق تجدیدپذیر به ۴ هزار مگاوات در کشور و برنامه توسعه زیرساخت‌های هوشمندسازی شبکه برق و ایجاد ارزش افزوده از طریق ارائه خدمات مخابراتی و انتقال دیتا نیز در برنامه وزیر مورد توجه قرار گرفته است.
- برنامه توسعه و بهینه‌سازی شبکه انتقال، فوق توزیع و توزیع برق کشور در راستای افزایش قابلیت اطمینان شبکه برق و تأمین برق پایدار نیز در لیست برنامه‌ها ارائه شده است.

۴-۱- سند ملی راهبرد انرژی کشور

این سند توسط شورای عالی انرژی در سال ۱۳۹۵ و هیئت وزیران در سال ۱۳۹۶ و در افق ۲۵ ساله به تصویب رسیده است [۳]. بازه زمانی این سند از سال ۱۳۹۶ تا سال ۱۴۲۰ شمسی هست. در بخش راهبردهای بخش برق به موارد ذیل تأکید شده است:

- بهبود و ارتقای بازار برق و عملکرد آن در تأمین مطمئن برق برای تضمین روند توسعه پایدار کشور
- ارتقای سطح امنیت و پایایی در شبکه سرتاسری برق
- کاهش تلفات توزیع برق تا سطح متوسط کشورهای توسعه یافته
- افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر و پاک در ظرفیت تولید برق کشور
- افزایش بهره‌وری در زنجیره صنعت برق کشور از طریق توسعه و توانمندسازی سرمایه انسانی، توسعه فناوری، توسعه نظام‌های مدیریتی و کاربری تجهیزات روزآمد جهان

۵-۱- سند چشم‌انداز شرکت توانیر در افق سال ۱۴۰۴

طرح تدوین «سند مدیریت استراتژیک صنعت برق تا افق ۱۴۰۴» به‌عنوان گامی در جهت تحقق چشم‌انداز ۲۰ ساله جمهوری اسلامی ایران، برنامه راهبردی ۱۴۰۴ وزارت نیرو و همچنین نقشه راه صنعت برق که تصویری از آینده مطلوب را برای صنعت برق نمایان می‌سازد در سال ۱۳۹۶ نهایی شده است [۵] و در آن ۱۲ هدف استراتژیک برای صنعت برق عنوان شده است:

- ۱- تأمین برق مطمئن و پایدار
- ۲- تأمین برق اقتصادی
- ۳- کاهش تلفات برق
- ۴- اصلاح، بهینه‌سازی و توسعه زیرساخت‌های شبکه برق
- ۵- تأمین منابع مالی و تنوع‌بخشی به سبد سرمایه‌گذاری در برق
- ۶- ارتقای سطح رضایتمندی مشتریان، متقاضیان و سایر ذی‌نفعان
- ۷- انطباق فعالیت‌ها با ملاحظات زیست‌محیطی، ایمنی و سلامتی
- ۸- تاب‌آوری شبکه و توانمندی صنعت در مدیریت بحران و پدافند غیرعامل
- ۹- اتوماسیون و هوشمندسازی شبکه برق
- ۱۰- کسب فناوری‌های نوین و کاربردی
- ۱۱- مرکزیت تبادل برق در منطقه
- ۱۲- مدیریت عرضه و تقاضای برق

همان‌طور که قابل‌ملاحظه هست "اتوماسیون و هوشمندسازی" به‌عنوان یکی از اهداف ۱۲ گانه استراتژیک صنعت برق در نظر گرفته شده است. در مورد اهدافی چون کاهش تلفات شبکه و ارتقای سطح رضایتمندی مشتریان نیز هوشمندی شبکه و برقراری زیرساخت ارتباطی را می‌توان به‌عنوان عاملی تسهیل‌کننده در نظر گرفت.

۶-۱- قانون برنامه پنج‌ساله ششم توسعه کشور

این قانون در سال ۱۳۹۵ توسط مجلس شورای اسلامی برای بازه زمانی ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰ تصویب شده است [۲]. بخش ۱۰ به انرژی، صنعت و معدن اختصاص داده شده است که شامل ۱۲ ماده هست. مفادی که برای محقق شدن به توسعه زیرساخت ارتباطی و اطلاعاتی نیاز خواهد داشت در ادامه از این سند استخراج شده است:

ماده ۴۴: مکلف بودن دولت به انجام اقداماتی از قبیل کاهش ۵ درصدی تلفات انرژی در بخش ساختمان، افزایش بازدهی و ضریب بهره‌وری نیروگاه‌ها و ایجاد نیروگاه با بازدهی ۵۵ تا ۶۰ درصدی، تهیه و به تصویب رساندن طرح جامع انرژی در راستای سند ملی راهبرد انرژی کشور

ماده ۴۹: دولت موظف است از سال اول برنامه، اقدامات لازم را در راستای تشکیل بازار منطقه‌ای و ایجاد قطب (هاب) منطقه‌ای برق به عمل آورد به‌طوری‌که شبکه برق کشور از شمال، جنوب، شرق و غرب به کشورهای همسایه متصل شود.

ماده ۵۰: دولت مکلف است سهم نیروگاه‌های تجدیدپذیر و پاک با اولویت سرمایه‌گذاری بخش غیردولتی (داخلی و خارجی) با حداکثر استفاده از ظرفیت دولتی را تا پایان اجرای قانون برنامه به حداقل ۵٪ ظرفیت برق کشور برساند.

۷-۱- نقشه راه توسعه دولت الکترونیکی - جایگاه وزارت نیرو - خوشه ۶ انرژی، ۱۳۹۳

این نقشه راه با مشارکت معاونت توسعه مدیریت و سرمایه انسانی ریاست جمهوری و سازمان فناوری اطلاعات ایران که زیرمجموعه وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات هست تهیه شده و در سال ۱۳۹۳ به کلیه سازمان‌های مرتبط ابلاغ شده است. در این نقشه راه، آیین‌نامه توسعه خدمات الکترونیکی دستگاه‌های اجرایی که مصوب شورای عالی اداری هست و ضوابط فنی اجرایی توسعه دولت الکترونیک که مصوب شورای عالی فناوری اطلاعات است ارائه شده در این سند برای ایجاد هماهنگی بیشتر بین دستگاه‌های متولی خدمات، دسته‌بندی خدمات مرتبط در ۱۴ دسته مختلف انجام شده است و انرژی به عنوان خوشه ششم مطرح شده است. وزارت نفت متولی این خوشه هست و سازمان‌های همکار معاونت توسعه مدیریت و سرمایه انسانی رئیس‌جمهور، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور، معاونت علمی و فناوری رئیس‌جمهور، شرکت ملی پالایش و پخش فراورده‌های نفتی ایران، سازمان انرژی اتمی، وزارت نیرو، شرکت‌های برق منطقه‌ای، شرکت‌های آب و فاضلاب و شهرداری‌ها هستند. "ایجاد مرکز تبادل اطلاعات تخصصی خدمات دستگاه‌های زیرمجموعه خوشه‌ای" جزو برنامه و اقدامات اجرایی این خوشه در سند نام‌برده شده است [۶].

۸-۱- سند چشم‌انداز فناوری اطلاعات و آمار صنعت برق - شرکت توانیر

این سند در سال ۱۳۹۳ توسط واحد فناوری اطلاعات و آمار شرکت توانیر تهیه شده است [۷] و در آن، چشم‌انداز دفتر فناوری اطلاعات و آمار توانیر در افق زمانی ۵ سال به شرح زیر اعلام شده است: "دستیابی به تراز جهانی برای صنعت برق در بهره‌گیری از فناوری اطلاعات و ارتباطات و تحقق شبکه هوشمند در ابعاد آرمانی ذیل":

- توانیر و شرکت‌های زیرمجموعه آن تنها از سیستم‌های اطلاعاتی و فرآیندهای جامع و یکپارچه استفاده خواهند کرد.
- شبکه ملی اطلاعات صنعت برق عملیاتی خواهد شد.
- کلیه بسترهای قانونی و فنی لازم برای ارائه خدمات صنعت برق به مشتریان به‌صورت کاملاً الکترونیکی فراهم خواهد شد.
- حداقل نیمی از تعاملات توانیر و شرکت‌های زیرمجموعه با تأمین‌کنندگان به‌صورت الکترونیکی انجام خواهد پذیرفت.
- کلیه اسناد به‌صورت الکترونیکی و یکپارچه گردآوری، ذخیره‌سازی و مدیریت خواهند شد.
- مدیریت دانش در حوزه‌های بهره‌برداری و توسعه در صنعت برق محقق خواهد شد.
- کلیه اقلام آماری به‌صورت الکترونیکی، یکپارچه و خودکار گردآوری، پردازش و مدیریت خواهند شد.
- کسب درآمد از ظرفیت‌های انتقال داده از شبکه‌های صنعت برق
- ارتباط اطلاعاتی برخط (online) و یکپارچه برای ۱۰٪ اقلام اطلاعاتی در ۱۵٪ مراکز تولید، توزیع و انتقال در راستای تحقق بستر شبکه هوشمند انرژی فراهم خواهد شد.

۹-۱- جمع‌بندی

بررسی اسناد بالادستی فرصت مناسبی است که هدف‌گذاری‌ها، اولویت‌ها و برنامه‌های مصوب بخش حاکمیتی معلوم شود و سازمان‌های تابعه و نهادهای مرتبط، برنامه‌ریزی و اقدامات یکپارچه و همسویی با آن طرح‌ریزی نمایند.

در این پروژه، بررسی اسناد بالادستی با هدف استخراج برنامه‌ریزی‌ها حول محور هوشمندی شبکه برق انجام گرفته است. اسناد به ترتیب زمان تصویب از جدید به قدیمی ارائه شده‌اند. در جدیدترین سند که همان طرح جامع انرژی است و در فروردین ماه سال جاری مصوب هیئت‌وزیران شده، انرژی‌های پراکنده و تجدیدپذیر، برنامه‌های مدیریت بار، تقاضای سمت مشترکین و کاهش تلفات شبکه مورد توجه قرار گرفته شده است. بدیهی است که هوشمندی شبکه موجب شتاب و تسهیلگری نیل به اهداف کنترلی، مدیریتی در موارد اشاره شده خواهد شد.

سند راهبرد انرژی کشور علاوه بر انرژی‌های تجدیدپذیر و کاهش تلفات به موضوع افزایش بهره‌وری و پایداری شبکه در کنار بهبود و ارتقای بازار برق اشاره دارد. در قانون پنج‌ساله ششم نیز علاوه بر توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر، کاهش تلفات و افزایش بهره‌وری نیروگاه‌ها به موضوع ایجاد بازار برق منطقه‌ای اشاره دارد. سند چشم‌انداز فناوری اطلاعات و آمار صنعت برق نیز به تحقق شبکه هوشمند اشاره دارد و یکپارچه‌سازی فرآیندها، الکترونیکی‌سازی و ارتباطات برخط اطلاعات را سرلوحه برنامه‌های خود قرار داده است.

۱۰-۱- مراجع

- [1] http://cabinetoffice.ir/files/fa/news/1399/1/30/30976_356.pdf
- [2] <https://www.sabainv.com/wp-content/uploads/2018/05/plan-sixth.pdf>
- [3] http://cabinetoffice.ir/files/fa/news/1396/5/7/8980_143.pdf
- [4] <https://newsmedia.tasnimnews.com/Tasnim/Uploaded/Document/1396/08/02/139608021121422201230336.pdf>
- [5] http://edca.ir/View_News.aspx?newsid=6744
- [6] http://it.ostan-sm.ir/dorsapax/userfiles/file/9242014_700AM_nahaeinnnn.pdf
- [7] <http://asrpress.ir/fa/news/8180/> تعیین-اهداف-۱۲-گانه-صنعت-برق-در-سند-چشم-انداز-توانیر

فصل ۲- سند نقشه راه شبکه هوشمند

۲-۱- مقدمه

در این فصل اسناد نقشه راه شبکه هوشمند که در مراکز و نهادهای مرتبط تنظیم و تدوین شده است بررسی خواهد شد. در حال حاضر دو سند شبکه هوشمند در کشور تدوین شده است؛ اولی نقشه راه استراتژیک "توسعه شبکه‌ها و سیستم‌های هوشمندی" است که توسط دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی وزارت نیرو در سال ۱۳۹۴ تهیه و دومی نقشه راه "شبکه هوشمند" هست که توسط شورای عتف در سال ۱۳۹۳ تصویب شده است.

۲-۲- نقشه راه استراتژیک "توسعه شبکه‌ها و سیستم‌های هوشمند"

نقشه راه استراتژیک "توسعه شبکه‌ها و سیستم‌های هوشمند" توسط گروه "نوآوری و توسعه فناوری" دفتر "برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی وزارت نیرو" در مهرماه سال ۱۳۹۴ تدوین شده است. در این سند قید شده است که توسعه شبکه‌ها و سیستم‌های هوشمند یکی از ۱۴ چالش کلیدی صنعت برق هست. تعریف و تبیین محدوده هوشمندسازی شبکه اولین اقدامی بود که در دستور کار کارگروه مربوطه قرار گرفت و نقاط ضعف و مشکلات اجرایی شناسایی و راهکارهای آن تدوین شده است.

شبکه هوشمند با کاهش تعداد و مدت‌زمان خاموشی‌ها قابلیت اطمینان را افزایش و با ایجاد قابلیت پایش سریع مصرف و مدل‌سازی دقیق منابع تولید، موجب بهره‌برداری اقتصادی‌تر از منابع می‌شود. رویکرد برنامه پیش رو تلاش برای تأمین هدف مدیریت بهینه تقاضا با توجه به کاهش شدت مصرف انرژی است؛ سرقت برق و کنترل مصارف غیرمجاز، مشکلات توسعه حمل‌ونقل برقی، کم‌توجهی به استفاده از فناوری‌های پربازده و تجهیزات استاندارد در بخش ساختمان، فرایندها و فرآورده‌های انرژی بر، رشد بارهای سرمایشی پرمصرف و وجود لوازم برقی خانگی قدیمی پرمصرف و تلاش ناکافی برای اسقاط آن‌ها چالش‌های موجود هست. برابر انتظارات فوق از یک برنامه‌ی استراتژیک سیستم‌های هوشمند، تعریفی از شبکه هوشمند به شرح ذیل ارائه گردید:

شبکه هوشمند برق، شبکه تبادل برق (انرژی) و اطلاعات است که کارایی لازم برای موارد زیر را داشته باشد:

۱. استفاده بهینه از منابع پراکنده (تولید همزمان برق و حرارت و برودت، تولید تجدید پذیر و ذخیره‌سازها)

۲. پایش عناصر مؤثر شبکه و مانور برای تأمین کیفیت برق (و به‌ویژه مصارف حساس) (در سطح توزیع: اتوماسیون توزیع، در سطح انتقال WAMS¹)
 ۳. پدافند غیرعامل (قابلیت مدیریت تأمین برق، به تفکیک هر یک از مشترکین)
 ۴. پایش مصرف و تلفات (به‌ویژه تلفات غیرفنی)
 ۵. استفاده مؤثر از اطلاعات شبکه برای مدیریت بهینه شبکه و عناصر آن
 ۶. پذیرش مؤثر خودرو برقی و مصارف مدیریت شبکه (پذیرش و بهره‌گیری مناسب با راهبردهای توسعه‌ای فناوری‌ها در کشور)
 ۷. حفاظت از حقوق شهروندی (از ابعاد دسترسی به اطلاعات مصرف بازار و بهره‌گیری از فرصت‌های حقوقی و رعایت حریم خصوصی)
 ۸. مدیریت بار و انرژی و بالطبع در آن به زیرساخت‌های تبادل و جابجایی برق (انرژی) و همچنین تبادل و تدارک و حفظ امنیت اطلاعات توجه کافی مبذول شده است.
- در ادامه در این سند، شکاف‌های توانمندی برای دستیابی به فناوری‌های فوق فهرست شده است. این فهرست در ادامه ارائه شده است.
- رگلاتوری (تنظیم‌کنندگی) و مشکلات مربوط به قوانین و نیاز به تجدید ساختار
 - نبود سیاست روشن و نقشه راه مشخص در زمینه هوشمندسازی شبکه
 - محدودیت منابع مالی برای هوشمندسازی شبکه و عدم تمایل بخش خصوصی برای سرمایه‌گذاری در این بخش
 - نبود زیرساخت‌های مناسب مخابراتی قدرتی الکترونیکی
 - کم‌توجهی به پدافند غیرعامل و امنیت اطلاعات و نیز وجود حملات سایبری
 - فقدان معماری و ساختار مناسب در شبکه و همچنین نبود شناخت کافی از شبکه
 - وجود مخالفت‌های اجتماعی (حریم خصوصی افراد) با شبکه هوشمند
 - عدم قطعیت و امنیت در واردات تجهیزات، نرم‌افزار و سخت‌افزارهای شبکه و عدم انجام مطالعه در مورد فناوری‌های وارداتی در این زمینه و در نتیجه بالا رفتن هزینه‌ها
 - مشکلات فرهنگی و اجتماعی
 - تغییرات سریع فناوری و زمان‌بر بودن انجام پروژه‌ها

¹ wide area monitoring system

در ادامه لیست اولیه فناوری‌ها و نفوذ بازار و توانمندی در دو بازه زمانی ۷ ساله در حوزه‌های مختلف تولید، انتقال، توزیع، مصرف و تجارت استخراج شده است.

برای خلاصه کردن سند در این گزارش سعی شده است که موارد مرتبط با ارتباطات شبکه هوشمند که نشان‌دهنده مقیاس توسعه‌ای ارتباطات در حوزه‌های مختلف هستند استخراج شوند.

- در حوزه توزیع در خصوص فناوری مولدهای مقیاس کوچک با سوخت گاز در اندازه ۱۰۰ کیلووات و بالاتر قید شده است که در بازه زمانی هفت‌ساله اول باید ۵ درصد تولید کشور از طریق این مولدها تأمین شود که از دیدگاه پدافند غیرعامل حائز اهمیت است.
- در حوزه توزیع در خصوص فناوری مولدهای مقیاس کوچک زباله‌سوز و بیوگاز قید شده است که در بازه زمانی هفت‌ساله اول باید ۱۰ درصد از زباله‌های کشور از طریق این مولدها سوزانده شود که از دیدگاه محیط‌زیست حائز اهمیت است.
- در حوزه توزیع در خصوص مولدهای خورشیدی و بادی قید شده است که در بازه زمانی هفت‌ساله اول باید ۱ درصد تولید کشور از محل انرژی خورشیدی و بادی تأمین شود و در بازه زمانی ۷ ساله دوم، ۵ درصد از تولید انرژی از محل انرژی‌های تجدید پذیر باشد.
- در حوزه توزیع در خصوص اتوماسیون توزیع قید شده است که در بازه ۷ ساله اول نصب ریکلوزر در فیدرهای فشار -متوسط حساس و مهم در کشور انجام شود و در بازه ۷ ساله دوم هوشمند سازی ادوات کلیدزنی به‌طوری‌که خود شبکه اقدام به تغییر آرایش برای کاهش خاموشی و تلفات نماید.
- در حوزه توزیع در خصوص ایستگاه‌های شارژ خودرو برقی قید شده است که در بازه ۷ ساله دوم نصب ایستگاه به‌اندازه ۲ درصد ایستگاه‌های بنزین انجام شود.
- در حوزه توزیع در خصوص کنتورهای هوشمند قید شده است که در بازه ۷ ساله دوم، ۱۰ درصد از مشترکین مجهز به کنتور هوشمند شوند.
- در حوزه انتقال در خصوص فناوری‌های WAMS و PMU^۱ قید شده است که در بازه زمانی ۷ ساله اول " باید PMU در نقاط مهم نصب و مورد بهره‌برداری قرار گیرد به‌طوری‌که رؤیت پذیری شبکه نسبت به وضعیت فعلی X درصد بهبود یابد " و در بازه زمانی ۷ ساله دوم "با توجه به نتایج مطالعات بازه زمانی ۷ ساله اول WAMS به‌گونه‌ای اجرا شود که رؤیت پذیری شبکه به X مثل 99 درصد برسد".
- در حوزه انتقال در خصوص فناوری WAP^۲ قید شده است که در بازه زمانی ۷ ساله دوم این سیستم باید در کل کشور پیاده شود.

^۱ phasor measurement unit

^۲ wide area protection

- در حوزه انتقال در قسمت فناوری‌های مرتبط با بستر مخابراتی قیدشده است که برای بازه زمانی ۷ ساله اول بستر مخابراتی برای مناطق حساس و مهم فراهم آید و برای بازه زمانی ۷ ساله دوم بستر مخابراتی باید در کل کشور پیاده شود.
- در حوزه انتقال، در خصوص سامانه تخمین حالت و برنامه‌ریزی تعمیرات و سامانه پایش خطوط انتقال و فوق توزیع و گزارش دهی بلادرنگ وقایع و تعرضات و سامانه هوشمند نگهداری و تعمیرات عناصر شبکه قیدشده است که در بازه زمانی ۷ ساله اول باید توانایی تدوین این نرم‌افزار فراهم گردد.
- در حوزه تولید در قسمت فناوری‌های مرتبط با بستر مخابراتی قیدشده است که برای بازه زمانی ۷ ساله اول "تمام داده‌ها و ... کلیه نیروگاه‌هایی که به شبکه ۶۳ کیلوولت و بالاتر متصل هستند به دیسپاچینگ ملی مخابره شوند" و در بازه زمانی ۷ ساله دوم "تمام داده‌ها و ... کلیه نیروگاه‌هایی که به شبکه پایین‌تر از ۶۳ کیلوولت متصل هستند به دیسپاچینگ منطقه‌ای مخابره شوند".
- در ادامه در این سند فهرست نهایی تکنولوژی‌ها در هر یک از حوزه‌های تولید، انتقال، توزیع و مصرف با توجه به چهار هدف (پدافند، قابلیت اطمینان، مدیریت تقاضا، کاهش شدت مصرف) تعیین شده است

در حوزه مصرف فهرست نهایی فناوری‌ها به این شرح است:

۱. هوشمند کردن تجهیزات مصرف‌کننده انرژی
۲. داشتن BMS¹ (که ارتباط با تجهیزات مصرف‌کننده انرژی جزئی از آن است)
۳. ارتباط BMS با توزیع
۴. سامانه تعامل منابع تولید (با توزیع یا BMS)
۵. سامانه تعامل خودروی برقی (با توزیع یا BMS)
۶. کنتور هوشمند (از منظر تبادل اطلاعات با مشترک)

در حوزه توزیع فهرست نهایی فناوری‌ها به این شرح است:

۱. سامانه تعامل با منابع تولید پراکنده (قابل کنترل و غیرقابل کنترل)
۲. سامانه مدیریت سیستم‌های ذخیره‌ساز انرژی
۳. اتوماسیون توزیع در سطح مانیتورینگ
۴. اتوماسیون توزیع در سطح کنترل (DMS²)
۵. مدیریت بار
۶. مدیریت اتفاقات و خاموشی (OM³)

¹ Building Management System

² Distributed Management System

³ Outage Management

۷. توسعه زیرساخت اندازه‌گیری هوشمند در نقاط اصلی شبکه

در حوزه انتقال فهرست نهایی فناوری‌ها به این شرح است:

۱. سامانه‌های پایش شبکه‌های انتقال و فوق توزیع و ایجاد قابلیت خود ترمیمی

۲. سامانه هوشمند نگهداری و تعمیرات عناصر شبکه

۳. PMU-WAMS

۴. WAPC¹

۵. سامانه‌های کنترل غیرمتمرکز (DCS² نیروگاهی)

در حوزه تولید فهرست نهایی فناوری‌ها به این شرح است:

۱. سامانه‌های کنترل غیرمتمرکز (DCS نیروگاهی)

در گام بعدی در این سند، ضمن انجام مقایسه زوجی بین فناوری‌ها با توجه به اهداف هوشمند سازی شبکه که عبارت است از افزایش امنیت انرژی از نظر پدافندی و قابلیت اطمینان و مدیریت بهینه تقاضا با توجه به کاهش شدت مصرف انرژی، فهرست تکنولوژی‌های کلیدی استخراج گردید.

سپس در گام بعدی، شکاف‌های کلیدی صنعت برق برای دستیابی به فناوری‌های استراتژیک ارائه شده است و در گام آخر پس از تعیین فناوری‌های دارای اولویت (با توجه به اهداف پدافند، قابلیت اطمینان، مدیریت تقاضا، کاهش شدت مصرف) و بررسی ابعاد شکاف توانمندی هریک از فناوری‌ها، راهکارها و پروژه‌هایی برای پوشش شکاف‌های توانمندی آن‌ها، تعیین گردیده است.

۳-۲- سند نقشه راه شبکه هوشمند - عتف

سند نقشه راه شبکه هوشمند مصوب شورای عتف در راستای پروژه "اسناد راهبردی شبکه هوشمند برق ایران" از زیرمجموعه "طرح ملی شبکه هوشمند برق ایران" با همکاری دانشگاه‌های امیرکبیر، بهشتی و مشهد در سال ۱۳۹۳ تدوین شده است. این سند نقشه راه توسعه فناوری‌های شبکه هوشمند برق ایران را شامل می‌شود که در آن، ابتدا شبکه هوشمند، فناوری‌ها و حوزه‌های آن موردبررسی قرار گرفته است، سپس بر اساس نظر خبرگان این حوزه و با توجه به اسناد بالادستی موجود و مطالعات تطبیقی گسترده صورت گرفته، چشم‌انداز

¹ Wide Area Protection and Control

² Distributed control system

شبکه هوشمند ایران ترسیم‌شده است و پس‌از آن راهبردها، سیاست‌ها و درنهایت برنامه اقدامات و نقشه راه توسعه استخراج‌شده است.

بیانیه چشم‌انداز شبکه هوشمند برق ایران به‌صورت زیر است:

در یک افق زمانی ده‌ساله، ایجاد و توسعه شبکه هوشمند برق به‌عنوان شبکه‌ای امن، منعطف و پایدار که برق باکیفیت و با قابلیت اطمینان بالا را در اختیار تمام مشترکین و ذینفعان قرار می‌دهد و ارتقاء فناوریانه شبکه انرژی کشور را با استفاده از فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات، سامانه‌های هوشمند مدیریت و نیز تکنولوژی‌های شبکه قدرت به‌گونه‌ای فراهم می‌کند که موجب تعامل عناصر و بازیگران کل سیستم انرژی و نیز مدیریت بهینه عرضه و تقاضا در بازار آزاد برق گردد. چنین شبکه‌ای با افزایش کارایی و قابلیت اطمینان سیستم برق و نیز ایجاد قابلیت یکپارچه‌سازی انرژی‌های تجدید پذیر، ضامن ارتقاء و تثبیت جایگاه ایران به‌عنوان کشور اول منطقه در توسعه و پیاده‌سازی شبکه هوشمند برق خواهد بود.

در این سند، گروه‌های هشت‌گانه فناوری‌های شبکه هوشمند به‌صورت جدول زیر ارائه شده است.

جدول ۱-۲ گروه‌های هشت‌گانه فناوری‌های شبکه هوشمند

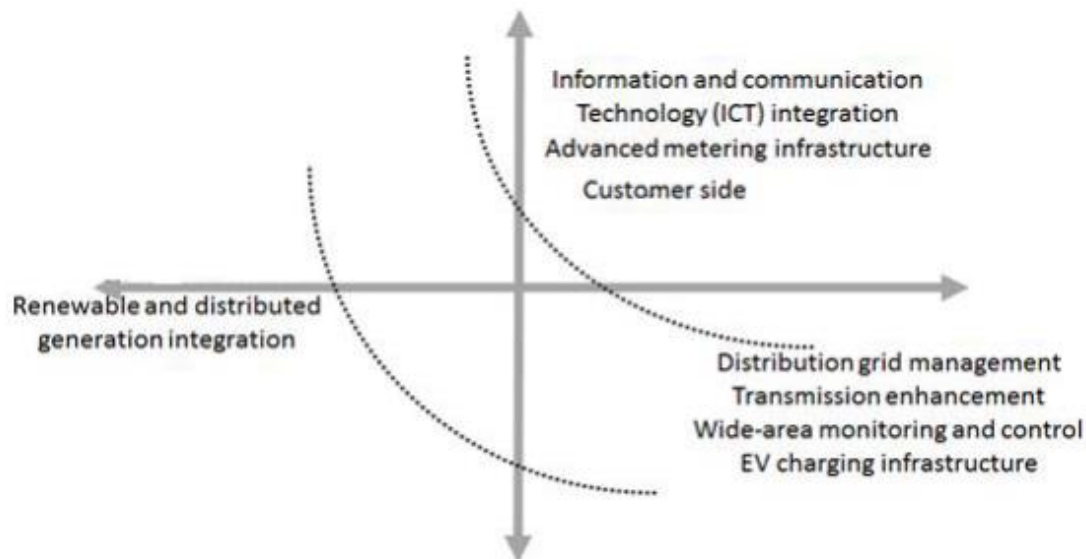
Technology area	سطح بلوغ	روند رشد	فاز تجاری سازی
Wide-area monitoring and control	Developing	Fast	precommercial
Information and communication technology integration	Mature	Fast	commercial
Renewable and distributed generation integration	Developing	Fast	supported commercial
Transmission enhancement	Mature	Moderate	commercial slow diffusion
Distribution grid management	Developing	Moderate	precommercial
Advanced metering infrastructure	Mature	Fast	commercial
Electric vehicle charging infrastructure	Developing	Fast	precommercial
Customer-side systems	Developing	Fast	precommercial
* باتری ذخیره انرژی کمتر از سایر فناوریهای انرژی های پراکنده بالغ است. ** فناوری های فوق هادی های دمای بالا هنوز در مرحله توسعه هستند.			

رویکرد توسعه برای گروه‌های هشت‌گانه فناوری شبکه هوشمند به‌صورت زیر است.

جدول ۲-۲ رویکرد توسعه برای گروه‌های هشتگانه فناوری شبکه هوشمند

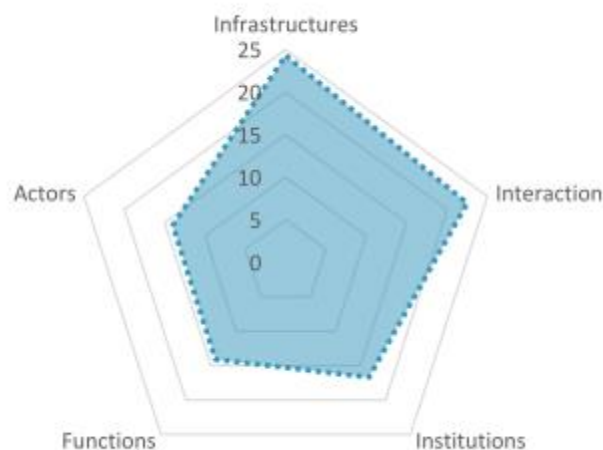
حوزه فناوری	سطح بلوغ	گسترده‌گی	توانمندی ایران	رویکرد توسعه
Wide-area monitoring and control	معرفی و نوپایی	مشخص	پرو	ماموریت گرا
Information and communication technology integration	رشد و بلوغ	عمومی	پرو	اشاعه گرا
Renewable and distributed generation integration	معرفی و نوپایی	عمومی	پرو	تحقیق محور
Transmission enhancement	رشد و بلوغ	مشخص	پرو	اقدام محور
Distribution grid management	معرفی و نوپایی	مشخص	پرو	ماموریت گرا
Advanced metering infrastructure	رشد و بلوغ	عمومی	پرو	اشاعه گرا
Electric vehicle charging	معرفی و نوپایی	عمومی	پرو	تحقیق محور
Customer-side systems	معرفی و نوپایی	عمومی	پرو	تحقیق محور

اولویت‌دهی توسعه فناوری شبکه هوشمند با استفاده از ماتریس جذابیت-توانمندی انجام شده است؛ بدین منظور پرسشنامه ساختاریافته‌ای در دو بخش جهت ارائه به خبرگان تهیه شد. بخش اول ارزیابی سطح بلوغ هر فناوری در ایران و در بخش دوم جذابیت از نظر معیارهایی چون اشتغال‌زایی، ایجاد بازار مورد ارزیابی قرار گرفته است و اولویت فناوری‌ها در سه بازه کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت مشخص شده است.

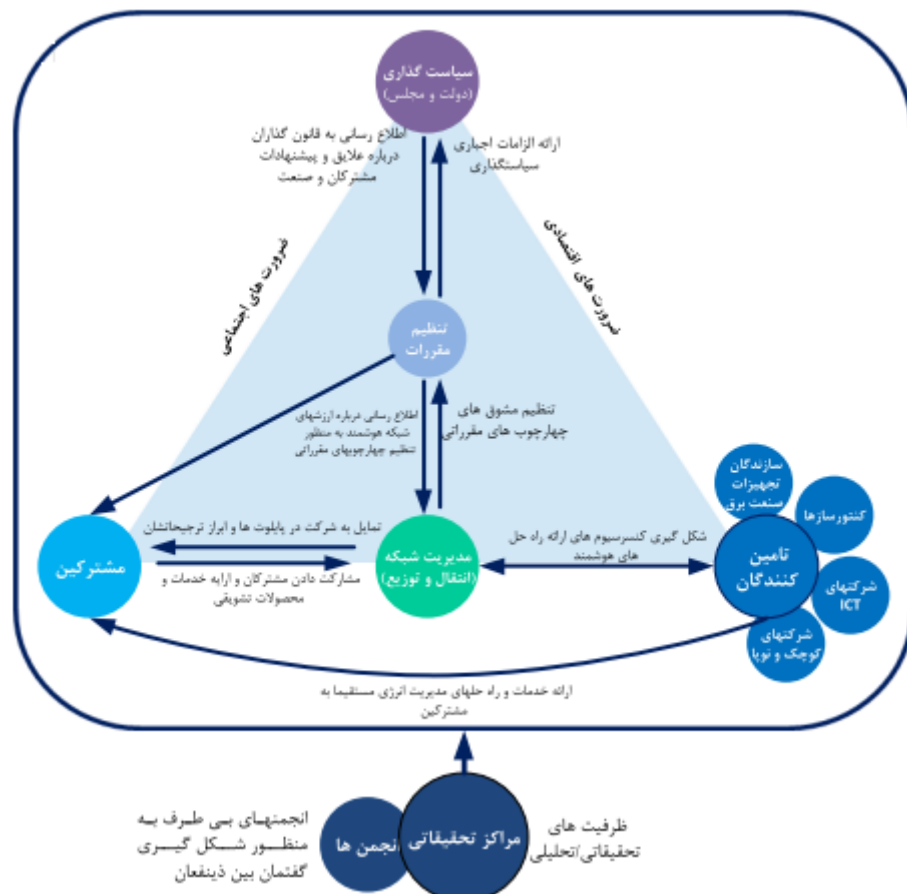


شکل ۱-۲ اولویت‌دهی توسعه فناوری شبکه هوشمند با استفاده از ماتریس جذابیت توانمندی

در ادامه برای هر گروه فناوری بر اساس مدل‌های علمی، سبک اکتساب فناوری پیشنهاد شده است و سپس سیاست‌های توسعه فناوری تبیین شده است و تحلیل کارکردهای نظام نوآوری فناوری با استفاده از رویدادنگاری اقدامات انجام‌شده در حوزه‌های مختلف هشت‌گانه موردبررسی قرار گرفته است همچنین شاخص‌های موانع نظام نوآوری با استفاده از اسناد بالادستی و مطالعات تطبیقی و طی جلسات متعدد با خبرگان فعال در زمینه شبکه هوشمند برق ایران استخراج شده است.



شکل ۲-۲ موانع اولویت‌دار نظام نوآوری شبکه هوشمند برق ایران



شکل ۲-۳ شناسایی بازیگران شبکه هوشمند برق

سپس با توجه به موانع پیش رو، ابزارهای سیاست‌گذاری متناظر با هر گروه از این موانع معرفی شده است. به‌منظور سیاست‌گذاری مؤثرتر و تدوین هر چه بهتر برنامه اقدامات نقشه راه نیاز بود تا بازیگران شبکه هوشمند برق به‌دقت بررسی و دسته‌بندی شوند.

برنامه اقدامات عملی نقشه راه توسعه فناوری‌های شبکه هوشمند برق ایران با توجه به گستردگی فناوری‌های این حوزه بسیار وسیع و متنوع است. تلاش شده است تا در تدوین برنامه اقدامات پویایی و پایداری نظام توسعه فناوری‌ها در اولویت قرار گیرد. از این رو بیش از آنکه توجه و تمرکز بر تعریف پروژه‌های توسعه فناوری و یا بیان سرفصل‌های تحقیقاتی باشد، توسعه نهادها، برنامه‌ها و قوانین در دستور کار قرار گرفته است.

همچنین نکته قابل‌تأمل در این سند، بررسی حداقل فاکتورهای هوشمندسازی شبکه برق هست که از متدولوژی JRC برای تعیین آن استفاده شده است. متدولوژی JRC، دستورالعملی است که توسط اتحادیه اروپا بر اساس دستورالعمل‌های آمریکایی EPRI برای تصمیم‌گیری درباره نحوه اجرای مقیاس‌گذاری قابلیت‌های شبکه هوشمند تدوین شده است. بر اساس دستورالعمل JRC، دستیابی و تحقق مزایای شبکه هوشمند برق از طریق فعال‌سازی قابلیت‌های خاصی در شبکه هوشمند برق امکان محقق شدن پیدا می‌کند. برای فعال‌سازی این

جدول ۳-۲ حداقل قابلیت‌های اجباری اتحادیه اروپا برای شبکه هوشمند

ردیف	قابلیت	Functionality
	برای مشترکان:	For the customer:
a	قرائت‌های کنتور را مستقیماً به مشترک و هر طرف سوم مشخص شده توسط مشترک ارائه دهد.	Provide readings directly to the customer and any third party designated by the consumer.
b	قرائت‌های ردیف (a) با تناوب کافی به روز رسانی شود تا بتوان از آن اطلاعات برای دستیابی به صرفه جویی انرژی استفاده نمود.	Update the readings referred to in point (a) frequently enough to allow the information to be used to achieve energy savings.
	برای اپراتور اندازه گیری:	For the metering operator:
c	امکان قرائت از راه دور توسط اپراتور وجود داشته باشد.	Allow remote reading of meters by the operator.
d	مخابرات دوطرفه بین سیستم کنتور هوشمند و شبکه‌های خارجی برای نگهداری و کنترل آن ارائه گردد.	Provide two-way communication between the smart metering system and external networks for maintenance and control of the metering system.
e	امکان قرائت با تناوب کافی جهت استفاده از اطلاعات حاصل در برنامه ریزی شبکه وجود داشته باشد.	Allow readings to be taken frequently enough for the information to be used for network planning.
f	سیستم‌های تعرفه پیشرفته قابل اعمال باشد.	Support advanced tariff systems.
g	امکان کنترل قطع/وصل از راه دور، و یا محدودیت جریان/توان وجود داشته باشد.	Allow remote on/off control of the supply and/or flow or power limitation.
	برای امنیت و حفاظت از داده:	For security and data protection:
h	مخابرات داده امن باشد.	Provide secure data communications.
i	امکان تشخیص و جلوگیری از تقلب/اسو استفاده وجود داشته باشد.	Fraud prevention and detection.
	برای تولید پراکنده:	For distributed generation:
j	توان ورودی/خروجی (دوطرفه) و غیرفعال قابل اندازه گیری باشد.	Provide import/export and reactive metering.

قابلیت‌ها بایستی تجهیزات، فناوری‌ها و سیستم‌های فناوری‌های شبکه هوشمند برق را به کار برد که دستورالعمل JRC به اصطلاح از آن‌ها به عنوان دارایی‌های شبکه برق عنوان می‌کند. تعیین مزایای شبکه هوشمند برق در متدلوژی JRC با استفاده از متدلوژی EPRI انجام شده است و مزایا در ۴ زیرمجموعه اقتصادی، قابلیت اطمینان، زیست‌محیطی و امنیت تقسیم می‌شود. قابلیت‌های موردنیاز برای بهره‌گیری از مزایای شبکه هوشمند در متدلوژی JRC در ۶ زیرمجموعه قرار گرفته‌اند.

۱. قادر ساختن شبکه برای پیوستن کاربران به نیازهای جدید
۲. ارتقا بازدهی در عملیات روزانه شبکه
۳. تأمین امنیت شبکه، کنترل سیستم و کیفیت عرضه
۴. برنامه‌ریزی بهتر سرمایه‌گذاری آینده شبکه

۵. بهبود عملکرد بازار و خدمات مشترکین

۶. فراهم آوردن امکان و تشویق مشارکت مستقیم‌تر و مؤثرتر مشترکان در مدیریت مصرف خود
متدلوژی JRC ده قابلیت حداقل تعریف نموده است که کلیه کشورهای اتحادیه اروپا که قصد پیاده‌سازی شبکه هوشمند برق دارند ملزم به اجرای آن هستند؛ این قابلیت‌ها در جدول ۲-۳ ارائه شده است. با تحلیل و بررسی این قابلیت‌ها در گزارش سند هوشمند ذکر شده است که تمرکز اصلی بر کنتورهای هوشمند و مخابرات دوطرفه پرسرعت هست.

نرخ به‌روزرسانی قرائت داده‌های کنتور هوشمند بایستی منطبق بر زمان پاسخ‌دهی محصولات مولدهای انرژی یا مصرف‌کنندگان انرژی باشد. اجماع عمومی بر نرخ به‌روزرسانی حداقل در هر دقیقه است (سند EU/148/2012)؛ شایان‌ذکر است بر اساس توصیه‌های JRC مدت‌زمان‌های بیشتر از یک ساعت (مثلاً به‌روزرسانی‌های روزانه یا آفلاین) هدف سیستم بازخورد جهت مدیریت مصرف و ارائه تنوع تعرفه‌ها را برآورده نمی‌کند.

۴-۲- جمع‌بندی

توسعه شبکه هوشمند در کشور نیازمند برنامه‌ریزی مدون و منسجم در تمامی ارکان وزارت نیرو از تولید و انتقال گرفته تا توزیع و مصرف هست. از این‌رو تدوین نقشه راه استراتژیک هوشمندی شبکه در کنار نقشه راه اجرایی آن اهمیت می‌یابد. با بررسی اسناد تدوین‌شده برای شبکه هوشمند در کشور معلوم شد که در حال حاضر دو سند شبکه هوشمند موجود است.

سند نقشه راه استراتژیک توسعه شبکه هوشمند توسط دفتر "برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی وزارت نیرو" تهیه شده و موارد موردنظر برای شبکه هوشمند را به هشت مورد محدود ساخته است و برنامه‌های مورد انتظار در دو بازه زمانی ۷ ساله در حوزه‌های تولید، انتقال، توزیع ارائه شده است و به فناوری‌های کلیدی هر حوزه اشاره شده است؛ اهداف چهارگانه این سند عبارت‌اند از امنیت انرژی از دید پدافند، قابلیت اطمینان، مدیریت تقاضا و کاهش شدت مصرف. همچنین در این سند پروژه‌ها و راهکارهای توانمند ساز توسعه فناوری مشخص گردیده است.

سند نقشه راه شبکه هوشمند مصوب شورای عتف با همکاری دانشگاه‌های امیرکبیر، بهشتی و مشهد تدوین شده است. این سند با افق زمانی ۱۰ ساله، گروه‌های هشت‌گانه فناوری شبکه هوشمند را معرفی کرده و رویکرد توسعه این فناوری‌ها را با توجه به توانمندی موجود، گستردگی و سطح بلوغ ارائه می‌دهد. اولویت‌دهی توسعه فناوری شبکه هوشمند با استفاده از ماتریس جذابیت-توانمندی انجام شده است؛

در ادامه برای هر گروه فناوری بر اساس مدل‌های علمی، سبک اکتساب فناوری پیشنهاد شده است. از آنجایی که برنامه اقدامات عملی نقشه راه توسعه فناوری‌های شبکه هوشمند برق ایران با توجه به گستردگی فناوری‌های

٥-٢- مراجع

فصل ۳ – اسناد راهبردی و نقشه راه توسعه فناوری‌های پژوهشگاه نیرو مرتبط با

ICT

۱-۳- مقدمه

از آنجایی که استخراج برنامه‌های توسعه‌ای که با هوشمندی صنعت برق مرتبط هستند از اهداف پروژه هست تصمیم بر این شد که اسناد توسعه فناوری پژوهشگاه نیرو نیز با نگرش موردنظر در این پروژه، بررسی شود و مشخص شود در جهت توسعه فناوری‌های مرتبط با هوشمندی یا ارتقای دیجیتالی شدن شبکه برق چه برنامه‌هایی در دست اقدام با اجرا شده هست.

به عنوان مقدمه‌ای بر این اسناد می‌توان گفت با توجه به ضرورت افزایش بهره‌وری و استفاده بهینه از سرمایه‌های موجود و اهمیت توسعه علم و فناوری در تحقق اهداف اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و فرهنگی کشور، وزارت نیرو اقدام به تعریف طرح‌های کلان ملی در راستای نیازهای کشور نمود. بر این اساس و با توجه به این نکته که طرح‌های کلان به‌طور معمول فناوری‌های جدید را در بردارند، لازم بوده است تا برنامه‌ریزی برای آینده فناوری‌های منتج در این طرح‌ها، اسناد راهبردی با رویکرد ملی و یا بخشی باهدف استخراج اقدامات، سیاست‌های کلان و خرد برای دستیابی به فناوری‌ها و همچنین گسترش آن‌ها تهیه شوند. در همین راستا، پژوهشگاه نیرو در سال ۱۳۹۳ مسئولیت تدوین ۴۰ سند راهبردی و تهیه نقشه راه توسعه فناوری‌های صنعت برق و انرژی را با بهره‌گیری از ظرفیت‌های محققین بخش دانشگاهی و صنعتی بر عهده گرفت [۱]. همچنین سند دیگری با عنوان سند تحول دیجیتال نیز اخیراً در حال تدوین هست.

با بررسی این اسناد راهبردی و نقشه راه توسعه فناوری‌های پژوهشگاه، اسنادی که در آن‌ها نیاز به فناوری اطلاعات و ارتباطات وجود دارد مشخص شده‌اند که در ادامه لیست آن ارائه شده است:

- توسعه اتوماسیون پیشرفته در شبکه توزیع برق ایران
- خودروی برقی و ایستگاه‌های شارژ
- پایایی در شبکه‌ی برق ایران
- پایش سلامت سازه‌های صنعت برق
- فناوری‌های نوین حفاظت در شبکه ایران
- مدیریت بارهای سرمایشی و روش‌های کاهش مصرف انرژی در سیستم‌های سرمایشی
- ارتقای سطح رضایتمندی مشترکین صنعت برق ایران
- تعمیر و نگهداری نیروگاه‌ها
- فناوری‌های نوین پایش و کنترل خوردگی در صنعت برق ایران (تولید، انتقال و توزیع)

- تحول دیجیتال

در این اسناد غالباً با توجه بر اسناد بالادستی و برنامه‌های توسعه‌ای کشور، چشم‌انداز، راهبردهای کلان، سیاست‌ها و اقدامات تعیین شده و طرح‌های کلان و پروژه‌های اجرایی در آن به صورت فهرست‌وار ارائه شده است. در ادامه هر یک از اسناد مذکور به تفکیک مورد بررسی قرار گرفته است.

۲-۳- توسعه اتوماسیون پیشرفته در شبکه توزیع برق ایران

سیستم اتوماسیون توزیع مطابق تعریف موسسه IEEE سیستمی است که یک شرکت توزیع برق را به نظارت از راه دور، هماهنگ نمودن و اعمال فرمان روی تجهیزات توزیع در زمان حقیقی قادر می‌سازد. اهم قابلیت‌های اتوماسیون توزیع به شرح زیر هستند:

✓ تشخیص محل خطا^۱

✓ ایزوله نمودن خطا^۲

✓ بازیابی سرویس^۳

✓ ترکیب‌بندی مجدد فیدر^۴

✓ کنترل توان راکتیو فیدر^۵

✓ کنترل ولتاژ فیدر^۶

نتایج عمده حاصله از اجرای سیستم اتوماسیون توزیع به شرح زیر است:

✓ به تعویق انداختن سرمایه‌گذاری لازم

✓ کاهش هزینه‌های بهره‌برداری

✓ افزایش قابلیت اطمینان سرویس‌دهی

✓ ارائه سرویس بهتر به مشترکین

✓ افزایش نظارت روی شبکه

محدوده اتوماسیون توزیع در ایران از شینه فشار متوسط در پست فوق توزیع تا شینه فشار ضعیف پست فشار متوسط را شامل می‌شود.

چشم‌انداز توسعه فناوری اتوماسیون پیشرفته در شبکه توزیع برق به شرح ذیل هست:

¹ Location Fault

² Isolation Fault

³ Service Restoration

⁴ Feeder Reconfiguration

⁵ Feeder Reactive Power Control

⁶ Feeder Control Voltage

"در سال ۱۴۰۴، شرکت‌های توزیع برق کشور به هدف افزایش کیفیت سرویس‌دهی به مشترکین و قابلیت اطمینان ارائه‌ی خدمات از طریق متناسب‌سازی شدت اتوماسیون در شبکه با در نظر گرفتن شاخص شدت اتوماسیون حداقل برابر با ۱.۵ برای کل کشور و همچنین کاهش تلفات شبکه نسبت به کشورهای پیشرفته در زمینه‌ی صنعت برق دست‌یافته‌اند".

در این سند اهداف توسعه فناوری به این شرح عنوان شده است:

- کاهش مدت خاموشی
- کاهش تلفات
- تأمین ولتاژ استاندارد
- کاهش هزینه‌های بهره‌برداری

همچنین در این سند راهبردهای توسعه فناوری به این شرح عنوان شده است:

فناوری‌های اولویت‌دار برای توسعه اتوماسیون توزیع با توجه به عملکردشان به شرح زیر قابل دسته‌بندی می‌باشند:

- ✓ اسکادا، پروتکل ارتباط بین مراکز، پروتکل ارتباط با پایانه راه دور، DMS¹
- ✓ حسگر جریان، حسگر ولتاژ، مقره اندازه‌گیری ولتاژ و جریان
- ✓ سکشنالایزر، ریکلوزر
- ✓ IED²

در اکثر کشورهای پیشرفته شاخص اتوماسیون توزیع میزان شدت اتوماسیون^۳ (AIL) هست. این شاخص عبارت از تعداد متوسط کلیدهای موردنیاز برای اتوماسیون تمامی فیدرها هست.

در گزارش سند مذکور، تعداد کل فیدرهای زمینی و هوایی پست‌های توزیع در شرکت‌های توزیع کشور در سال ۱۳۹۱، ۱۱.۵۰۵ ذکر شده است. بنابراین در حوزه ارتباطات و ایجاد زیرساخت ارتباطی نیاز است که برای رسیدن به شاخص شدت اتوماسیون طرح‌شده در این سند، هر فیدر، مجهز به مودم و بستر ارتباطی باشد.

راهبرد توسعه فناوری اتوماسیون توزیع در کشور راهبردی اقدام محور و اشاعه‌گرا هست. در راهبرد اقدام محور هدف دستیابی به فناوری در کوتاه‌ترین زمان ممکن و با بهره‌گیری از تجارب کشورهای پیشرو هست. در راهبرد اشاعه‌گرا، هدف اکتساب، انتشار و پراکندن قابلیت فناورانه در محیط صنعت و کم کردن شکاف توانمندی‌های موجود و مرزهای فناورانه می‌باشد. لذا راهبرد توسعه فناوری اتوماسیون توزیع در شبکه برق کشور ترکیبی از «همکاری فناورانه» و «خرید فناوری» خواهد بود.

¹ Distribution Management System

² intelligent electronic device

³ Automation Intensity Level

در زمان نگارش این گزارش، پروژه بازنگری سند اتوماسیون پیشرفته در دست اقدام است و هنوز نهایی نشده به همین دلیل به بررسی گزارش اولیه سند [۲] بسنده شده است.

۳-۳- خودروی برقی و ایستگاه‌های شارژ

چشم‌انداز توسعه فناوری زیرساخت خودرو برقی [۳] به این شرح هست:

"با اتکا به خداوند متعال و با مشارکت تمامی ذینفعان در یک دوره ده‌ساله و با توجه به سیاست‌های کلان اقتصاد مقاومتی در جهت دستیابی به محیط‌زیست پاک و بهبود کیفیت زندگی مردم، حوزه فناوری زیرساخت خودروی برقی جمهوری اسلامی ایران حوزه‌ای است :

- دستیابی به فناوری موردنیاز ایستگاه‌های شارژ و تهیه زیرساخت لازم برای تأمین انرژی موردنیاز خودروهای برقی در قالب ۲۵۰۰ ایستگاه شارژ در راستای اهداف ملی نقشه راه خودرو برقی در افق

۱۴۰۴

- مبتنی بر توانمندی داخلی با تکیه بر ساختاری منسجم و متخصصان توانمند و خلاق و نیروی فنی ماهر"

اهداف توسعه فناوری در این سند به این شرح تعیین شده است:

اهداف تعیین شده برای تحقق چشم‌انداز این سند به شرح زیر هست:

- دستیابی به فناوری‌های اصلی خودروی برقی و ایستگاه‌های شارژ در کشور
- بومی‌سازی و توسعه فناوری‌های ایستگاه‌های شارژ خودروی برقی
- افزایش توان ظرفیت کشور و به‌طور خاص وزارت نیرو در پشتیبانی تأمین انرژی موردنیاز خودروهای برقی
- کاهش سهم حمل‌ونقل در میزان آلودگی هوا، شدت مصرف انرژی و هزینه‌های مصرف سوخت فسیلی

بعد از تعیین اهداف توسعه فناوری، راهبردها، سیاست‌ها و اقدامات اصلی تعیین شده است و لیست پروژه‌ها و طرح‌ها در این سند ارائه شده است؛ یکی از این طرح‌ها، طرح کنترل مانیتورینگ ایستگاه‌های شارژ عمومی و خصوصی هست. بدیهی است که برقراری زیرساخت مخابراتی و ارتباطی انتقال داده در ایستگاه‌های شارژ به‌عنوان پیش‌نیاز طرح کنترل مانیتورینگ مطرح هست که با توجه به چشم‌انداز سند برای ۲۵۰۰ ایستگاه شارژ، ارتباط با مراکز کنترل و همچنین با سایر ایستگاه‌های شارژ (که توپولوژی آن به طرح کنترلی و مانیتورینگ بستگی دارد) باید برقرار شود. در مورد الزامات و فناوری ارتباطاتی ردوبدل شدن پیغام بین خودرو برقی به ایستگاه شارژ در این سند اشاره‌ای نشده است لکن پروژه‌ای برای شناسایی معماری کنترلی و ارتباطی ایستگاه شارژ، خودروبرقی و شرکت توزیع در این سند در حال انجام هست.

همان‌طور که در گزارش مرحله اول نیز اشاره شد شبکه ارتباطی موردنیاز خودروها که با عنوان $V2X^1$ شناخته می‌شود را می‌توان در شاخه‌های زیر موردبررسی قرارداد:

- ارتباطات خودرو با کاربر و با افراد پیاده: تعامل خودرو با کاربر آن به‌عنوان ارتباط اولیه و اصلی و همچنین ارتباط با انسان‌ها در محدوده تردد خودرو (افراد پیاده و یا دوچرخه‌سوار) که $V2P^2$ نام‌گذاری شده است، از اهمیت بالایی برخوردار هستند.
- ارتباط بین خودرو برقی و ایستگاه شارژ: خودرو برقی به اطلاعاتی از ایستگاه شارژ از جمله نمونه‌های شارژ قابل‌ارائه، هزینه انواع شارژ و تغییرات قیمت در زمان، نیازمندی و قیمت بازار برق جهت فروش (دشارژ) انرژی، انواع سرویس‌های موجود در ایستگاه شارژ و سطح رضایت‌مندی مشتریان از ایستگاه شارژ نیازمند است. همچنین در زمان توقف خودرو در ایستگاه شارژ، تعاملی مابین خودرو برقی و کنترل‌کننده ایستگاه شارژ موردنیاز است. اطلاعاتی چون سطح شارژ خودرو و زمان باقیمانده تا شارژ کامل به‌صورت متناوب باید بین واحدهای کنترلی ارسال شود.
- تبادل اطلاعات بین خودرو و زیرساخت مدیریت شهری ($V2I^3$): این گروه تعامل هر نوع خودرو با سیستم‌هایی مانند دوربین‌ها، پارکینگ‌ها و ایستگاه‌های اطلاع‌رسانی را شامل می‌شود. به اشتراک گذاشتن اطلاعات در این گروه در دو جهت انجام می‌شود: الف) ارسال داده از خودرو به زیرساخت نظارت شهری جهت جمع‌آوری داده مکان و سرعت متوسط حرکت خودرو، چگونگی استفاده کاربر از خودرو (مانند مسافت طی شده، میزان حرکت در ترافیک و با سرعت کم، میانگین سرعت) و ب) ارسال اطلاعات و اطلاع‌رسانی از طرف مدیریت شهری به خودروها شامل اعلام شرایط جاده‌ها، ترافیک و تصادفات، محل‌های پارک خودرو، هدایت به ایستگاه شارژ و مکان نزدیک‌ترین آن‌ها، تعداد مکان‌های شارژ خالی در ایستگاه‌های شارژ منطقه (و نزدیک‌ترین آن‌ها).
- تبادل اطلاعات مابین خودروها: شبکه خودرو-به-خودرو ($V2V^4$) عبارت است از ارتباط خودروها که با کمک ایستگاه پایه و یا به‌صورت ارتباط مستقیم به تعامل می‌پردازند. اهداف اصلی از این ارتباط، کنترل ترافیک، استفاده بهینه از زیرساخت‌های شارژ خودرو و تبادل انرژی بین خودروها (برای خودروهای برقی) است. در این حالت، خریدوفروش انرژی بین دو خودرو با توجه به قیمت روزانه برق انجام می‌شود.

در میان این چهار دسته ارتباطات خودرو، ارتباط خودرو برقی با ایستگاه‌های شارژ مرتبط با صنعت برق هست و سایر ارتباطات به سایر حوزه‌ها مانند حمل‌ونقل یا شهرداری مرتبط است. در مورد پیش‌بینی

¹ Vehicle to Everything

² Vehicle to Pedestrian

³ Vehicle to Infrastructure

⁴ Vehicle to Vehicle

تعداد خودروهای برقی متصور در سند صحبتی نشده است و فقط به تعداد ۲۵۰۰ ایستگاه شارژ بسنده شده است

۴-۳- سند پایایی در شبکه‌ی برق ایران

تأمین انرژی الکتریکی مطلوب، باکیفیت و با پایایی بالا همراه با هزینه‌های معقول نقش بسزایی در رشد و توسعه اقتصادی و اجتماعی هر کشور خواهد داشت. تدوین نقشه راه توسعه پایایی در شبکه برق ایران امری حیاتی است که در این سند مورد توجه قرار گرفته است. چشم‌انداز این سند [۴] به این شرح است:

" با اتکال به خداوند متعال و به‌منظور زمینه‌سازی برای بهبود سطح زندگی مردم در بعد تأمین برق و دستیابی به شبکه‌ای ایمن، مطمئن، پایدار و هماهنگ با محیط‌زیست، صنعت برق کشور در حوزه پایایی در افق ۱۴۰۴ صنعتی است:

- مبتنی بر تفکر "پایایی محور" در سیاست‌گذاری‌ها و تصمیم‌گیری‌ها
 - برخوردار از نظام سیاست‌گذاری و مدیریت پایایی قدرتمند، مستقل و دانش‌محور
 - بهره‌مند از تجهیزات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری و همچنین دانش مورد نیاز جهت انجام مطالعات پایایی
 - دارای نیروی انسانی کارآمد جهت ارائه خدمات فنی و مهندسی مرتبط با پایایی در شبکه قدرت
- اهداف تعیین‌شده برای تحقق چشم‌انداز این سند به شرح زیر هست:

- ✓ بهبود نظام برنامه‌ریزی تأمین و حفظ پایایی
 - ✓ بهبود تعاملات اثرگذاران و نهادهای حاکمیتی بر پایایی
 - ✓ توسعه، تکمیل و بهبود نظام‌مند مجموعه استانداردها و دستورالعمل‌های مربوط به پایایی
 - ✓ توسعه و بهبود نظام چرخه اطلاعات پایایی، نحوه دسترسی و شفافیت اطلاعات
 - ✓ توسعه و بهبود نظام پیش‌بینی و ریشه‌یابی حوادث در شبکه برق کشور
 - ✓ ساماندهی مدیریت دانش و بهبود نظام‌مند دانش پایایی و مهارت اثرگذاران
 - ✓ توسعه، تکمیل و بهبود مقررات ناظر بر مدیریت پایایی شبکه برق کشور
 - ✓ بهبود نظام پایش و نظارت بر اجرای مقررات پایایی در صنعت برق کشور
- در ادامه در این سند با معرفی راهبردها، اقدامات و سیاست‌های توسعه فناوری به ذکر خوشه طرح‌ها و پروژه‌ها پرداخته شده است که با بررسی طرح‌ها و پروژه‌ها، فعالیت‌هایی که نیاز به زیرساخت ارتباطی دارند به این شرح هست:

- طرح اجرایی بررسی سیستم‌های اطلاعاتی و طراحی سیستم یکپارچه و جامع مدیریت اطلاعات
- حوادث تجهیزات، خاموشی‌ها و برنامه‌های تعمیر، نگهداری و بهره‌برداری با در نظر گرفتن سیستم‌های اطلاعاتی موجود

- پروژه توسعه پتانسیل‌های سمت مصرف جهت بهبود پایایی شبکه
 - پروژه امکان‌سنجی توسعه سیستم‌های ناحیه گسترده پایش، حفاظت و کنترل در شبکه برق ایران
- توسعه سیستم‌های ناحیه گسترده پایش، حفاظت و کنترل طبیعتاً نیاز به برقراری زیرساخت ارتباطی و اطلاعاتی دارد. محدوده و مقیاسی برای توسعه این سیستم‌ها در سند ذکر نشده است.
- در حال حاضر در صنعت برق کشور، این سیستم‌ها در حوزه انتقال به‌صورت بسیار محدود و عمدتاً بر بستر فیبر نوری در حال بهره‌برداری می‌باشند. همچنین یکپارچه‌سازی سیستم‌های اطلاعاتی موجود نیاز به ایجاد بسترهای جدید ارتباطی بین مراکز کنترل دارد.

۵-۳- پایش سلامت سازه‌های صنعت برق

سازه‌های صنعت برق به لحاظ شرایط کارکرد خود جزء سازه‌های خاص و در معرض شرایط محیطی و کاری خاص می‌باشند که احتمال وقوع خرابی‌های پیش‌بینی‌نشده را در مورد آن‌ها (نسبت به سایر سازه‌ها) افزایش می‌دهد. بسیاری از آسیب‌های ایجادشده در سازه‌های صنعت برق، با اجرای یک برنامه مناسب مدیریت نگهداری، پیش از رسیدن به مراحل بحرانی قابل تشخیص و رفع می‌باشند. بدین ترتیب می‌توان از وقوع خسارات گسترده ناشی از فروپاشی و خرابی کلی سازه‌ها جلوگیری نمود. سامانه مدیریت نگهداری نیازمند وجود یک سیستم پایش جهت جستجو و تشخیص آسیب‌های جزئی و اقدام جهت رفع آن‌ها هست. بر این اساس، توسعه فناوری‌های مرتبط با پایش سلامت سازه‌ها در صنعت برق به‌منظور بهینه‌سازی مدیریت نگهداری و کاهش هزینه‌های مربوط به نگهداری و تعمیرات و جلوگیری از خسارات ناشی از وقوع خرابی‌های پیش‌بینی‌نشده در آن‌ها، موردنیاز می‌باشد.

سیستم‌های پایش و تشخیص خرابی می‌توانند شامل سیستم‌های ساده نظیر بازرسی چشمی و ارزیابی‌های غیر مخرب تا فناوری‌های پیشرفته پایش سلامت سازه یا به‌اختصار، SHM¹ باشند. پایش سلامت سازه (SHM) به‌طورکلی عبارت از مشاهده و ارزیابی وضعیت و شرایط کارکرد سازه به‌صورت بهنگام در طول عمر آن، با استفاده از اطلاعات حاصل از اندازه‌گیری پارامترهای مرتبط با شرایط کارکرد سازه و پردازش آن‌ها، هست. اندازه‌گیری پارامترها و اکتساب اطلاعات موردنیاز با استفاده از شبکه حس‌گرهای نصب‌شده بر روی سازه صورت می‌گیرد. کارکرد اصلی سیستم پایش سلامت سازه، جستجو، کشف و آشکارسازی آسیب‌های موضعی و اقدام جهت رفع آن‌ها، باهدف جلوگیری از وقوع خرابی کلی ناشی از گسترش آن‌ها در سازه می‌باشد.

¹ Structural Health Monitoring

موضوع اصلی این سند، پایش سلامت سازه (SHM) هست؛ پایش سلامت سازه، ابزاری جهت تشخیص وجود خرابی‌های جزئی در سازه با اهداف اجرای استراتژی نگهداری و تعمیرات پیش‌گویانه مبتنی بر شرایط بوده و نقشی همانند پایش وضعیت تجهیزات را، در مورد سازه‌ها ایفا می‌کند.

در روش نگهداری تعمیرات پیش‌گویانه، روش‌های مختلفی برای رصد خرابی‌های جزئی در اجزای مختلف وجود دارد که طیف وسیعی از روش‌های ساده (بازرسی با استفاده از حواس انسان) تا روش‌های پیچیده‌تر شامل انجام ارزیابی‌های غیر مخرب^۱ (NDE) و یا تکنیک‌های پایش وضعیت^۲ (CM) را در برمی‌گیرد.

چشم‌انداز توسعه فناوری پایش سلامت سازه‌های صنعت برق به شرح ذیل هست:

"با اتکا به خداوند متعال و مجاهدت ملی، جمهوری اسلامی ایران در افق ۱۴۰۴ در راستای سند چشم‌انداز بیست‌ساله خود، با تأکید بر خوداتکایی، ارتقای سطح رفاه اجتماعی و با بهره‌گیری از دانش پیشرفته و مبتنی بر نیروی انسانی بومی و ضمن توجه به مقوله حفظ محیط‌زیست، شناسایی مشخصات آسیب‌ها و ارائه راهکارهای کاهش آثار آن‌ها را در کمترین زمان و بیشترین دقت ممکن با استقرار سیستم پایش سلامت سازه در بخش‌های تولید، انتقال و توزیع در پهنه جغرافیایی کشور به‌منظور کمک به افزایش پایایی حفظ کیفیت و کاهش هزینه‌های نگهداری شبکه برق دنبال می‌کند."

اهداف تعیین‌شده برای تحقق چشم‌انداز این سند [۵] به شرح زیر هست:

✓ کاهش سالیانه خرابی‌های سازه‌های تولید، انتقال و توزیع به میزان حداقل ۵ درصد نسبت به سال پایه

✓ افزایش طول عمر سازه‌های تولید، انتقال و توزیع به میزان حداقل ۱۰ الی ۳۰ درصد متناسب با شرایط محیطی

✓ افزایش قابلیت اطمینان و پایایی شبکه با به حداقل رساندن خرابی سازه‌ها

✓ تأمین زیرساخت‌های نرم‌افزاری و سخت‌افزاری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

✓ افزایش سطح سازگاری زیست‌محیطی سازه‌های صنعت برق

در حوزه اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت در سازه‌های اولویت‌دار صنعت برق در کشور، اقدامات زیر در این سند تعیین‌شده است:

➤ اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۲۰ واحد از نیروگاه‌های

بخاری در کشور به ترتیب اولویت

➤ اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۲۰ واحد از نیروگاه‌های

چرخه ترکیبی در کشور به ترتیب اولویت

¹ Non Destructive Evaluation

² Condition Monitoring

- اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۲۰ واحد از نیروگاه‌های گازی در کشور به ترتیب اولویت
 - اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۲۰ عدد از توربین‌های بادی در کشور به ترتیب اولویت
 - اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۵٪ از خطوط انتقال در کشور به ترتیب اولویت
 - اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۲۵٪ از پست‌های انتقال در کشور به ترتیب اولویت
 - اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۵٪ از خطوط فوق توزیع در کشور به ترتیب اولویت
 - اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۱۰٪ از پست‌های فوق توزیع در کشور به ترتیب اولویت
 - اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۱٪ از خطوط توزیع در کشور به ترتیب اولویت
 - اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۱٪ از پست‌های توزیع در کشور به ترتیب اولویت
- همچنین در مفاد اجرای سند میزان استفاده از تکنیک‌های پایش وضعیت معلوم نشده است. این عوامل بر روی مقیاس زیرساخت ارتباطی تأثیرگذار است.

۳-۶- فناوری‌های نوین حفاظت در شبکه ایران

سیستم‌های حفاظتی نقش بسیار مهمی را در پایداری شبکه عهده‌دار هستند. در صورتی که خطایی به‌موقع از روی سیستم برداشته نشود این امر ممکن است موجب از دست رفتن همزمانی شبکه شود. نتیجه این امر خاموشی کل شبکه خواهد بود که تبعات منفی بسیار زیادی بر جامعه چه از نظر اقتصادی و چه از نظر اجتماعی تحمیل می‌کند.

چشم‌انداز توسعه فناوری حفاظت در شبکه ایران [۶] به این شرح هست:

"با اتکال به خداوند متعال و به پشتوانه توانمندی متخصصان کشور و با توجه به سیاست‌های اقتصاد مقاومتی در جهت دستیابی به شبکه‌ای ایمن، مطمئن و پایدار، جمهوری اسلامی ایران در حوزه دانش و فناوری‌های حفاظت در شبکه قدرت طی مدت ده سال کشوری خواهد بود:

- برخورداری از توانمندی صنعتی داخلی قابل‌رقابت در بخش توزیع

- برخوردار از رویکردهای نوین و دانش روز دنیا در زمینه طراحی و بهره‌برداری سیستم‌های حفاظتی
 - برخوردار از زیرساخت‌های اساسی توسعه دانش و فناوری‌های تجهیزات حفاظت
 - برخورداری از نیروی انسانی کارآمد در بهره‌برداری از تجهیزات حفاظتی در شبکه قدرت"
- از اهداف این سند می‌توان به آمادگی صنعت برق برای تأمین حداقل ۵۰ درصد نیاز شبکه توزیع کشور و آمادگی صنعت برای تأمین تا حداقل ۵ درصد نیاز شبکه فوق توزیع و انتقال کشور اشاره کرد.
- در بخش اقدامات توسعه فناوری به حمایت از تولید و بهره‌برداری ¹PMU اشاره شده است؛ از آنجایی که ارسال و دریافت داده‌های PMU به/از مراکز پایش شبکه نیاز به برقراری زیرساخت ارتباطی دارد نیاز است که مقیاس اجرا و بهره‌برداری از PMU در برنامه توسعه مشخص شود. با بررسی سند مذکور، بحث حمایتی از تولید و بهره‌برداری PMU مطرح شده است و در مقوله اجرای PMU به موضوعات ذیل بسنده شده است:
- استخراج انواع کاربردهای امکان‌پذیر برای PMU
 - امکان‌سنجی کاربردهای PMU در چارچوب برنامه بلندمدت شرکت مدیریت شبکه
 - امکان‌سنجی جنبه‌های مختلف PMU با توجه به پتانسیل نصب در شبکه توزیع.

۷-۳- مدیریت بارهای سرمایشی و روش‌های کاهش مصرف انرژی در سیستم‌های سرمایشی

هدف از تهیه و تدوین این طرح کلان، تعیین و تدوین سیاست‌های مناسب میان‌مدت و بلندمدت توسعه فناوری‌های مدیریت بارهای سرمایشی در کشور برای ساختمان‌ها با در نظر گرفتن ویژگی‌های اقلیمی، فنی، اقتصادی و اجتماعی کشور و با توجه به تجربیات کشورهای دیگر در این زمینه در قالب این طرح کلان هست که نتایج آن قابل‌ارائه به حوزه‌های سیاست‌گذاری همانند وزارت نیرو و سازمان نظام‌مهندسی و یا شهرداری‌ها و سایر دستگاه‌های اجرایی جهت نظام‌مند شدن به‌کارگیری دستگاه‌های سرمایشی در ساختمان‌ها است.

چشم‌انداز این سند [۷] به این شرح هست:

"با الهام از اهداف سند چشم‌انداز وزارت نیرو در افق ۱۴۰۴ و در راستای صیانت از سرمایه‌های ملی، افزایش کارایی و صرفه‌جویی در مصرف انرژی، با به‌کارگیری و توسعه داخلی فناوری‌های سرمایشی راندمان بالا و بهبود عملکرد حرارتی ساختمان، تقاضای برق موردنیاز سیستم‌های تهویه مطبوع در ساختمان کاهش و راندمان سیستم‌های فوق در کشور تا حد استانداردهای جهانی ارتقا خواهد یافت."

مدیریت بارهای سرمایشی به‌عنوان یکی از اهداف این سند مطرح شده است. همانند سایر اسناد، در این سند نیز راهبردها، سیاست‌ها، اقدامات توسعه فناوری و طرح‌ها و پروژه‌های منتج آن ارائه شده است؛ پروژه‌های مرتبط با حوزه ارتباطات در این سند به این شرح هست:

¹ phasor measurement unit

✓ تحقیق و توسعه، طراحی، ساخت پایلوت و تجاری‌سازی BMS¹ یکپارچه سیستم‌های سرمایه‌گذاری؛
 ✓ طراحی و توسعه دستیابی دیسپاچینگ به سیستم کنترلی سیستم‌های سرمایه‌گذاری ساختمان‌های بزرگ برای کاهش بار در فصل گرم؛
 همان‌طور که قابل‌مشاهده است در این سند اشاراتی به مدیریت مصرف بار شده است لکن در مورد مقیاس موردنظر آن برای توسعه و ارتقای مدیریت مصرف بار مطلبی ذکر نشده است و بیشتر در این سند بر روی فناوری‌های پربازده سرمایه‌گذاری تمرکز شده است.

۸-۳- ارتقای سطح رضایتمندی مشترکین صنعت برق ایران

کسب رضایتمندی هدف نهایی صنایع مختلف به شمار می‌رود و عدم دستیابی به این هدف از بخشی کل اقدامات و فعالیت‌های صورت گرفته در این حوزه را مخدوش می‌سازد. لذا تلاش جهت کسب رضایت مشترکین از طریق ارائه محصولات و خدمات موردنظر وی در ابعاد گوناگون کمی و کیفی از اهمیت بسزایی برخوردار هست.

چشم‌انداز این سند [۸] به این شرح است:

" با الهام از سند چشم‌انداز بیست‌ساله توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی کشور، نقشه جامع علمی کشور در راستای سند چشم‌انداز وزارت نیرو و به‌منظور ارتقای سطح رضایت مشترکین برق کشور، در افق ۱۴۰۴ با تکیه بر توانمندی‌های داخلی و متخصصان کارآمد و خلاق در حوزه علوم انسانی و فنی به انتظارات مشترکین برق کشور پاسخگویی مناسب نماید. به‌طوری‌که در کلیه شاخص‌های مرتبط به این حوزه در منطقه دارای جایگاه برتر باشد".

اهداف تعیین‌شده سند راهبردی برای تحقق چشم‌انداز این سند برآورده سازی انتظارات مشترکین برق کشور در موارد زیر هست:

- قیمت مناسب برق
- تداوم برق و کاهش خاموشی
- کیفیت مناسب برق
- پاسخگویی و برخورد مناسب با مشترکین
- تضمین ایمنی مشترکین و تجهیزات آنان
- کاهش آلاینده‌های محیط زیستی صنعت برق

¹ building management system

پس از ارائه راهبردها در این سند پروژه‌های اجرایی معرفی شد است که در بین آن‌ها پروژه‌هایی که مستقیم یا غیرمستقیم مرتبط با بحث ارتباطات می‌باشند به شرح زیر است:

- طراحی و استقرار سیستم مدیریت دارایی بخش توزیع برق کشور
 - اصلاح یا توسعه و استقرار سیستم‌های اتوماسیون و مکانیزاسیون (سیستم‌های اطلاعاتی و ارتباطاتی) مربوط به فعالیت‌های خدمات مشترکین شرکت‌های توزیع برق کشور
 - مهندسی مجدد فرآیندهای خدمات مشترکین شرکت‌های توزیع برق به منظور ارتقای سطح خدمات عرضه برق به مشترکین
 - طراحی و توسعه پورتال ارتباط با مشترکین به منظور دسترسی سریع و اثربخش به درخواست‌های مشترکین
 - استقرار نظام مدیریت دانش در شرکت‌های توزیع برق
- همان‌طور که قابل مشاهده هست در این سند، استقرار سیستم مدیریت دارایی بخش توزیع برق کشور مورد توجه قرار گرفته است. در این حوزه، سناریوهای عملیاتی می‌توانند از مکانیزاسیون و برقراری زیرساخت ارتباطی در مقیاس وسیع استفاده کنند.

۹-۳- سند راهبردی و نقشه‌ی راه (توسعه‌ی) فناوری‌های نوین بهره‌برداری، نگهداری و

تعمیرات نیروگاه‌ها

اسناد بالادستی حوزه تولید برق بر ضرورت توجه مضاعف به موضوع بهره‌برداری، نگهداری و تعمیرات تأکید دارد. علاوه بر این برخی از شاخص‌های کمی نظیر افزایش بازده نیروگاه‌های حرارتی حداقل به میزان یک درصد و رساندن به بازده ۴۱ درصد تا پایان برنامه پنجم توسعه نیز حوزه بهره‌برداری و تعمیرات را متأثر نموده است. در این راستا، عرضه برق مطمئن، پایا و باکیفیت مناسب در حد استانداردهای جهانی به همراه کاهش هزینه‌های تمام‌شده تولید برق از جمله سرفصل‌های مورد تأکید در این زمینه هست.

چشم‌انداز سند توسعه فناوری‌های نوین بهره‌برداری، نگهداری و تعمیرات نیروگاه‌ها [۹] به این شرح هست: "با الهام از اهداف سند چشم‌انداز وزارت نیرو در افق ۱۴۰۴ و در راستای تأمین مطمئن و اقتصادی انرژی الکتریکی، حوزه بهره‌برداری، نگهداری و تعمیرات نیروگاه‌های حرارتی بخش تولید صنعت برق دارای نظام مدون مبتنی بر رویکرد مدیریت دارایی‌های فیزیکی در تراز بین‌المللی بوده و کشور در به‌کارگیری و بومی‌سازی فناوری‌های این حوزه توانمند خواهد بود".

"تحقق تعالی بهره‌برداری، نگهداری و تعمیرات مبتنی بر رویکرد مدیریت دارایی‌های فیزیکی در بخش تولید صنعت برق متناسب با بهره‌برداری، نگهداری و تعمیرات در تراز بین‌المللی"، یکی از اهداف توسعه فناوری در

این سند هست. همچنین "ایجاد و گسترش ظرفیت‌های به‌کارگیری و بهره‌برداری از فناوری‌های نوین بهره‌برداری، نگهداری و تعمیرات در داخل و خارج از کشور با ایجاد و بهره‌گیری از سازوکارهای مناسب"، هدف دیگری است که در این سند به آن اشاره شده است. در ادامه راهبردها، سیاست‌ها و اقدامات تعیین شده است. "به‌کارگیری رویکرد مدیریت دارایی‌های فیزیکی در بخش تولید صنعت برق" از اقدامات کلان در این سند تعیین شده است و از پروژه‌های مرتبط آن، سه پروژه لیست شده است:

- ایجاد سازوکار لازم برای به‌کارگیری رویکرد مدیریت دارایی‌های فیزیکی در بخش تولید صنعت برق و انجام آن در واحدهای پایلوت

- اجرای مستمر رویکرد مدیریت دارایی‌های فیزیکی در بخش تولید صنعت برق

- ارزیابی عملکرد پس از انجام طرح به‌کارگیری رویکرد مدیریت دارایی‌های فیزیکی در بخش تولید صنعت برق و تعیین اقدامات اصلاحی به این منظور

با بررسی این سند به نظر می‌رسد مقوله مدیریت دارایی در بخش تولید هنوز در فاز ایجاد سازوکار هست و مقیاس وسیعی برای اجرای آن در بخش تولید در سالی که سند تدوین شده است وجود نداشته است.

۱۰-۳- فناوری‌های نوین پایش و کنترل خوردگی در صنعت برق ایران (تولید، انتقال و توزیع)

پدیده‌ی خوردگی یکی از مهم‌ترین عوامل تخریب تجهیزات در صنایع مختلف کشور از جمله صنعت برق است و منجر به وارد آمدن خسارات عظیم مالی به این صنعت می‌گردد. این خسارت‌ها شامل خسارت‌های مربوط به تعمیر و تعویض قطعات خورده شده و عدم بهره‌دهی مناسب سیستم موردنظر (نیروگاه تولید برق، خط انتقال، شبکه‌ی توزیع و ...) می‌باشد. با وجود مشکلات اساسی که خوردگی در صنعت برق کشور دارد، متأسفانه هنوز در کشور برای کنترل و مدیریت آن به‌صورت زیربنایی و سیستماتیک اقدام نشده است. به همین دلیل همه‌ساله هزینه‌های گزافی، به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم به واحدهای عملیاتی و مجتمع‌های صنعتی تحمیل می‌شود. از آنجاکه وسعت، عمق حوادث و صدمات جانبی و هزینه‌های مالی ناشی از آن برآورد نشده و درجایی منعکس نشده است، بنابراین مدیران و مسئولان برای پیشگیری از تکرار حوادث و خسارات مشابه عکس‌العمل‌های فنی و مدیریتی کافی ندارند.

با توجه به اهمیت پدیده خوردگی و نقش قابل توجه آن در خرابی‌ها و خسارات ایجادشده، لازمه‌ی حل مشکلات خوردگی در صنعت برق، تدوین سند راهبردی و نقشه راه توسعه‌ی فناوری‌های نوین کنترل خوردگی در صنعت برق ایران است. این سند با عنوان "تدوین سند راهبردی و نقشه راه توسعه فناوری‌های نوین کنترل خوردگی در صنعت برق ایران (تولید، انتقال و توزیع)" در پژوهشگاه نیرو تهیه و تدوین گردید. در این سند با شناسایی فناوری‌های نوین کنترل خوردگی و تهیه‌ی سند چشم‌انداز توسعه‌ی این فناوری‌ها در صنعت برق

ایران، راهبردهای عملی و راهکارهای اجرایی جهت توسعه‌ی این فناوری‌ها در صنعت برق کشور ارائه شد و در نهایت نقشه راه توسعه‌ی فناوری‌های نوین کنترل خوردگی در صنعت برق ایران تهیه گردید. چشم‌انداز این سند به این شرح هست:

"با اتکا به خداوند متعال و مجاهدت ملی، صنعت برق کشور در راستای تحقق سند چشم‌انداز بیست‌ساله خود، با تأکید بر خوداتکایی و با بهره‌گیری از دانش پیشرفته و مبتنی بر نیروی انسانی بومی، ضمن توجه به مقوله حفظ محیط‌زیست، به دانش فنی و توانمندی ساخت و بهره‌برداری از روزآمدترین فناوری‌های کنترل خوردگی به‌منظور کمک به تولید، انتقال و توزیع پایدار برق و حفظ سرمایه‌های ملی و حداقل هزینه‌های صنعت برق دست خواهد یافت".

در این سند اهداف توسعه [۱۰] به شرح زیر عنوان شده است:

- بهبود حداقل ۱ درصدی راندمان فعلی نیروگاه‌ها
 - کاهش ۱۰ درصدی تلفات ناشی از خوردگی در شبکه انتقال و توزیع
 - کاهش حداقل ۱۵ درصدی هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم ناشی از خوردگی
 - کاهش حداقل ۲۵ درصدی هزینه‌های مربوط به نگهداری و تعمیرات قطعات و تجهیزات
 - افزایش حداقل ۱۵ درصدی نسبت طول عمر واقعی به طول عمر اسمی تجهیزات
 - کاهش حداقل ۱۰ درصدی خروج‌های اضطراری نیروگاه‌ها
 - کاهش حداقل ۱۰ درصدی حوادث و خاموشی‌های ناشی از خوردگی تجهیزات و قطعات
- در ادامه در بخش راهبردهای این سند، مباحث پایش و بازرسی میزان خوردگی لوله‌های انتقال آب، بویلر، دودکش، قطعات مسیر داغ توربین‌های گازی، سیستم‌های خنک‌کننده (اصلی و فرعی)، کندانسورها و سازه‌های بتنی تعیین شده است. در بخش سیاست‌ها و اقدامات، مواردی چون توسعه‌ی فناوری‌های بازرسی فنی و پایش خوردگی در تجهیزات با اولویت صنعت برق وجود دارند. با بررسی پروژه‌های ذیل این سند مشخص شد که پایش تجهیزات صرفاً به فناوری‌های ابزار دقیق اندازه‌گیری اشاره دارد و استفاده از شبکه‌های ارتباطی برای انتقال داده‌ها مانند شبکه حسگر بی‌سیم در این سند موردنظر نبوده است. بنابراین هنوز بحث پایش خودکار خوردگی در صنعت برق کشور، مفهوم نوینی است که تا رسیدن به مرحله اجرا فاصله دارد.

۱۱-۳- سند تحول دیجیتال

به گزارش مرکز روابط عمومی و اطلاع‌رسانی وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات، در تیرماه سال ۱۳۹۷، وزیر ارتباطات و فناوری اطلاعات و وزیر نیرو سند اقدام مشترک دو وزارتخانه را امضا کردند. بر اساس این سند که برای توسعه کاربردهای فناوری‌های نوین ارتباطات و فناوری اطلاعات در صنعت آب و برق تهیه و تدوین شده،

- ایجاد ۱۰۰ هزار فرصت شغلی در بستر ICT و در قالب ۲۰ هزار شرکت کسب‌وکار نوپا، هزار شرکت متوسط، یکصد شرکت بزرگ و پنج شرکت بین‌المللی پیش‌بینی شده است.
- در این سند با مشخص شدن شاخص‌های رسیدن به اهداف در بخش‌های مختلف، اجرا، مدیریت و نظارت کلان آن بر عهده معاونت‌های تخصصی مربوط در دو وزارتخانه خواهد بود و مجریان توسط شرکت‌ها و سازمان‌های ذی‌ربط در دو وزارتخانه معرفی می‌شوند [۱۱].
- موارد ذیل را می‌توان از دستاوردهای اجرای این سند ذکر کرد [۱۲].
- ایجاد فرصت‌های شغلی و افزایش سرمایه‌گذاری بخش غیردولتی در حوزه ارتباطات و فناوری اطلاعات صنعت آب و برق،
 - بهبود شاخص‌های عملکرد صنعت آب و برق با به‌کارگیری فاوا،
 - توسعه هوشمند سازی،
 - افزایش ارائه خدمات الکترونیکی در حوزه آب و برق،
 - کاهش میزان مصرف آب و برق و
 - توسعه خدمات مخابراتی و انتقال داده با استفاده مشترک از زیرساخت‌های وزارت نیرو و وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات
- در حال حاضر، نقشه راه اجرایی تحول دیجیتال در صنعت برق در مرکز تحول دیجیتال پژوهشگاه نیرو در حال تدوین هست.

۱۲-۳- جمع‌بندی

در ادامه بررسی اسناد بالادستی در زمینه هوشمندی شبکه برق، اسناد توسعه فناوری پژوهشگاه نیرو مورد توجه قرار گرفت. رویکرد بررسی این اسناد، استخراج اسنادی که در آن فناوری اطلاعات و ارتباطات نقش ایفا می‌کند هست. در بررسی این اسناد مشتمل بر چشم‌انداز، اهداف، راهبردها و خلاصه سند تلاش شده است که برنامه‌ریزی انجام‌شده برای ده سال آتی در زمینه توسعه هوشمندی شبکه برق مشخص شود. در بسیاری از این اسناد موضوع پایش وضعیت مطرح‌شده است لکن به فناوری‌های اطلاعاتی و ارتباطاتی آن توجه نشده است که لازم است در بازنگری این اسناد به ابعاد مختلف در زمینه توسعه فناوری توجه شود. همچنین در برخی از این اسناد، برای تعیین گستردگی و مقیاس توسعه فناوری دقت کافی نشده است؛ باین‌وجود تلاش شده است که اطلاعات مرتبط با موضوع فناوری اطلاعات و ارتباطات و شبکه هوشمند از این اسناد استخراج شود. این بررسی می‌تواند در جهت فعالیت‌های آتی برای بازنگری اسناد و یکپارچه‌سازی فعالیت‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات در حوزه‌ها و بخش‌های متفاوت صنعت برق مورد استفاده قرار گیرد.

۱۳-۳- مراجع

- [1] <https://www.nri.ac.ir/Tech-Plan>
- [2] <https://www.nri.ac.ir/Portals/0/28/20%راهدی/توماسیون/20%پیشرفته.pdf>
- [3] <https://www.nri.ac.ir/Portals/0/06/20%راهدی/خودرو/20%برقی.pdf>
- [4] www.nri.ac.ir/Portals/0/20%راهدی/ایایی/Reliability.pdf
- [5] <https://www.nri.ac.ir/Portals/0/13/20%راهدی/اسازه/13.pdf>
- [6] <https://www.nri.ac.ir/Portals/0/19/20%راهدی/حفاظت/19.pdf>
- [7] <https://www.nri.ac.ir/Portals/0/02/20%راهدی/اسرمایشی/02.pdf>
- [8] <https://www.nri.ac.ir/Portals/0/33/20%راهدی/رضایتمندی/33/20%مشترکین.pdf>
- [9] <https://www.nri.ac.ir/Portals/0/20%راهدی/بهره/20%برداری>
 برداری، ۲۰٪، نگهداری، ۲۰٪، کتابچه، ۲۰٪، سند، ۲۰٪، توسعه، ۲۰٪، نظام، ۲۰٪، و، ۲۰٪، فناوری، ۲۰٪، و، ۲۰٪، نقشه، ۲۰٪، راه، ۲۰٪، بهره
 .pdf، ۲۰٪، تعمیرات، ۲۰٪، نیروگاه، ۲۰٪، ها
- [10] <https://www.nri.ac.ir/Portals/0/23/20%راهدی/خوردگی/23.pdf>
- [11] <https://www.ict.gov.ir/ir/newsagency/21613>
 امضای-سند-اقدام-مشترک-وزارت-ارتباطات-و-نیرو-21613
 حرکت-برای-ایجاد-یکصد-هزار-فرصت-شغلی-و-افزایش-بهره-وری-و-کاهش-میزان-مصرف-آب-و-برق
- [12] <https://www.nri.ac.ir/news/ID/2739>

فصل ۴- وضعیت فعلی هوشمند سازی شبکه کشور

۴-۱- مقدمه

آسیب‌شناسی‌ها نشان می‌دهد هوشمندسازی شبکه برق ایران با چالش‌هایی همراه است. تحلیلگران معتقدند به‌رغم پیشرفت‌های کسب‌شده در گسترش تکنولوژی‌های صنعت برق، کاهش چشمگیر منابع مالی و کمبود نقدینگی، هوشمندسازی شبکه برق کشور را با گلوگاه‌هایی مواجه کرده است [۱]. در این فصل، به وضعیت موجود هوشمندی شبکه برق کشور در زیرسیستم‌های قرائت کنتور، مدیریت بار، اتوماسیون توزیع، مناب‌بع تولید پراکنده و بازار برق پرداخته خواهد شد. باوجود تلاش‌های زیاد که انجام شد در زمان تدوین این گزارش، اسناد مدونی در خصوص وضعیت هوشمندی شبکه در کشور یافته نشد و تلاش شد که از اطلاعات موجود در سایت‌های معتبر کشور مطالب موردنظر استخراج شود.

۴-۲- قرائت کنتور

طرح فهام (طرح ملی فراسامانه هوشمند اندازه‌گیری و مدیریت انرژی) یکی از مهم‌ترین اقداماتی است که در راستای هوشمندسازی در دستور کار سیاست‌گذاران قرار گرفته است. طرح فهام از سال ۱۳۸۹ با اخذ مجوز از شورای اقتصاد و سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی به‌عنوان طرح ملی تعریف شد؛ در ابتدا مباحث اولیه برای ۲۰ میلیون مشترک صورت گرفت تا کنتورهای برق آن‌ها هوشمند شود، اما باوجود محدودیت منابع شورای اقتصاد و سازمان برنامه، اعلام شد که این طرح در فاز نخست با تعویض یک‌میلیون کنتور و هوشمند شدن آن‌ها آغاز خواهد شد. نگرانی از نبود زیرساخت‌ها، بحث بومی شدن و عدم تجربه باعث شد در فاز نخست تعویض یک‌میلیون کنتور مطرح شود. باوجوداین، قرار بود این طرح در سال ۱۳۹۳ به پایان برسد و یک‌میلیون کنتور تعویض شود، اما محدودیت منابع مالی باعث شد تنها ۳۰۰ هزار کنتور هوشمند نصب شود که از این تعداد، ۲۰ هزار مشترک خانگی و تجاری، ۶۰ هزار مشترک بخش کشاورزی و مابقی مربوط به مشترکان دیماندی بودند. با استفاده از کنتورهای هوشمند، مشترکان می‌توانند ساعت‌به‌ساعت و دقیقه‌به‌دقیقه، میزان مصرف خود را بررسی و از آن اطلاع پیدا کنند. بنابراین با نصب کنتورهای هوشمند به‌راحتی می‌توان به مدیریت بار شبکه اقدام کرد.

در قانون بودجه سال ۱۳۹۸ نیز اجرای طرح فهام پیش‌بینی و بر اساس این قانون وزارت نیرو موظف شده برای مشترکان پرمصرف کنتور هوشمند نصب کند و هزینه آن را به‌صورت اقساطی روی قبوض آن‌ها دریافت کند.

طبق آخرین آمار، حدود ۵۰۰ هزار کنتور هوشمند برای مشترکان بزرگ نصب شده است که از این تعداد، مشترکان دیماندی بالای ۳۰ کیلووات حدود ۴۰۰ هزار و مشترکان چاه‌های کشاورزی، ۱۱۰ هزار مشترک هست [۲].

بنا به تکلیف قانونی که در بودجه ۹۸ متوجه وزارت نیرو شده بود در تیرماه سال ۹۸، تفاهم‌نامه هوشمندسازی ۵ میلیون کنتور بین توانیر و ساتکا با برنامه زمان‌بندی دوساله امضا شد. اولویت هوشمندسازی کنتورها در این طرح برای مشترکان صنعتی، کشاورزی و مجتمع‌های تجاری است. در حوزه هوشمندسازی کنتورهای مشترکان خانگی، اولویت با مجتمع‌های بزرگ و برج‌هاست و تاکنون کنتور حدود ۱۰۰ هزار مشترک که مجتمع‌های تجاری و خانگی هستند، هوشمندسازی شده است [۱].

علاوه بر مقیاس نصب کنتورهای هوشمند، دقت و تعدد قرائت کنتورها در روز از جمله مسائلی است که بر انتخاب سرویس و تکنولوژی مخابراتی تأثیرگذار هست.

از دید ارتباطات، داده‌های کنتورهای هوشمند برای مورد مصرف AMI به مراکز مدیریت داده (MDM^1) و فرمان‌ها از سیستم مرکزی به کنتورها ارسال می‌شود. سیستم AHE^2 که قبل از مراکز مدیریت داده استقرار می‌یابد وظیفه اعتبارسنجی داده‌های دریافتی از کنتورها را به عهده دارد. همچنین داده‌های کنتور می‌تواند در نقاطی توسط تجمیع کننده داده جمع‌آوری و به‌طور متمرکز برای مراکز AHE ارسال شوند.

مرکز پایش صنعت برق توانیر با ۵ کاربرد اصلی از جمله ابزار حاکمیت هوشمند در صنعت برق، پایش برخط شاخص‌های استراتژیک شرکت‌های زیرمجموعه و پایش مصرف برق، خردادماه جاری در شرکت توانیر افتتاح شده است. این مرکز امکان پایش روزانه و برخط شاخص‌های استراتژیک عملکرد شرکت‌های توزیع و برق منطقه‌ای در مباحث مدیریتی، فنی، مالی، شبکه و مشترکان را برای حاکمیت فراهم می‌سازد و با این ابزار، امکان ارزیابی روزانه و برخط شرکت‌ها از طریق ارتباط مستقیم با سامانه‌های مستقر در این شرکت‌ها فراهم خواهد شد [۳].

۳-۴- پاسخگویی بار

فرایند برقراری تعادل بین تولید برق^۳ با بار الکتریکی در شبکه برق با تنظیم یا کنترل بار به‌جای تنظیم و کنترل خروجی نیروگاه را مدیریت بار گویند [۴].

¹ Meter Data Management

² AMI Head End

³ supply

برنامه‌های مدیریت بار^۱ به دودسته کلی بهره‌وری انرژی^۲ و پاسخگویی بار^۳ تقسیم‌بندی می‌شوند. تفاوت مفهوم بهره‌وری انرژی و پاسخگویی بار به این صورت است که بهره‌وری انرژی بر کاهش عمومی بار با تشویق به استفاده از فناوری‌ها و دستگاه‌های پربازده‌تر متمرکز است درحالی‌که پاسخگویی بار بر کاهش مصرف انرژی در زمان پیک متمرکز است. در برنامه‌های پاسخگویی بار، تغییر مصرف برق توسط مصرف‌کننده‌های نهایی نسبت به میزان الگوی مصرف معمول آن‌ها در پاسخ به یکی از شرایط زیر است [۴]:

- ۱- تغییر قیمت برق در زمان‌های مختلف
 - ۲- پرداخت‌های تشویقی جهت ایجاد انگیزه برای مصرف کمتر در زمان‌های قیمت بالای بازار برق
 - ۳- به خطر افتادن پایایی سیستم
- انواع برنامه‌های پاسخگویی بار به شرح زیر است:
- ۱- برنامه‌های مبتنی بر قیمت
 - تعرفه زمان استفاده^۴
 - تعرفه قیمت‌گذاری پیک بحرانی^۵
 - تعرفه قیمت‌گذاری لحظه‌ای^۶
 - ۲- برنامه‌های مبتنی بر تشویق
 - سرویس‌های قابل قطع/قابل کاهش^۷
 - بهره‌بردار در مقابل کاهش بار در شرایط اضطراری نرخ‌های تخفیف به مصرف‌کنندگان پیشنهاد می‌کند.
 - کاهش بار در این برنامه اجباری است: اگر مصرف‌کنندگان در هنگام تقاضا بار خود را قطع نکنند می‌توانند جریمه شوند.
 - برنامه‌های پاسخگویی بار اضطراری^۸
 - در این برنامه به مصرف‌کنندگان در مقابل کاهش بار خود در شرایطی که قابلیت اطمینان سیستم در معرض خطر است وجه تشویقی یا تخفیف صورتحساب پرداخت می‌شود.

¹ management side-demand

² efficiency Energy

³ Response Demand

⁴ Time-of-Use

⁵ Pricing Peak Critical

⁶ Pricing Time-Real

⁷ tariffs/rates curtailable/Interruptible

⁸ Emergency Demand Response Programs

- کاهش بار در این برنامه اجباری نیست: اگر مصرف‌کننده بار خود را کاهش ندهد جریمه نمی‌شود.
 - کنترل مستقیم بار^۱
 - برنامه‌هایی که بهره‌بردار از راه دور تجهیزات الکتریکی مصرف‌کننده را پس از یک پیش هشدار در مقابل پرداخت یک تشویق یا وجه تخفیف خاموش می‌کند.
 - برنامه‌های بازارهای خدمات جانبی^۲
 - این برنامه‌ها به مصرف‌کننده امکان می‌دهد پیشنهاد قطع بار خود را در بازار برق به‌عنوان رزرو گردان ارائه کند.
 - در صورت نیاز به قطع بار: هشدار توسط ISO^۳ داده می‌شود.
 - ممکن است هزینه کاهش انرژی انجام‌شده با قیمت بازار لحظه‌ای^۴ محاسبه شود
 - برنامه‌های قیمت دهی/بازخريد تقاضا^۵
 - یکی از جدیدترین انواع برنامه‌های مبتنی بر تشویق است که
 - مناسب برای مصرف‌کنندگان بزرگ است
 - در زمان‌هایی که قیمت در حال افزایش است مصرف‌کننده پیشنهاد خود را برای کاهش بار خود به ISO اعلام می‌کند
 - در صورتی که قیمت پیشنهادی مصرف‌کنندگان کمتر از منابع تولیدی باشد پیشنهاد آن‌ها پذیرفته می‌شود.
- در ایران، ضوابط اجرایی برنامه‌های پاسخگویی بار جهت کاهش پیک توسط معاونت محترم امور برق و انرژی وزارت نیرو در سال ۱۳۹۵ تصویب و به توانیر، شرکت‌های برق منطقه‌ای، شرکت‌های توزیع برق و شرکت مدیریت شبکه ابلاغ شده است. این ضوابط برای صنایع، کشاورزی، مشترکین دیماندی، اداری و سایر تدوین شده است و در قالب انعقاد توافق‌نامه بین دو طرف برای بازه زمانی حداکثر سه‌ماهه هست [۵].
- کنترل هوشمند یکی از پیش‌نیازهای اعمال برنامه‌های مدیریت مصرف به شمار می‌رود و هرگونه تحولی در چگونگی مصرف انرژی مستلزم دستگاه‌های اندازه‌گیری چند زمانه است که کنترلهای هوشمند این نقش را ایفا می‌کنند [۶].

¹ Dircet Load Control

² Services Ancillary

³ independent system ooperator

⁴ market spot

⁵ Programs Buyback/Bidding Demand

با بررسی ضوابط اجرایی مشخص شد که برنامه‌های پاسخگویی بار اضطراری که مبتنی بر تشویق هست به‌عنوان برنامه پاسخگویی بار کشور انتخاب شده است. الزامات مخابراتی موردنیاز در زیرساخت ارتباطاتی کاملاً متأثر از نوع برنامه پاسخگویی بار هست. به‌عنوان مثال در برنامه‌های پاسخگویی بار اضطراری، ارتباط یک‌طرفه از کنتور به مرکز دیسپاچینگ کفایت می‌کند درحالی‌که در برنامه کنترل مستقیم بار تبادل دوطرفه داده لازم هست. در انتخاب الزامات و نیازمندی‌های بستر مخابراتی علاوه بر نوع برنامه پاسخگویی بار، این نکته که کنتورها چند بار در روز و با چه دقتی قرائت می‌شوند مهم هست.

اجرای مرحله نخست نصب کنتورهای هوشمند و برنامه پاسخگویی بار باعث شد در تابستان سال ۹۸، بیش از ۳ هزار مگاوات مدیریت مصرف از طریق پایش بار و مدیریت مصرف مشترکان بزرگ اعمال شود [۱].

۴-۴- اتوماسیون توزیع

با توجه به طرح‌های پایلوت اتوماسیون توزیع اجرا شده در کشور ما و طرح‌های اجرا شده در سایر کشورها و همچنین بررسی‌های صورت گرفته در خصوص امکان‌سنجی توسعه فناوری اتوماسیون توزیع و ملاحظات فنی و اقتصادی اجرای اتوماسیون در کشور لازم بوده است شاخصی برای اجرای اتوماسیون در کشور مشخص شود. در این خصوص میزان شدت اتوماسیون به‌عنوان شاخص اتوماسیون توزیع مناسب می‌باشد [۷].

در [۷]، شاخص شدت اتوماسیون حداقل برابر با ۱.۵ برای کل کشور و همچنین کاهش تلفات شبکه نسبت به کشورهای پیشرفته در افق زمانی ۱۴۰۴ در نظر گرفته شده است.

با توجه به آن که تعیین میزان این شاخص بستگی به پارامترهای زیادی از قبیل نوع آرایش شبکه، ملاحظات بهره‌برداری و ملاحظات اقتصادی هر شرکت توزیع دارد و میزان واحدی برای آن به‌عنوان معیار قابل‌تعیین نیست، لازم است برای تعیین میزان این شاخص و وضعیت موجود آن در کلیه شرکت‌های توزیع، مطالعات جامعی صورت گیرد.

در حال حاضر، تمامی ۳۹ شرکت توزیع برق استانی دارای مراکز اتوماسیون و دیسپاچینگ توزیع هستند لکن تعداد کلیدهای فشار متوسط و پست‌های مجهز به اتوماسیون در این مراکز باهم متفاوت هستند. برخی از مراکز به شاخص شدت اتوماسیون نزدیک‌تر و برخی با آن فاصله زیادی دارند. به‌عنوان نمونه در شرکت توزیع برق تهران بزرگ، ۳۰۰۰ کلید و ۷۰۰ پست تا مهرماه ۱۳۹۸ از راه دور قابل کنترل هستند [۸]؛ استان‌های البرز و خراسان رضوی نیز نسبت به سایر استان‌ها از وضعیت بهتر شدن اتوماسیون بهره‌مند می‌باشند.

درمجموع می‌توان گفت عواملی چون محدودیت‌های اجرا، نیاز به سرمایه بالا، واقعی نبودن قیمت برق، اجرا نشدن طرح‌های پرداختن جریمه خاموشی به مشترکین باعث شده‌اند که توسعه مناسب درزمینه اتوماسیون توزیع در کشور تحقق نیابد [۹].

۵-۴- منابع تولید پراکنده

در ایران، بیش از ۸۰ درصد از انرژی الکتریکی مصرفی، توسط توربین‌های گاز و بخار نیروگاه‌های حرارتی تولید می‌شود. بنابراین به دلیل محدودیت منابع سوخت فسیلی، موضوع کنترل قیمت تمام‌شده انرژی، کاهش اثرات تبدیل و مصرف انرژی بر محیط‌زیست، کاهش اتلاف و ارتقا راندمان در تولید برق به روش حرارتی ضرورت و اهمیت بالایی به خود می‌گیرد. افزایش راندمان، به روش‌های مختلفی انجام می‌شود. در کنار بهبود طراحی تجهیزات، دو راهکار دیگر در صنعت برق روز دنیا بکار گرفته می‌شود که عبارت‌اند از [۱۰]:

۱. استفاده مجدد از پسماند انرژی حرارتی یا تولید هم‌زمان برق و حرارت

۲. انتقال مراکز تولید به نزدیکی محل مصرف یا تولید پراکنده

تعریف دبیرخانه هیئت تنظیم بازار برق ایران به شکل زیر است: تأمین انرژی برق با استفاده از مولدهای تولید برق با ظرفیت (حداکثر) ۲۵ مگاوات که قابلیت نصب در محل‌های مصرف و یا اتصال به شبکه توزیع با قابلیت کارکرد دائم به‌منظور تأمین انرژی برق را دارند، و از لحاظ مشخصه‌های زیست‌محیطی امکان بهره‌برداری از آن‌ها در مراکز مختلف میسر باشد.

مطابق با مصوبه جلسه ۹۵ هیئت تنظیم بازار برق کشور مقرر گردید نیروگاه‌هایی که از نظر فنی قابلیت اتصال به شبکه توزیع محل اتصال را دارا هستند و ظرفیت عملی تولید آن‌ها از ۲۵ مگاوات بیشتر نیست، به‌عنوان نیروگاه مقیاس کوچک تلقی گردند. [۱۱]

توسعه تولیدات پراکنده و نیروگاه‌های مقیاس کوچک که مانند خیلی از برنامه‌های صنعت برق شروع طوفانی داشت و توانسته بود در چند سال اولیه به موفقیت‌های خوبی برسد، به دلیل به علت اختلاف بین دو وزارت نیرو و نفت و تأمین نبودن سوخت این نیروگاه‌ها، توسعه نیروگاه‌های مقیاس کوچک متوقف شده است [۱۲]. برخی از منابع تولید پراکنده از تجدیدپذیرها استفاده می‌کنند. حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر نیز در چند سال اخیر، یکی از پرفراز و نشیب‌ترین حوزه‌های سرمایه‌گذاری صنعتی و تجاری در ایران بوده است. فضای بی‌ثبات اقتصاد کلان کشور و نوسانات پی‌درپی پارامترهای آن (نرخ تورم، نرخ بهره و نرخ ارز) و البته تحریم‌های بی‌سابقه، طی سالیان اخیر در همه حوزه‌های صنعتی و تجاری کشور و به‌ویژه حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر اثرگذار بوده است؛ اقدامات مثبتی که بر رشد تجدیدپذیرها در سال‌های اخیر تأثیرگذار بوده است:

- افزایش نرخ‌های خرید تضمینی برق تجدیدپذیر و تفکیک آن برای انواع مختلف انرژی‌های تجدیدپذیر
- ایجاد استقلال در بودجه خرید تضمینی برق نیروگاه‌های تجدیدپذیر از بودجه عمومی دولت در قالب

عوارض برق

- افزایش عوارض برق جهت خرید برق تجدیدپذیر
- دائمی و اختصاصی شدن بودجه عوارض برق جهت خرید تضمینی برق تجدیدپذیر

- گسترش فرهنگ استفاده از سیستم‌های خورشیدی کیلوواتی محدود به ظرفیت انشعاب شبکه (به‌عنوان مثال الزام سازمان‌های دولتی به تأمین حداقل ۲۰ درصد از برق مصرفی خود از نیروگاه‌های تجدیدپذیر)

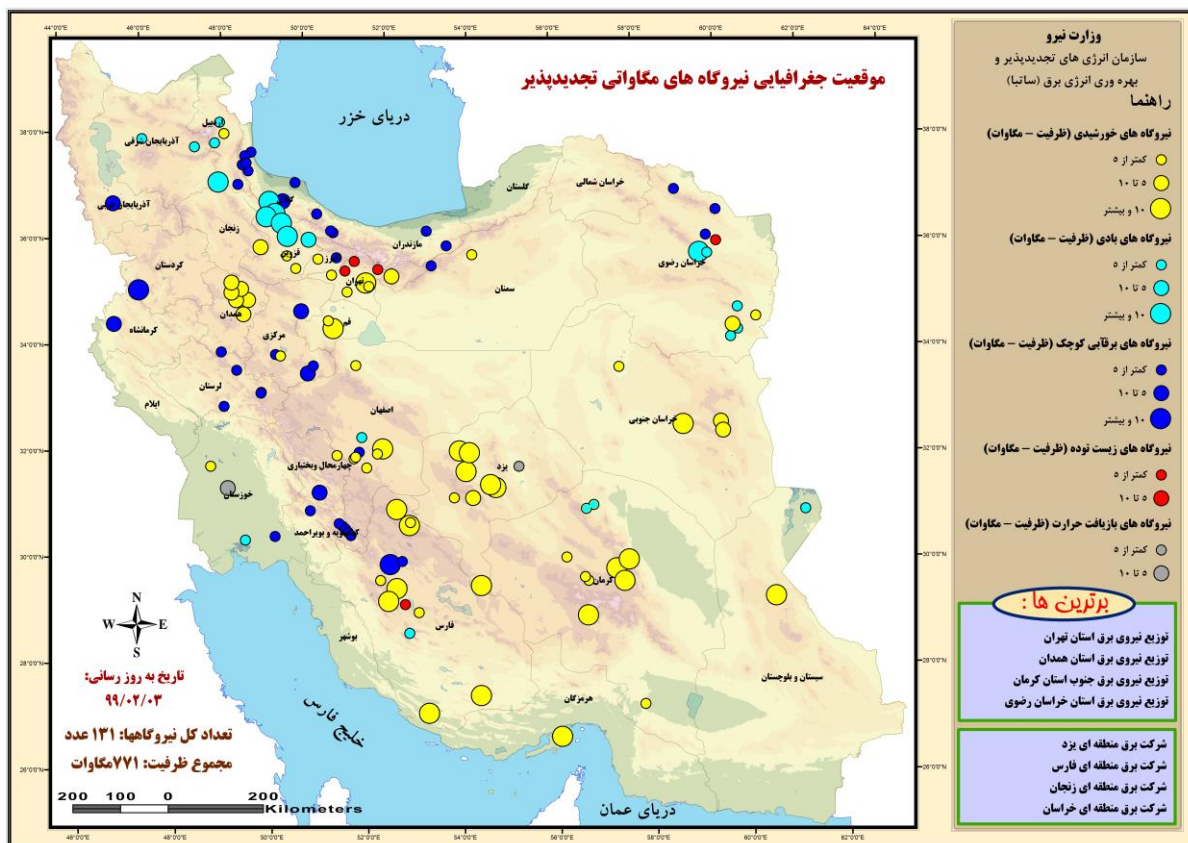
رشد ظرفیت نیروگاه‌های احداث‌شده تجدیدپذیر از حدود ۲۳۰ مگاوات ابتدای سال ۹۴ به حدود ۷۶۱ مگاوات در انتهای سال ۹۸، نتیجه چنین اقداماتی بوده است [۱۳] که البته نیاز است با رفع موانع موجود توسعه در این بخش سرعت بیشتری پیدا کند.

تازه‌ترین گزارش‌های منتشرشده در کشورمان بیانگر آن است که تاکنون از منابع تجدیدپذیر حدود چهار میلیارد و ۸۷۶ میلیون کیلووات ساعت، انرژی تولیدشده که این میزان تولید برق توانسته از انتشار حدود سه میلیون و ۳۱۶ هزار تن گاز گلخانه‌ای در کشور بکاهد.

این میزان تولید انرژی‌های نو باعث شده بیش از یک میلیارد مترمکعب از مصرف سوخت‌های فسیلی در ایران که جزو عوامل اصلی آلودگی هوا در کشور است، کاسته و بیش از ۷۸۵ میلیون لیتر در مصرف آب نیز صرفه‌جویی شود.

اکنون ۸۲۱ مگاوات نیروگاه تجدیدپذیر درون کشور در حال احداث است. ظرفیت نصب‌شده انرژی‌های نو در خرداد سال ۹۹ به ۸۲۵ مگاوات رسیده و تاکنون ۱۳۱ نیروگاه تجدیدپذیر در کشور نصب‌شده و ۷۹ نیروگاه دیگر نیز در حال احداث است [۱۴].

بررسی اعداد و ارقام موجود در این بخش حکایت از آن دارد که ۴۴ درصد نیروگاه‌های تجدیدپذیر کشور از نوع خورشیدی، ۳۴ درصد از نوع بادی، ۱۲ درصد از نوع برق آبی کوچک، ۷ درصد کاهش تلفات در شبکه برق، دو درصد از نوع بازیافت حرارتی و یک درصد نیز از نوع زیست‌توده است. موقعیت جغرافیایی نیروگاه‌های مگاواتی تجدیدپذیر که در سایت ساتبا موجود است در شکل ۴-۱ نشان داده شده است [۱۵]. همچنین پراکندگی مولدهای کیلوواتی در شکل ۴-۲ نشان داده شده است [۱۶]؛ این مولدها در مقیاس کیلووات و مختص مشترکین می‌باشد.



شکل ۴-۱ موقعیت جغرافیایی نیروگاههای مگاواتی تجدیدپذیر



شکل ۴-۲ پراکندگی مولدهای کیلوواتی تجدیدپذیر

قیمت ارزان تولید برق از منابع فسیلی اکنون به یکی از دغدغه‌های اصلی فعالان انرژی‌های تجدیدپذیر تبدیل شده است. این در حالی است که تولید انرژی از منابع تجدیدشونده علاوه بر همه فواید آن، به دلیل کاهش منابع انرژی فسیلی نیازی است که اگر از هم‌اکنون به آن توجه کافی نشود در آینده ممکن است هزینه‌های بیشتری به کشور تحمیل کند [۱۷].

علاوه بر منابع تولید پراکنده در حوزه توزیع که در چند پاراگراف بالا به وضعیت موجود این منابع پرداخته شده است، منابع تولید پراکنده در حوزه مشترکین نیز به واسطه کنتور می‌توانند به شبکه برق متصل شوند. این منابع تولید پراکنده خانگی می‌توانند به صورت محلی یا تزریق به شبکه، انرژی خود را عرضه نمایند. برای تزریق برق این منابع به شبکه، الزامات و اقدامات متعددی نیاز هست؛ به عنوان مثال ایجاد سازوکار عرضه برق به عنوان سرویس، ارائه قیمت واقعی و لحظه‌ای برق به مشترکین، تعاملات مشترکین با بازار برق نمونه‌هایی از اقدامات لازم در این زمینه می‌باشند.

از دید ارتباطات، ارتباط منابع تولید پراکنده در حوزه توزیع به واسطه کنتور و با مرکز دیسپاچینگ توزیع برقرار هست لکن ارتباطات منابع تولید پراکنده در حوزه مشترکین به واسطه کنتورهای فهام خواهد بود. از لحاظ مقیاس، ارتباطات منابع تولید پراکنده حوزه مشترکین می‌تواند به تعداد کل مشترکین شبکه برق وسعت یابد و فناوری موبایل نسل پنجم، یکی از کاندیداهای اصلی این ارتباط هست.

۴-۶- خودرو برقی و ایستگاه‌های شارژ

بسیاری از شرکت‌های خودروسازی در جهان عزم خود را برای تولید انبوه خودروهای برقی جزم کرده و از برنامه‌های خود بدین منظور رونمایی کرده‌اند. افزایش روزافزون خودروهای برقی و محبوبیت استفاده بیشتر از این خودروهای پاک، موجب شده است شرکت‌های خودروسازی در سراسر جهان به رقابتی تنگاتنگ پرداخته و هر یک از برنامه‌های خود برای طراحی و تولید خودروهایی بهتر و با توان پیمایش بیشتر رونمایی کنند. توسعه خودروهای برقی و الکتریکی نیازمند توسعه زیرساخت‌های لازم نظیر راه‌اندازی و ساخت ایستگاه‌های شارژ خودروهای الکتریکی است که به رانندگان و دارندگان این دسته از وسایل نقلیه پاک این امکان را می‌دهد تا در مدت زمان کوتاهی اقدام به شارژ خودروی خود کنند [۱۸].

ایستگاه‌های شارژ خودروهای برقی در چند دسته شارژ کند، معمولی یا شارژ سریع تقسیم‌بندی می‌شوند، این ایستگاه‌ها در مدل‌های دو نازل و سه نازل طراحی شده‌اند.

ایستگاه شارژر کند یا معمولی بیشتر برای مصارف خانگی استفاده می‌شوند؛ این شارژرها در پارکینگ خانه‌ها یا کنار خیابان مثل دستگاه‌های پارکومتر جهت شارژ خودرو یا موتورسیکلت خود نصب می‌شوند. در شارژر کند مدت مصرفی برای شارژ بین ۶ تا ۸ ساعت است

ایستگاه شارژر سریع نیز به صورت جریان DC، ماشین را شارژ می‌کنند یعنی می‌تواند در زمان یک ربع تا نیم ساعت یک ماشین را برای ۳۰۰ تا ۴۰۰ کیلومتر شارژ کنند. شارژرهای خانگی به برق خانگی نیاز دارند اما شارژر سریع نیاز به برق صنعتی دارد که این ایستگاه‌ها در پارکینگ مراکز خرید و ایستگاه‌های شارژ در سطح شهر مورد استفاده قرار می‌گیرند.

استانداردهای شارژر خودروهای برقی در دنیا چند نوع مختلف هستند؛ شارژر DC و شارژر AC که هر کدام چند مدل دارند. به همین خاطر نازل‌های ایستگاه‌های شارژ دارای چند نوع نازل است و هر نازل، استاندارد مخصوص به خود دارد [۱۸].

در بهمن‌ماه ۱۳۹۶، در آیین بهره‌برداری از طرح‌های زیست‌محیطی شهر اصفهان از نخستین ایستگاه شارژ موتورهای برقی رونمایی شد [۱۹].

نخستین جایگاه شارژ خودرو و موتورسیکلت برقی در ایران در برج میلاد تهران در خردادماه سال ۱۳۹۸ افتتاح شد. در این ایستگاه، شارژر سریع خودرو برقی شامل یک خروجی شارژر AC با توان ۴۳ کیلووات قابل استفاده برای تمام خودروهای برقی استاندارد دنیا و یک خروجی شارژر سریع DC با توان ۵۰ کیلووات قابل استفاده برای خودروهای شرق آسیا شامل خودروهای میتسوبیشی، کیا، نیسان و ... است.

همچنین این ایستگاه دارای شارژر کند خودرو برقی با توان ۷.۴ کیلووات است و می‌تواند همه خودروهای برقی استاندارد را تأمین توان کند. از سویی دیگر، جایگاه شارژ خودروهای برقی مجهز به دو شارژر ۵.۵ کیلوواتی موتورسیکلت برقی است و به سهولت توان شارژ موتورسیکلت‌های برقی را دارد [۲۰].

همچنین ایستگاه شارژ موتور سیکلت برقی در کشور با مشارکت شرکت توزیع نیروی برق استان تهران- تهران بزرگ و البرز و مرکز خودرو برقی پژوهشگاه نیرو در مهرماه سال ۱۳۹۸ به بهره‌برداری رسید. این ایستگاه‌ها قادرند تعداد ۱۶ موتور سیکلت برقی را همزمان شارژ نمایند. همچنین سامانه آزمون عملکردی دوچرخه و موتور برقی توسط مرکز خودرو برقی پژوهشگاه نیرو راه اندازی شده است؛ در حوزه نرم‌افزار نیز نرم‌افزار جایابی بهینه ایستگاه‌های شارژ عمومی خودرو برقی با GIS و نرم‌افزار پیش‌بینی بار خودروهای الکتریکی در شبکه‌های توزیع با کارفرمایی پژوهشگاه نیرو و اجرا توسط دانشگاه علم و فناوری مازندران تحقق یافته است [۲۱]. لازم به ذکر است پروژه‌های تحقیقاتی به شرح زیر با کارفرمایی مرکز توسعه فناوری خودرو برقی در پژوهشگاه نیرو انجام و خاتمه یافته است [۲۲]:

- آزمون‌های ایستگاه‌های شارژ خودرو برقی تیم محقق از دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی
- طراحی و ساخت سامانه آزمون عملکردی دوچرخه و موتورسیکلت برقی
- آینده پژوهی کاربرد پیل سوختی و باتری در خودروهای برقی و بررسی نیاز فناوری کشور در کاربر خودرو برقی

- بررسی باتری خودروهای برقی در گذشته و حال و نیاز پژوهی استفاده از باتری‌ها برای خودرو برقی در ۲۰ سال آینده
 - تدوین سند تفصیلی و برنامه عملیاتی توسعه فناوری پیش‌رانه خودروهای برقی و هیبریدی
 - بررسی و مقایسه اتوبوس‌های شهری با پیش‌رانه‌های برقی و هیبریدی و استخراج سیکل حرکتی آنها در تهران
 - مطالعه و تدوین دستورالعمل احداث ایستگاه‌های شارژ هدایتی خودرو برقی
 - مطالعات پایلوت تاکسی خطی برقی
 - مطالعات پایلوت دوچرخه برقی در پژوهشگاه نیرو
 - مطالعات پایلوت موتورسیکلت برقی در شهر اراک
- در مردادماه سال ۹۹ ایستگاه شارژ خودروی برقی حرم رضوی در مشهد افتتاح خواهد شد، برنامه اولیه برای این ایستگاه شامل دو عدد شارژر سریع خودروی برقی به صورت شارژ چندگانه و دو عدد شارژر کند خودرو برقی است. هم‌زمان چهار عدد خودرو در این ایستگاه شارژ، می‌توانند کار شارژ خودرو را انجام دهند. ایستگاه به سامانه کنترل از راه دور مجهز خواهد بود و کاربران با استفاده از امکانات این سایت می‌توانند به رزرو جایگاه بپردازند [۲۳].
- کنترل و مانیتورینگ برای ارتباطات بالادستی بر اساس پروتکل OCPP¹ صورت می‌گیرد باید توجه نمود که از دید انرژی، خودروی برقی به عنوان "تولید-مصرف کننده"^۲ دارای دو نقش متفاوت هست. نقش اول همان مصرف‌کننده انرژی هست که از طریق اتصال به ایستگاه‌های شارژ خانگی یا عمومی، انرژی موردنیاز خود را تأمین می‌کند. در نقش دوم خودروهای برقی به عنوان مولد انرژی مطرح می‌باشند که می‌توانند برق ذخیره‌شده خود را به صورت محلی یا به صورت اتصال به شبکه عرضه نمایند؛ شبکه ارتباطی موردنیاز خودروها که به بحث تولید یا مصرف انرژی مرتبط باشد را می‌توان به صورت زیر دسته‌بندی نمود:
- ارتباط بین خودرو برقی و ایستگاه شارژ
 - تبادل اطلاعات مابین خودروها باهدف استفاده بهینه از زیرساخت‌های شارژ خودرو و تبادل انرژی بین خودروها (برای خودروهای برقی)
 - تبادل اطلاعات خودروها با شبکه توزیع برق به واسطه کنترل باهدف برنامه‌های تقاضای بار
 - تبادل اطلاعات خودروها با شبکه توزیع برق به واسطه کنترل باهدف عرضه انرژی در بازار برق

¹ OPEN CHARGE POINT PROTOCOL² Prosumer

توسعه ایستگاه‌های شارژ برقی و خودروهای برقی در کنار توسعه منابع تجدیدپذیر در سمت مشترکین در کشور، افزایش نیاز به زیرساخت ارتباطی را به دنبال خواهد داشت؛ فناوری موبایل نسل پنجم یکی از کاندیداهای اصلی زیرساخت ارتباطی در این زمینه به شمار می‌رود.

۷-۴- بازار برق

بازار برق ایران با ابلاغ آیین‌نامه "تعیین روش، نرخ و شرایط خریدوفروش در شبکه برق کشور" توسط وزیر محترم نیرو در تاریخ ۸۲/۸/۱ راه‌اندازی گردید. از مهم‌ترین دلایل راه‌اندازی بازار برق در ایران می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود [۲۴]:

- ایجاد فضای رقابتی در بخش‌های تولید و توزیع برق
- تأمین منابع موردنیاز از طریق حضور بخش غیردولتی در سرمایه‌گذاری
- افزایش بهره‌وری اقتصادی

باوجود زیرساخت‌های موجود در صنعت برق کشور که آن را از کشورهای منطقه متمایز می‌سازد، هم‌زمان با فعالیت‌ها در راستای شکل‌گیری بورس نفت، لزوم راه‌اندازی بورس برق در ادامه توسعه بازار برق کشور احساس شده است و در خرداد ۸۷ شورای عالی بورس موافقت اصولی خود را با تأسیس بورس برق اعلام نموده است. دراین‌بین تشکیل بازاری منسجم برای دربرگیری همه کالاهای از جنس انرژی و تشکیل بورس جامع و واحد برای معاملات انواع حامل‌های انرژی پیشنهاد شد. تلاش‌ها برای ورود نفت و سایر حامل‌های انرژی به بازار سرمایه و تعیین قیمت این محصولات در بورس، اوایل سال ۱۳۹۰ شکل دیگری یافت. در این سال شورای عالی بورس تصمیم گرفت بورس را با محوریت حامل‌های انرژی شکل دهد. شورای عالی بورس و اوراق بهادار در جلسه ۱۳۹۰/۳/۳۰ با تجمیع درخواست‌های جداگانه برای راه‌اندازی بورس نفت و برق به راه‌اندازی بورس انرژی رأی داد. بر این اساس بورس انرژی به‌عنوان چهارمین بورس کشور جهت عرضه محصولات نفت و مشتقات نفتی، برق، گاز طبیعی، زغال‌سنگ، حق آلودگی و سایر حامل‌های انرژی شکل گرفت [۲۵].

در خصوص بازار خرده‌فروشی لازم به ذکر است از اسفندماه ۹۳ شرکت‌های خرده‌فروشی برق در قالب کد معاملاتی عام به جمع خریداران و فروشندگان برق در این بورس پیوسته‌اند و نخستین معامله یک شرکت خرده‌فروشی برق فروردین ۹۴ در تابلوی سلف موازی استاندارد بازار مشتق بورس انرژی انجام پذیرفت.

شرکت‌های خرده‌فروشی برق ازجمله شرکت‌های بازرگانی هستند که برق خریداری‌شده از طریق بورس انرژی را به مشترکین نهایی طرف قرارداد خود می‌فروشند. شرکت‌های یادشده در صورت داشتن پروانه معتبر خرده‌فروشی صادره از جانب وزارت نیرو و انجام هماهنگی در خصوص تحویل فیزیکی قراردادهای معامله‌شده با آن وزارتخانه مجاز به فعالیت در معاملات برق بورس انرژی هستند، پروانه خرده‌فروشی اجازه‌نامه‌ای است که از طرف وزارت نیرو به‌منظور فروش انرژی الکتریکی به مشترک در هر یک از سطوح ولتاژی توزیع، فوق

توزیع و انتقال، خریدوفروش برق از بورس انرژی، خرید برق از بازار عمده‌فروشی، خریدوفروش حقوق و منافع ناشی از بهره‌برداری از ظرفیت نیروگاه و یا خریدوفروش گواهی ظرفیت صادر می‌شود [۲۶]؛ در حوزه بازار برق ایران که اطلاعات آن در سایت شرکت مدیریت شبکه قرار دارد [۲۷]، نیروگاه‌های آبی، حرارتی (سیکل ترکیبی، گازی و بخار) و دیزلی به‌عنوان واحدهای تولیدکننده برق مدنظر قرار گرفته‌اند. همچنین در این سایت، گزارش‌های دفتر مطالعات و ارتقاء بازار برق شرکت مدیریت پروژه به تفکیک موارد زیر در دسترس هست.

- بازار رقابتی
- بازار ساعتی
- بازارهای رزرو
- بازارهای خرده‌فروشی
- بورس برق
- معاملات دوجانبه

از دید ارتباطات، اطلاعات کنترلهای بازار برق در سراسر کشور به مرکز پایش NOC¹ شرکت مدیریت شبکه ارسال می‌گردد؛ اطلاعات کنترلهای به‌صورت منظم در فواصل زمانی ۱۵ دقیقه ثبت می‌شود و در فواصل زمانی شش ساعت به مرکز ارسال می‌شود. اطلاعات حدوداً ۲۵ هزار کنتر برای منظور بازار برق پایش می‌شود که از این تعداد حدود ۳ هزار کنتر از ارتباطات موبایل GPRS/3G/4G استفاده می‌کنند.

۸-۴- جمع‌بندی

در کنار بررسی اسناد بالادستی و برنامه‌های توسعه فناوری شبکه هوشمند در کشور، نیاز است که وضعیت موجود هوشمندی شبکه برق نیز موردبررسی قرار گیرد. با توجه به تعدد زیرسیستم‌ها در شبکه هوشمند، در این پروژه شش زیرسیستم قرائت کنتر، پاسخگویی بار، اتوماسیون توزیع، منابع تولید پراکنده، خودرو برقی و بازار برق جزو محدوده کار قرار گرفته است. در انتخاب این زیرسیستم‌ها تلاش شده مواردی که در اسناد بالادستی و برنامه‌های توسعه صنعت برق کشور، به آن اهمیت بیشتری داده شده است و یا اینکه مواردی که فناوری موبایل نسل پنجم کاندیدای مناسبی برای برقراری زیرساخت ارتباطی آن هست موردتوجه قرار گیرند. برای بررسی دقیق وضعیت موجود زیرسیستم‌های شبکه هوشمند نیاز است که اطلاعات مرتبط از تمامی شرکت‌های زیرمجموعه وزارت نیرو (۱۵ شرکت تولید برق، ۲۹ شرکت مدیریت تولید برق، ۱۶ شرکت برق منطقه‌ای، ۳۹ شرکت توزیع، شرکت مدیریت شبکه و شرکت مادر تخصصی برق حرارتی، شرکت مادر تخصصی

¹ National operations center

ساتبا و شرکت توانیر) به‌طور تجمیع شده در دسترس باشد و این اطلاعات در فواصل زمانی مشخص به‌روزرسانی شود و در گزارشی مستندسازی شود. در زمان تدوین این گزارش، مستندی موجود یا اقلاً در دسترس نبود و برخی از مراکز به دنبال تعریف پروژه‌هایی برای مستندسازی وضعیت موجود در کاربرد موردنظر در شبکه برق هستند از این‌رو تصمیم گرفته‌شده است منابع، اخبار و گزارش‌های پراکنده‌ای که در اینترنت قابل‌دسترسی هست جمع‌آوری شوند و با صحت سنجی ضمنی آن، وضعیت موجود در شش زیرسیستم مذکور موردبررسی قرار گیرد؛ نتایج بررسی در این فصل ارائه‌شده است.

۹-۴- مراجع

- [1] <https://donya-e-eqtesad.com> /بخش-نیرو-۳۶۳۱۹۵۷/۸۸-کارنامه-هوشمندسازی-شبکه-برق
- [2] <https://barghnews.com/fa/news/41868> /مرکز-پایش-صنعت-برق-در-توانیر-افتتاح-شودC80%80E2می.٪
- [3] <https://barghnews.com/fa/news/41868> /مرکز-پایش-صنعت-برق-در-توانیر-افتتاح-شودC80%80E2می.٪
- [4] www.tvedc.ir > file retriever
- [5] Available on: <http://customer.yrec.co.ir/wp-content/uploads/2017/05/zavabet.pdf>
- [6] <https://donya-e-eqtesad.com> /بخش-صنعت-معدن-۳۵۵۰۷۵۲/۳-فاز-دوم-هوشمندسازی-شبکه-برق-کلید-خورد
- [7] Available on: <https://www.nri.ac.ir/Portals/0/۲۸/۲۰پیشرفته/۲۰اسناد.pdf>
- [8] <https://tbttb.ir:8443/index.jsp?fkeyid=&siteid=1&pageid=633&newsview=945>.
- [9] <https://barghnews.com/fa/news/41868/> مرکز-پایش-صنعت-برق-در-توانیر-افتتاح-شودC80%80E2می
- [10] <https://www.mapnagroup.com/fields-of-activity/power/solutions/distributed-generation-and-cogeneration>
- [11] <https://barghnews.com/fa/news/5617> /مقایسه-مولدهای-تولید-پراکنده-در-ایران-و-جهان-دانلود
- [12] <https://barghnews.com/fa/news/29797> /نشست-کمیسیون-ویژه-بودجه-مجلس-در-خصوص-مشکلات-نیروگاه-های-تولید-پراکنده
- [13] <https://barghnews.com/fa/news/41329/> نقد-عملکرد-چندسال-اخیر-ساتبا-توسط-انجمن-تجدیدپذیرها
- [14] http://www.satba.gov.ir/suna_content/media/image/2020/07/8321_orig.jpg
- [15] http://www.satba.gov.ir/suna_content/media/image/2020/05/8172_orig.png
- [16] http://www.satba.gov.ir/suna_content/media/image/2020/07/8323_orig.jpg
- [17] <https://www.irna.ir/news/83483907> /توسعه-انرژی-های-تجدیدپذیر-نیازمند-اصلاح-قیمت-برق
- [18] www.irna.ir/news/83709159 /ابومی-سازی-ایستگاه-شارژ-خودروی-برقی-در-کشور
- [19] www.esfahanemrooz.ir/34607.html /رونمایی-از-نخستین-ایستگاه-شارژ-موتور-برقی
- [20] <https://www.mapnagroup.com/fa/features/development-of-clean-energies>
- [21] <https://www.nri.ac.ir/evc/Structure>
- [22] <https://www.nri.ac.ir/evc/Projects>

- [23] <https://irna.ir/news/83709159/> بومی‌سازی-ایستگاه-شارژ-خودروی-برقی-در-کشور
- [24] <https://www.igmc.ir/About-Us/Deputies/Power-Market-Deputy>
- [25] <https://mobinsb.com/Refrence/Page/4/1308> --آشنایی--با--بورس--انرژی--و--بازارهای
- [برق-برای-شرکت-های-توزیع-نیروی-برق](#)
- [26] <https://www.barghnews.com/fa/news/29022/> -موانع-اقبال-خرده-فروشی-برق-ضرورت-راه-
- [اندازی-بورس-برق](#)
- [27] <https://www.igmc.ir/Documents/EntryId/292718>

فهرست مطالب فاز چهارم با عنوان

"استخراج چالش‌های به‌کارگیری 5G در صنعت برق کشور"

صفحه	عنوان
۱.....	مقدمه
۳.....	فصل ۱- بررسی چالش‌های فنی موبایل نسل پنجم.....
۳.....	۱-۱- مقدمه
۴.....	۱-۲- چالش‌های فنی پژوهشی
۴.....	۱-۲-۱- مدیریت تحرک
۴.....	۱-۲-۲- تخصیص پویای منابع
۵.....	۱-۲-۳- مجازی‌سازی شبکه دسترسی رادیویی
۵.....	۱-۲-۴- جداسازی لایه کاربر و لایه کنترل
۵.....	۱-۲-۵- زنجیره توابع سرویس هوشمند [۱]
۶.....	۱-۲-۶- مدیریت توابع مجازی شبکه
۶.....	۱-۲-۷- به‌کارگیری برش شبکه در صنایع عمودی
۸.....	۱-۳- چالش مربوط به تجهیزات و سازندگان شبکه
۸.....	۱-۳-۱- چالش‌های مرتبط با تجهیزات هسته شبکه
۹.....	۱-۳-۲- چالش‌های مرتبط با تجهیزات شبکه انتقال
۱۱.....	۱-۳-۳- چالش‌های مرتبط با تجهیزات شبکه دسترسی رادیویی
۱۳.....	۱-۳-۴- چالش‌های مرتبط با تجهیزات مشترکین صنعتی [۹]
۱۴.....	۱-۴- چالش‌های فنی اپراتورها و ارائه‌دهندگان سرویس
۱۴.....	۱-۴-۱- چالش‌های فنی مهاجرت از شبکه نسل چهارم به شبکه نسل پنجم [۱۰]
۱۷.....	۱-۴-۲- چالش‌های مدیریتی و هماهنگ‌سازی ارائه‌دهندگان سرویس
۱۸.....	۱-۵- جمع‌بندی
۲۰.....	۱-۶- مراجع فصل اول
۲۱.....	فصل ۲- امنیت 5G و ملاحظات آن با رویکرد تأمین زیرساخت ارتباطی در شبکه هوشمند
۲۱.....	۲-۱- مقدمه
۲۱.....	۲-۲- معماری و ملاحظات امنیتی 5G
۲۵.....	۲-۲-۱- معماری امنیتی 5G بر اساس ملاحظات 3GPP
۲۶.....	۲-۲-۲- ویژگی‌های امنیتی جدید 5G در مقایسه با 4G

۲۷	۲-۲-۳- چالش امنیتی مرتبط با ابر در 5G
۳۱	۲-۳- ارتباطات امن شبکه هوشمند با استفاده از موبایل نسل پنجم
۳۱	۲-۳-۱- نیازمندی‌های امنیتی شبکه هوشمند
۳۱	۲-۳-۲- مزایای امنیتی 5G در شبکه هوشمند انرژی
۳۶	۲-۳-۳- مدل‌های تهدید شبکه در شبکه هوشمند
۳۷	۲-۳-۴- چالش‌های امنیتی بکارگیری شبکه 5G در صنعت برق
۳۹	۲-۴- جمع‌بندی
۴۰	۲-۵- مراجع فصل دوم
۴۱	فصل ۳- بررسی برآوردن نیازمندی‌های ارتباطی متفاوت شبکه هوشمند برق توسط 5G....
۴۱	۳-۱- مقدمه
۵۲	۳-۲- اتوماسیون شبکه توزیع (DA)
۵۴	۳-۲-۱- الزامات فنی اتوماسیون هوشمند توزیع شده و بررسی برآوردن آن‌ها در زیرساخت 5G
۵۶	۳-۳- منابع تولید پراکنده (DER)
۵۷	۳-۳-۱- الزامات فنی منابع تولید پراکنده و بررسی برآوردن آن‌ها در زیرساخت 5G
۵۹	۳-۴- زیرساخت اندازه‌گیری پیشرفته (AMI)
۶۳	۳-۴-۱- الزامات فنی زیرساخت اندازه‌گیری پیشرفته (AMI) و بررسی برآوردن آن‌ها در زیرساخت 5G
۶۴	۳-۵- خودروی برقی (EV)
۶۵	۳-۵-۱- الزامات فنی خودرو برقی (EV) و بررسی برآوردن آن‌ها در زیرساخت 5G
۶۷	۳-۶- بازار برق
۶۹	۳-۶-۱- الزامات فنی بازار خرده‌فروشی برق (REM) و بررسی برآوردن آن‌ها در زیرساخت 5G
۷۰	۳-۷- جمع‌بندی
۷۳	۳-۸- مراجع فصل سوم
۷۴	فصل ۴- بررسی چالش‌های غیرفنی به‌کارگیری موبایل نسل پنجم در شبکه هوشمند.....
۷۴	۴-۱- مقدمه
۷۶	۴-۲- چالش‌های غیرفنی عمومی بکارگیری شبکه موبایل در صنعت برق
۷۷	۴-۲-۱- چالش‌های سیاستی و قانون‌گذاری
۷۸	۴-۲-۱-۱- قانونگذار
۸۰	۴-۲-۱-۲- سازمانهای تابعه زیرمجموعه وزارت نیرو
۸۱	۴-۲-۲- چالش‌های مدیریتی

۴-۲-۳	چالش‌های بهره‌برداری و اجرایی.....	۸۴
۴-۲-۳-۱	SLA برای قراردادهای صنایع.....	۸۵
۴-۲-۴	چالش‌های اقتصادی.....	۸۶
۴-۲-۴-۱	مزایای اقتصادی.....	۸۹
۴-۲-۵	فرهنگی و عمومی.....	۹۱
۴-۲-۶	نیروی انسانی.....	۹۳
۴-۳	چالش‌های غیرفنی خاص بکارگیری شبکه 5G در صنعت برق.....	۹۴
۴-۳-۱	مصرف برق بالا و مساله کربن‌زدایی.....	۹۴
۴-۳-۲	عدم آینده‌ثباتی فناوری (طول عمر فناوری).....	۹۵
۴-۳-۳	مسائل سلامت و بهداشت.....	۹۵
۴-۳-۴	عدم شفافیت در مدل کسب و کار.....	۹۶
۴-۳-۴-۱	مدل کسب و کار شناسایی مدل‌ها.....	۹۷
۴-۳-۴-۲	حوزه‌های کسب و کار.....	۹۷
۴-۳-۴-۳	هزینه‌ها.....	۹۸
۴-۴	جمع‌بندی.....	۹۸
۴-۵	ملاحظات و پیشنهادات.....	۱۰۳
۴-۶	مراجع فصل چهارم.....	۱۰۵
۱۰۷	پیوست‌ها	
۱۰۷	پیوست الف- کیفیت سرویس و شاخص ارزیابی آن.....	۱۰۷
۱۱۶	پیوست ب- کیفیت تجربه و شاخص‌های ارزیابی آن.....	۱۱۶
۱۲۲	مراجع پیوست.....	۱۲۲

فهرست شکل‌های فاز چهارم پروژه

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱ دسته‌بندی چالش فنی 5G	۳
شکل ۱-۲ نوآوری‌های HUAWEI مربوط به تجهیزات نسل پنجم [۴]	۸
شکل ۱-۳ نصب واحدهای Massive MIMO در سازه‌های شهری [۵]	۱۲
شکل ۱-۴ معماری توام EPC و 5GC [۱۰]	۱۵
شکل ۳-۱ اقدامات کاهش مخاطرات امنیتی برای ارائه خدمات مخابراتی	۵۱
شکل ۳-۲ سرویس‌های بخش توزیع به‌مراه سرویس‌های اتوماسیون توزیع [۳]	۵۲
شکل ۳-۳ روند تکامل اتوماسیون توزیع (DA) [۵]	۵۳
شکل ۳-۴ ادغام منابع تولید پراکنده (DERs) از طریق شبکه سلولار (LTE/5G) و پروتکل‌های ارتباطی متفاوت	۵۹
شکل ۳-۵ معماری مخابراتی برای اتصال کنتورهای هوشمند به سیستم مدیریت داده‌های اندازه‌گیری شده	
(MDMS) (الف) اتصال مستقیم (ب) اتصال از طریق جمع‌کننده [۲]	۶۲
شکل ۳-۶ زنجیره تأمین و بازیگران در خودروهای برقی [۶]	۶۵
شکل ۳-۷ معماری مفهومی بازار REM [۲]	۶۸
شکل ۴-۱ دسته‌بندی چالش‌های غیرفنی بکارگیری 5G در شبکه هوشمند	۷۷
شکل ۴-۲ پیش‌بینی اثرات اقتصادی 5G تا سال ۲۰۳۵ [۱۲]	۸۸
شکل الف-۱ معماری ارائه‌شده در استاندارد 3GPP برای کیفیت سرویس شبکه نسل چهارم با شبکه نسل پنجم	۱۰۸
شکل ب-۱ مقایسه QoS و QoE [۸]	۱۱۸
شکل ب-۲ اندازه‌گیری مقادیر QoE [60]	۱۱۹
شکل ب-۲ نگاشت معیارهای QoS و QoE [60]	۱۲۰

فهرست جدول‌های فاز چهارم پروژه

عنوان	صفحه
جدول ۱-۱ جمع‌بندی چالش‌های فنی.....	۱۹
جدول ۳-۱ الزامات استاندارد IEC61850 در حوزه مخابرات صنعت برق.....	۴۲
جدول ۳-۲ الزامات تأخیر به همراه اولویت کاربرد در شبکه هوشمند برق [۲].....	۴۵
جدول ۳-۳ بررسی الزامات فنی و مخابراتی بکارگیری شبکه 5G در شبکه هوشمند.....	۷۱
جدول ۴-۱ چالش‌های غیرفنی و موارد استخراج شده برای کاربرد شبکه 5G در شبکه هوشمند.....	۱۰۰
جدول الف-۱ تفاوت واژه‌نگاری پارامترهای کیفیت سرویس در 4G و 5G.....	۱۰۷
جدول الف-۲ نگاشت ویژگی‌های کیفیت سرویس در شناسه 5QI.....	۱۱۲
جدول الف-۳ پروژه‌های تحقیقاتی متمرکز بر روی موضوع KPI شبکه.....	۱۱۵

مقدمه فاز چهارم

شبکه موبایل نسل پنجم به‌عنوان نوآوری تحول‌آفرین که ترکیبی از فناوری‌های نوین را ارائه می‌دهد، علاوه بر کاربران عمومی و تجاری، سرویس‌های بسیار متنوعی را برای صنایع و کاربردهای صنعتی ارائه خواهد نمود. فناوری‌های نوینی چون مجازی‌سازی شبکه، شبکه‌های مبتنی بر نرم‌افزار، برش شبکه، رایانش لبه موبایل، شبکه دسترسی مبتنی بر ابر در کنار فناوری‌های نوین مخابراتی مانند فناوری‌های دسترسی چند ورودی-چند خروجی، شکل‌دهی پرتو، انباشت طیفی و تلفیق فناوری‌های نوین مخابراتی و اطلاعاتی در شبکه موبایل نسل پنجم موجب شده است که این نسل از شبکه موبایل، نقش کلیدی در انقلاب صنعتی چهارم ایفا کند. بررسی چالش‌های به کارگیری 5G در صنعت برق در دو دسته فنی و غیرفنی قابل طرح است. برای بهره‌برداری مؤثر و مطلوب از زیرساخت 5G در صنعت برق، لازم است که چالش‌های فنی (امنیتی، مهاجرت از نسل 4G به 5G، ترافیک burst و ...) و غیرفنی (رگولاتوری، بسترسازی ورود فناوری در صنعت برق و ...) استفاده از این زیرساخت عمومی در صنعت برق استخراج شود تا بتوان برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری مدونی برای رفع چالش‌ها اندیشید. در این گزارش، به استناد بر مطالعات انجام شده به استخراج این چالش‌ها پرداخته شده است.

چالش‌های فنی با دو رویکرد در این گزارش مورد بررسی قرار گرفته است. در رویکرد اول بر تأمین زیرساخت ارتباطی تمرکز شده است؛ در این رویکرد، چالش‌های فنی مشتمل بر چالش‌های پژوهشی و توسعه‌ای، چالش‌های مرتبط با سازندگان تجهیزات و چالش‌های اپراتورها و ارائه‌دهندگان سرویس می‌باشند که در فصل اول این گزارش، تشریح شده است.

در کنار موضوعات فنی مطروحه، بحث امنیت زیرساخت ارتباطی برای بهره‌برداران صنعتی حائز اهمیت فراوان می‌باشد. از این رو، در گزارش فصل دوم، به‌اختصار به بررسی مهم‌ترین نیازهای امنیتی نسل پنجم پرداخته می‌شود و معماری امنیتی شبکه 5G مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته و با نسل‌های پیشین شبکه سلولی مقایسه خواهد شد. همچنین توانایی‌های امنیتی شبکه 5G در برآورده کردن نیازهای امنیتی شبکه هوشمند بررسی خواهد شد.

رویکرد دوم استخراج چالش‌های فنی، این است که حوزه‌های عملکردی مختلف همچون اتوماسیون توزیع، قرائت کنتور، تولید پراکنده، بازار برق و خودرو برقی شناسایی و بر اساس آن الزامات فنی و امنیتی آن‌ها استخراج و در نهایت چالش‌های فعلی آن برای استفاده از زیرساخت مخابراتی 5G بیان شود. این رویکرد در فصل سوم این گزارش بررسی شده است.

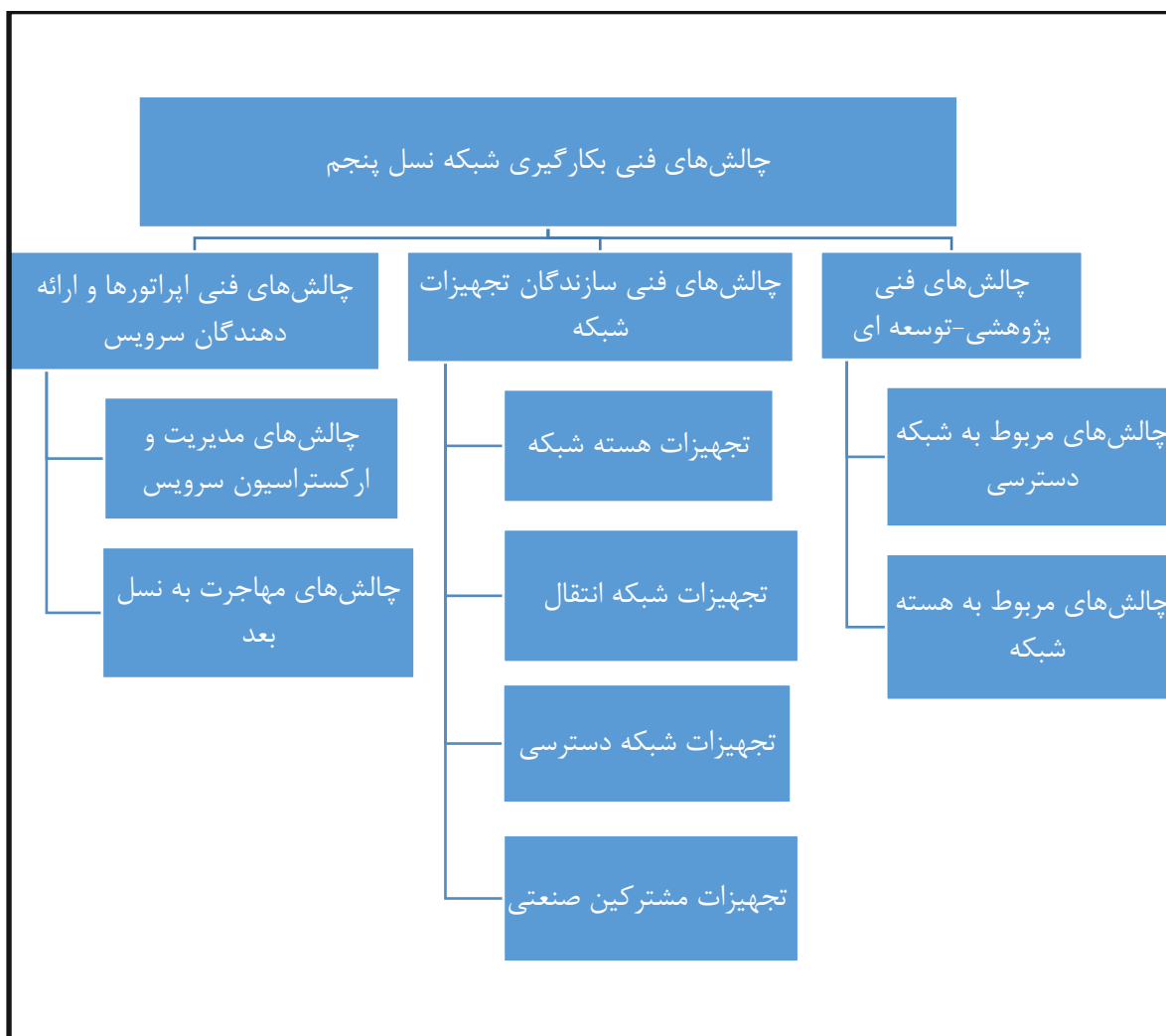
در آخر، به منظور استخراج چالش‌های غیرفنی مخابرات صنعت برق، در این گزارش، مجموعه چالش‌های غیرفنی در شش گروه تقسیم‌بندی شده‌اند که عبارت‌اند از: چالش‌های سیاستی و قانون‌گذاری، مدیریتی،

بهره‌برداری و اجرایی، اقتصادی، فرهنگی و عمومی و چالش‌های مرتبط با نیروی انسانی. در فصل چهارم این گزارش، چالش‌های غیرفنی بکارگیری 5G برای ارائه سرویس به شبکه هوشمند برق و انرژی مورد بررسی قرار گرفته است.

فصل ۱- بررسی چالش‌های فنی موبایل نسل پنجم

۱-۱- مقدمه

چالش‌های فنی استفاده از فناوری نوین و در حال ظهور 5G در صنعت را می‌توان از وجوه متفاوتی بررسی نمود. چالش‌های پژوهشی و توسعه‌ای، چالش‌های مرتبط با سازندگان تجهیزات و چالش‌های اپراتورها و ارائه‌دهندگان سرویس همگی جزو چالش‌های عمده پیش روی این فناوری نوین هست. در این فصل از گزارش به بررسی چالش‌های فنی شبکه نسل پنجم موبایل و کاربرد آن در صنعت برق پرداخته شده است؛ ساختار ارائه شده برای استخراج چالش‌های فنی در شکل ۱-۱ ارائه شده است. در ارائه چالش‌ها، علاوه بر توضیح محتوایی چالش، سعی شده است بازیگران و عوامل مرتبط با چالش‌ها و پاسخگویی به آن نیز بررسی شوند تا بدین منظور ساختاری برای بررسی پاسخگویی به چالش‌ها حاصل شود.



شکل ۱-۱ دسته‌بندی چالش فنی 5G

۱-۲- چالش‌های فنی پژوهشی

چالش‌های پژوهشی 5G در پژوهش‌ها و تحقیقات مختلفی توسط بخش دانشگاهی و بخش صنعتی مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند که عبارت‌اند از: مجازی‌سازی شبکه دسترسی رادیویی، مدیریت و ارکستراسیون به‌صورت انتها به انتها، مجزا سازی و امنیت برش‌های شبکه و غیره. در این بین، مستقل از چالش‌های فنی پژوهشی که برای استقرار و بهره‌برداری کامل از ویژگی‌های موبایل نسل پنجم برای کاربران عمومی و تجاری مطرح هست به دلیل ماهیت پروژه جاری در این بخش تمرکز بر آن دسته از چالش‌هایی شده است که برای کاربران صنعتی حائز اهمیت می‌باشد. به‌طور نمونه، فناوری برش شبکه در تأمین نیازمندی موارد مصرف صنعت برق، پراهمیت می‌باشد. در این بخش به بررسی این چالش‌ها پرداخته شده است.

۱-۲-۱- مدیریت تحرک^۱

تحرک کاربران با سرویس‌های درخواستی متنوع منجر به ایجاد چالش‌های قابل‌توجهی در تخصیص منابع توسط برش‌های شبکه می‌شود. دلیل اصلی ایجاد این چالش‌ها دست‌به‌دست شدن^۲ در شبکه پرتراکم و پرتحرک نسل پنجم است. برای حل این معضل به طرح برش شبکه آگاه از تحرک نیازمندیم. برای پاسخ به این چالش طرح برش شبکه با در نظر گرفتن تحرک، در بخش‌های پژوهشی مطرح است که در آن از راه‌حلهایی نظیر تکنیک‌های تئوری بازی استفاده شده است.

۱-۲-۲- تخصیص پویای منابع

برای پاسخ به افزایش درخواست‌های کاربران، استفاده بهینه از طیف با به‌کارگیری برش شبکه ضروری است. یک کاربر مربوط به یک اجاره‌کننده^۳ می‌تواند سرویس‌دهی شود و یا از سیستم خارج شود؛ راه‌حلهایی نظیر تخصیص ثابت منابع به برش‌های مختلف شبکه، راه‌حلی ناکارآمد به نظر می‌رسد. راه‌حل مناسب، تسهیم و به اشتراک‌گذاری منابع به‌صورت پویا است برش‌بندی طیف با روشی پویا و با در نظر گرفتن ترافیک در بخش دانشگاهی موردبررسی قرار گرفته است. استفاده از فرآیند مارکوف^۴ برای بررسی و مدل‌سازی توزیع ترافیک کاربر در این تحقیقات منجر به بهبود عملکرد الگوریتم‌های پیشنهادی برای برش‌بندی طیف به روشی پویا شده است. در پاسخ به این چالش برخی وندورها پیشرو هستند و در مرحله تجاری‌سازی طرح تخصیص منابع پویا قرار دارند. به‌عنوان مثال اریکسون اعلام کرده است با ارائه به‌روزرسانی‌هایی در سیستم‌های رادیویی نسل پنجم خود آن‌ها را قادر به تخصیص منابع به‌صورت پویا خواهد کرد.

¹ Mobility management

² handover

³ Tenant

⁴ Markov process

۳-۲-۱- مجازی‌سازی شبکه دسترسی رادیویی

چالش اصلی پیاده‌سازی فناوری‌های نوینی همچون برش‌بندی شبکه نسل پنجم، در زیرساخت شبکه دسترسی رادیویی قرار گرفته است. مجازی‌سازی برش‌ها چالشی برای تسهیم پویای منابع محسوب می‌شود. همچنین از آنجایی که شبکه دسترسی مجازی باید همه فناوری‌های دسترسی موجود در شبکه نسل پنجم را در برگیرد، پشتیبانی شبکه نسل پنجم از فناوری چند دسترسی^۱، چالشی اساسی در مجازی‌سازی شبکه دسترسی است. تحقق شبکه دسترسی رادیویی به‌عنوان سرویس^۲ که در آن توابع شبکه مجازی برای تأمین نیازمندی‌های سرویس‌ها بکار گرفته می‌شوند از اهداف اصلی پیاده‌سازی فناوری برش شبکه در شبکه دسترسی نسل پنجم است. به نظر می‌رسد پاسخ به این چالش به دلیل تنوع فناوری‌های درگیر، امری زمان‌بر هست با این حال برخی وندورها با معرفی برش شبکه انتها به انتها، در پاسخ به این چالش پیشرو هستند.

۴-۲-۱- جداسازی لایه کاربر و لایه کنترل

جداسازی توابع لایه کاربر و لایه کنترل یکی از اصلی‌ترین ویژگی‌های هسته شبکه نسل پنجم است که مزایایی چون توزیع توابع لایه کاربر به مکان‌هایی نزدیک به کاربران و انتخاب آزادانه توابع لایه کاربر برای هر برش از شبکه و غیره دارد. چالش اصلی در این بخش، پیاده‌سازی واحدهای لایه کاربر با صرفه اقتصادی بالا و قابلیت مقیاس‌بندی برای تأمین نیازمندی‌های سرویس‌های مختلف در برش‌های شبکه هست.

۵-۲-۱- زنجیره توابع سرویس هوشمند^۳ [۱]

زنجیره توابع سرویس به قابلیت گفته می‌شود که در آن با به‌کارگیری توانایی‌های SDN مجموعه‌ای از توابع شبکه متصل به هم ایجاد می‌شوند. زنجیره توابع سرویس باهدف پیاده‌سازی توابع شبکه بر روی ماشین‌های مجازی^۴ در گره‌های شبکه ایجاد می‌شوند. هر گره دارای مقدار محدودی منابع محاسباتی و پهنای باند برای ارتباط با گره دیگر است. بنابراین عملکرد زنجیره توابع سرویس به انتخاب گره مناسب بستگی دارد و با انتخاب بهینه گره‌ای که تأخیر ارسال پایین و بهره‌وری انرژی مطلوبی دارد می‌توان عملکرد زنجیره توابع سرویس را بهینه کرد. همچنین پروتکل‌های نوین مسیریابی، با تأخیر حداقلی باید برای گره‌های موردنظر بکار گرفته شود. پاسخ به چالش مربوط به زنجیره توابع سرویس در مرحله پژوهشی قرار دارد و روش‌هایی مبتنی بر

¹ Multiple RATs

² RaaS

³ Intelligent Service Function chain

⁴ Virtual Machine

یادگیری عمیق تقویتی^۱ و هوش مصنوعی برای پاسخ به این چالش‌ها پیشنهاد شده است. در تحقیقاتی این روش‌ها باهدف یادگیری و تخمین الگوی بهینه مسیریابی بررسی شده‌اند.

۱-۲-۶ - مدیریت توابع مجازی شبکه

با به کارگیری فناوری مجازی‌سازی توابع شبکه و تحول در به کارگیری از منابع شبکه، چالش‌های جدیدی در بخش مدیریتی هسته شبکه ایجاد شد. این چالش‌ها عبارت‌اند از: ایجاد و ارائه سرویس به صورت انتها به انتها، نگاشت مجازی‌سازی شبکه به صورت انتها به انتها، فعال‌سازی توابع مجازی شبکه در موقعیت‌های مرتبط با سرویس درخواستی، تخصیص منابع فیزیکی به توابع شبکه مجازی. همچنین به کارگیری فناوری مجازی‌سازی توابع شبکه، به ایجاد چالش‌هایی در کارکرد تعیین و تصحیح خطا در برش‌های شبکه نیز منجر می‌شود. بنابراین این چالش‌ها باید در واحد مدیریت توابع برش شبکه پاسخ داده شود. وندوره‌های مختلفی بر روی بهره‌برداری و تجاری‌سازی برش شبکه فعالیت می‌کنند و به نظر می‌رسد واحدهای مدیریتی برش‌های شبکه آن‌ها، قادر به پاسخگویی به این چالش‌ها باشند.

۱-۲-۷ - به کارگیری برش شبکه در صنایع عمودی

از مهم‌ترین چالش‌های کاربردی، می‌توان به چالش‌های بکارگیری برش شبکه در صنایع عمودی اشاره کرد. در ادامه، چالش‌های برش شبکه مربوط به صنایع هوشمند بر اساس یکی از پایلوت‌های صنعتی ارائه شده است [۲].

در اواخر سال ۲۰۱۹ دو غول صنعت مخابراتی چین یعنی China Telecom و ZTE از اولین پایلوت و پیاده‌سازی برش شبکه نسل پنجم و محاسبات لبه سیار در کارخانه‌های هوشمند برای کمپانی Bluetron پرده برداشتند که نمونه‌ای از کاربردهای نسل پنجم سلولی را در صنایع عمودی نشان می‌داد. بر اساس گفته مسئولین این پروژه، این اولین پیاده‌سازی انتها به انتها برش شبکه نسل پنجم در کارخانه‌های هوشمند بوده است.

در این پروژه، ویدئوهای باکیفیت بالا توسط دوربین‌های صنعتی تهیه می‌شوند و از طریق شبکه نسل پنجم به سیستم‌های تحلیل و آنالیز صنعتی که در سرورهای لبه سیار قرار گرفته‌اند، ارسال می‌شوند و با تشخیص عیب و خطا در سیستم وارد عمل می‌شوند. برش شبکه نیز نقش اساسی در این پروژه ایفا می‌کند. برش شبکه، ارسال داده‌های با پهنای باند بالا و امنیت و ایزوله سازی مناسب را در مرحله اول و پردازش داده با تأخیر حداقل را در مرحله دوم تضمین می‌کند.

¹ Deep reinforcement learning

درواقع چالش‌های امنیتی و ایزوله سازی در کارخانه‌های هوشمند، اصلی‌ترین چالش به کارگیری شبکه نسل پنجم در این صنایع است. ایزوله سازی برش شبکه مربوط کارخانه‌های هوشمند از برش‌های دیگر شبکه به دلیل نیازمندی‌های این مورد کاربرد در ارتباط تجهیزات و نظارت و کنترل بر فرآیند جاری کارخانه از طریق داده‌های جمع‌آوری شده امری ضروری است. به این ترتیب در صورت بروز خطا و مشکلات امنیتی در برش‌های دیگر، برش مربوط به کارخانه هوشمند دچار خطا نخواهد شد. تأکید این پروژه بر روی تشخیص تصویری صنعتی است که در کارخانه‌های هوشمند انجام می‌شود. این پروژه، جریان مسیر بازی از اطلاعات را در تشخیص تصویری در صنایع هوشمند مورد پردازش قرار می‌دهد. چالش این بخش در آینده، جریان مسیر بسته شامل فرمان‌ها و کاربردهای کنترلی و مدیریتی در صنایع هوشمند است که باید مورد بررسی و پیاده‌سازی قرار گیرد به این معنا که تمامی کاربردهای کنترلی و مدیریتی در صنایع هوشمند توسط برشی از شبکه مختص به کاربرد صنایع هوشمند انجام می‌شود.

بخشی دیگر از چالش‌های برش شبکه، چالش‌های مطرح در زمینه مخابرات V2X و خودروهای برقی و خودران است [۳]. در اکوسیستم V2X، برش شبکه می‌تواند طیف گسترده‌ای از موارد کاربردی با نیازمندی‌های گوناگون را پشتیبانی کند. ویژگی‌های منحصربه‌فرد و پیچیده سرویس‌های V2X، اجازه نگاشت آن‌ها بر روی برش‌های شبکه متداول بر اساس دسته‌بندی سرویس‌های نسل پنجم را نمی‌دهد. بنابراین برای این دسته از صنایع عمودی، برش‌های شبکه بر اساس نیازمندی‌های عملی و معیارهای اصلی ارزیابی عملکرد مورد نیاز است. این برش‌ها به‌طور خلاصه عبارت‌اند از:

- یک برش شبکه برای خودروهای خودران با ویژگی تأخیر حداقلی و انتقال پایدار و مطمئن داده برای پردازش در لبه شبکه
- یک برش شبکه برای هدایت از راه دور وسایل نقلیه هدایت‌پذیر با تأخیر حداقلی و انتقال پایدار با این تفاوت نسبت به قبل که تعداد کاربران این برش بسیار کمتر هستند و در شرایط اضطراری بکار گرفته می‌شوند.
- یک برش برای کاربرانی که نیاز به پهنای باند بالا دارند و از چندین فناوری دسترسی بهره می‌برند. طراحی و برش‌های شبکه مورد نیاز فناوری V2X با چالش‌ها و مسائل زیر همراه است:
- طراحی برش شبکه انتها به انتها مربوط به V2X با قابلیت ترکیب پویای واحدهای شبکه دسترسی رادیویی و هسته شبکه
- تقویت و بهبود طرح برش شبکه چندوجهی 3GPP برای پیکربندی مناسب‌تر برش‌های شبکه. به‌طور معمول هر برش شامل Tenant ID و Slice type می‌تواند شامل پارامترهای مربوط به تحرک و موقعیت نیز باشد.

- خودروها و وسایل نقلیه باید به‌عنوان کاربران چند برش شبکه شناخته شوند که به‌طور هم‌زمان از چند برش استفاده می‌کنند همچنین چند مستأجری نیز در کاربرد V2X متداول است و عملیات مدیریتی برش‌های شبکه را به‌مراتب پیچیده‌تر می‌کند.

۳-۱- چالش مربوط به تجهیزات و سازندگان شبکه

با پیشرفت استانداردسازی شبکه نسل پنجم توسط 3GPP، وندوره‌های بزرگ مخابراتی در سرتاسر دنیا شروع به معرفی و ارائه محصولات خود به اپراتورهای شبکه همراه کردند. این محصولات بخش‌های شبکه دسترسی و هسته و شبکه انتقال و پایانه‌های شبکه همراه را شامل می‌شوند و غالباً نیازمندی‌های سرویس‌های مختلف را پوشش می‌دهند. وندوره‌های مخابراتی معمولاً محصولات خود را به‌صورت انتها به انتها ولی با قابلیت تطبیق با سایر محصولات ارائه می‌کنند، باین‌حال اپراتورها معمولاً از محصولات یک وندور برای شبکه خود بهره می‌برند. در ادامه به بررسی محصولات اصلی‌ترین وندوره‌های مخابراتی شبکه نسل پنجم می‌پردازیم [۴-۵].



شکل ۲-۱ نوآوری‌های HUAWEI مربوط به تجهیزات نسل پنجم [۴]

۳-۱-۱- چالش‌های مرتبط با تجهیزات هسته شبکه

معماری موردنظر HUAWEI برای هسته شبکه مبتنی بر مجازی‌سازی و فناوری محاسبات ابری است. این معماری شبکه از تمام فناوری‌های دسترسی پشتیبانی می‌کند و در ضمن قابلیت تکامل شبکه از معماری NSA به SA را نیز میسر می‌سازد. این معماری از فناوری جداسازی CUPS¹ که در گزارش مرحله اول به آن اشاره شد، پشتیبانی می‌کند و پیاده‌سازی منعطف عملکردهای لایه کاربر را بر اساس نوع سرویس ممکن

¹ Control and User plane separation

می‌سازد، به‌عنوان مثال برای سرویس‌هایی مانند واقعیت مجازی که نیاز به تأخیر حداقلی و پردازش سنگین دارند، این واحد در لبه شبکه پیاده‌سازی می‌شود. برش شبکه نیز از نوآوری‌های اساسی این نسل است که در بخش‌های مختلف شبکه و به‌صورت انتها به انتها بکار گرفته می‌شود. معماری ابری موردنظر امکان مجازی‌سازی توابع هسته شبکه را میسر می‌کند. همچنین سوئیچ‌ها و سخت‌افزارهای مجهز به SDN نیز پیاده‌سازی برش شبکه را در هسته شبکه نسل پنجم مهیا می‌کنند.

در مورد فناوری SDN، شرکت HUAWEI راهکارهایی در زمینه‌های مراکز داده و شبکه‌های کامپیوتری و اینترنت اشیا ارائه می‌کند. کنترل‌کننده نوین سیستم، بخش اصلی این راهکارهاست. این کنترلر به‌صورت انتها به انتها، خط‌مشی کنترل شبکه را پیاده‌سازی می‌کند. بر اساس مفاهیم SDN، کنترلر به‌صورت پویا منابع شبکه را مدیریت می‌کند. تجهیز نوین سوئیچ نیز از تجهیزات اصلی راهکار ارائه شده است که ویژگی آن، قابلیت برنامه‌نویسی در ارسال پاکت‌های داده با به‌کارگیری پردازشگر شبکه اترنت² (ENP) است. این پردازشگر، سخت‌افزاری برای عملکردهایی مانند ارسال و دریافت داده است که در مقایسه با سخت‌افزارهای متداولی مثل CPU و ASIC، دارای صرفه اقتصادی مطلوب‌تر و پیاده‌سازی منعطف‌تر است [6].

NOKIA نیز راهکار مخصوص خود را برای هسته شبکه نسل پنجم با نام تجاری AirGile معرفی کرده است. هسته شبکه مبتنی بر فناوری ابری با قابلیت مقیاس‌پذیری و انعطاف‌پذیری برای ارائه سرویس‌های پهن‌بند و اینترنت اشیا و سرویس‌های مختلف دیگر شبکه نسل پنجم است. AirGile بر اساس معماری نرم‌افزار محور با قابلیت محاسبات ابری از مزایای مجازی‌سازی واحدهای هسته شبکه نیز بهره می‌برد. موضوع چالش‌برانگیز در این حوزه قابلیت همکاری‌پذیری تجهیزات سازندگان متفاوت با یکدیگر می‌باشد که می‌بایست در طراحی شبکه مدنظر قرار داده شود.

۲-۳-۱- چالش‌های مرتبط با تجهیزات شبکه انتقال

یکی از چالش‌برانگیزترین بخش‌های شبکه نسل پنجم، مربوط به شبکه انتقال است؛ ظرفیت هر سایت در شبکه 5G می‌تواند تا هزار برابر افزایش یابد؛ تراکم بسیار بالای سلول‌ها و نیاز به ابعاد کوچک‌تر سلول برای استفاده از امواج میلی‌متری در شبکه دسترسی باعث می‌شوند که شبکه بسیار متراکم باشد. این تراکم چالش‌های متعددی را برای شبکه انتقال در 5G همراه خواهد داشت. با این حال راهکارهای بخش انتقال هنوز در حال بحث و پیشرفت هستند.

¹ Packet forwarding

² Ethernet Network Processor *

شبکه نسل پنجم باید قابلیت انتقالی معادل 10 GE^1 به سایت و $50/100 \text{ GE}$ از طریق فیبر نوری را داشته باشد تا مشخصات سرویس‌های نسل پنجم نظیر eMBB را تأمین نماید. در این حال سرعت انتقال بین واحد پردازشی و واحد رادیویی باید چیزی حدود 100 Gbps باشد. این مشخصات یکی از چالش‌برانگیزترین بخش‌های پیاده‌سازی شبکه نسل پنجم است. چالش‌های فنی این بخش که وندوره‌های شبکه با آن مواجه‌اند عبارت‌اند از:

- تراکم بالای لینک‌های بک‌هاال موجب محدود شدن استفاده مجدد فرکانس خواهد شد و نزدیک بودن لینک‌ها به هم، تخصیص طیف منابع فرکانسی شبکه انتقال را پیچیده‌تر خواهد کرد.
- نیازمندی‌های سنکرون‌سازی ایستگاه‌های پایه تغییر خواهد کرد و دقت بسیار بالاتر از LTE-A احتیاج خواهد بود.
- ایستگاه‌های پایه که دورتر از شبکه هسته می‌باشند باید به نحوی توسط شبکه بک‌هاال پشتیبانی شوند که کیفیت سرویس آنها حفظ شوند. در ایستگاه‌های پایه‌ای که تجمیع ترافیک بک‌هاال در آنها بسیار بالاست ممکن است ازدحام ایجاد شود و شبکه بک‌هاال قطع شود.
- پیاده‌سازی متراکم شبکه 5G نیاز به لینک‌های بک‌هاال بی‌سیم دارد که در حالت دید غیرمستقیم^۲ کار کنند، مصرف انرژی آن پایین باشد و نصب راحت داشته باشند بنابراین هزینه‌های پیاده‌سازی و استقرار شبکه بک‌هاال افزایش خواهد یافت [۷].

وندوره‌های مختلف برای رفع چالش‌ها، راهکارهای مختلفی بر اساس استانداردسازی 3GPP مانند فناوری مجتمع بک‌هاال-دسترسی^۳ (IAB) ارائه داده‌اند. اپراتورها و وندوره‌های شبکه می‌توانند از راهکارهای متنوعی برای شبکه انتقال خود بهره ببرند؛ با این حال، این راهکارها باید بر اساس فناوری IAB قرار داشته باشد. با این تفاسیر، نیاز به بازنگری فنی در تمام راهکارهای لینک انتقال ضروری بنظر میرسد. با بکارگیری فناوری IAB، پاسخ به برخی چالش‌های اشاره شده مثل تخصیص بهینه منابع، استفاده از سیستم‌های مدیریت و ارکستراسیون، کاهش هزینه‌ها به سبب پیاده‌سازی توأماً لینک‌های دسترسی و انتقال مقدور خواهد بود. راهکار اولیه HUAWEI، مبتنی بر چندین فناوری است. این شرکت برای شبکه انتقال جلویی راهکاری مبتنی بر فیبر نوری و فناوری‌های WDM^۴ و OTN^۵ را پیشنهاد کرده است که از سرویس‌های مختلف شبکه پشتیبانی می‌کند. همچنین HUAWEI طرح XHAUL برای به کارگیری در شبکه انتقال را برای اپراتورها ارائه می‌دهد.

¹ Gigabit Ethernet

² Non-line-of-sight

³ Integrated Access Backhaul

⁴ Wavelength division Multiplexing

⁵ Optical transport network

اریکسون در بحث شبکه انتقال جلویی دو محصول لینک جلویی^۱ 6000 passive/active را معرفی کرده است که از فناوری‌های انتقال نوری مانند DWDM^۲ و پروتکل‌هایی مانند Ethernet و eCPRI در شبکه انتقال بهره می‌برد. سرعت انتقال در این محصولات حداکثر 25 Gbps است. همچنین کمپانی Ericsson، سوئیچ‌ها و روترهای مجهز به SDN برای شبکه‌های نسل پنجم معرفی کرده است. روتر ۶۲۷۴ با ظرفیت فوروارده حدوداً 2.7 Tbps و مسیریاب ۶۲۷۳ با ظرفیت فوروارده حدوداً 2.4 Tbps که در شبکه انتقال نسل پنجم اریکسون از آن‌ها استفاده می‌شود. چالش پیش‌روی وندوره‌های شبکه در زمینه شبکه انتقال، احتمالاً به ارائه محصولات مرتبط با استانداردهای 3GPP مثل فناوری IAB است. به‌عنوان مثال سامسونگ در بخش شبکه انتقال از فناوری IAB بهره خواهد برد. راهکار IAB این شرکت، اجازه پیاده‌سازی منعطف لینک انتقال را به‌وسیله واحد IAB-MT^۳ و واحد توزیع شده IAB-DU^۴ می‌دهد. واحد IAB-MT می‌تواند به‌صورت مستقل و در دیدرس واحد IAB-Donor قرار گیرد. راهکار سامسونگ، همچنین اجازه پیاده‌سازی لینک فیبر نوری را در کنار فناوری IAB می‌دهد. به این ترتیب که واحد IAB-MT فقط در بخش‌هایی از شبکه که نیاز به لینک انتقال بی‌سیم است بکار گرفته شود. واحدهای IAB-MT و IAB-Donor می‌توانند از طیف‌های فرکانسی جدید مانند 39 GHz نیز استفاده کنند [۸].

۳-۳-۱- چالش‌های مرتبط با تجهیزات شبکه دسترسی رادیویی

پیش‌بینی می‌شود پیاده‌سازی اولیه شبکه نسل پنجم در نواحی پرتراکم شهری صورت گیرد. در این بخش، چالش اصلی، سایت‌های نصب تجهیزات شبکه نسل پنجم است که باید پوشش حداکثری ایجاد کند. محصولات و راهکارهای شرکت HUAWEI به‌صورت گسترده از باندهای فرکانسی موج میلی‌متری پشتیبانی می‌کند و از سایت‌های متداول و کنونی نیز پشتیبانی می‌کند.

HUAWEI برای بهره‌مندی کاربران و ارائه‌دهندگان سرویس از نرخ‌های داده چند Gbps سیستم Massive MIMO با قابلیت آنتن فعال^۵ یا به‌اختصار AAU با ۳۲ یا ۶۴ فرستنده و گیرنده معرفی کرده است. واحدهای آنتن فعال از شکل‌دهی پرتو سه‌بعدی^۶ بهره می‌برند و ناحیه تحت پوشش مناسبی برای سناریوها و سرویس‌های مختلف ایجاد می‌کنند. بعلاوه این محصولات قابلیت پیاده‌سازی در سازه‌های شهری برای افزایش ظرفیت شبکه را دارند و از برای این کار از واحدهای کوچکی بنام lamppsite استفاده می‌کند.

¹ fronthaul

² Dense Wavelength Division Multiplexing

³ IAB mobile termination

⁴ IAB distributed unit

⁵ Active Antenna Unit

⁶ 3D beamforming



شکل ۳-۱ نصب واحدهای Massive MIMO در سازه‌های شهری [۵]

شبکه دسترسی در نسل پنجم مخابرات سلولی با پیاده‌سازی شبکه دسترسی متمرکز ابری^۱ و شبکه دسترسی توزیع‌شده^۲ به صورت توأمان مورد انتظار است. به این منظور HUAWEI از دو محصول BBU5900 برای سایت‌های توزیع‌شده و CBU5900 برای سایت‌های متمرکز بهره می‌برد. هر دو واحد از تمامی فناوری‌های شبکه دسترسی (3G-4G-5G) در تمامی باندهای فرکانسی مربوط پشتیبانی می‌کند. با به‌کارگیری واحد متمرکز، هزینه‌های راه‌اندازی سایت و مصرف انرژی برای تهویه هوا کاهش می‌یابد. به علاوه، قابلیت کنترل و مدیریت منابع نیز عملکرد شبکه را در مقیاس بزرگ به مراتب بهبود می‌دهد.

کمپانی دیگری که در بخش تجهیزات شبکه دسترسی رادیویی فعال است Ericsson است. این کمپانی محصولات مختلفی در بخش شبکه دسترسی دارد که به‌اختصار به آن‌ها اشاره می‌شود. Ericsson از آنتن‌های فعال با فناوری MASSIVE MIMO و پرتودهی پیشرفته استفاده می‌کنند. علاوه بر این، محصول Interleaved AIR 3237 شامل ۳۲ یا ۶۴ فرستنده و گیرنده MASSIVE MIMO و در باندهای میانی نسل پنجم قابل استفاده است. با این حال، محدودیت در تعداد فرستنده-گیرنده‌های این محصولات، چالش پیشروی این اپراتور است. در بخش سلول‌های کوچک و indoor، این کمپانی محصول radio dot را معرفی کرده است که گذردهی را تا 2Gbps افزایش می‌دهد. به نظر می‌رسد تطابق محصولات مربوط با فناوری محاسبات لبه در مرحله پژوهش برای این وندور قرار دارد.

وندور دیگر فعال در زمینه تجهیزات شبکه دسترسی NOKIA است. این کمپانی تمام محصولات و تجهیزات شبکه دسترسی رادیویی خود را با عنوان تجاری NOKIA AirScale معرفی کرده است. ایستگاه پایه AirScale، شامل واحدها و سیستم‌های indoor و outdoor می‌باشد. آنتن‌های فعال AirScale، با قابلیت پیاده‌سازی سریع برای جبران ظرفیت در شبکه و AirScale massive MIMO معرفی شدند که قابلیت افزایش گذردهی و افزایش بهره‌وری طیف را دارند و از شبکه نسل پنجم پشتیبانی می‌کنند؛ با این حال، محدودیت‌هایی مثل تعداد فرستنده و گیرنده در محصولات نوکیا نیز وجود دارد. AirScale Cloud RAN، نیز محصول مربوط به شبکه CRAN نوکیاست که قابلیت‌هایی مانند مقیاس‌پذیری و بهره‌وری انرژی و

¹ CRAN

² DRAN

مجازی‌سازی با به‌کارگیری SDN و NFV را در شبکه دسترسی ایجاد می‌کند و قابلیت به‌کارگیری توأمان با سرورهای محاسبات لبه نیز در این محصول وجود دارد.

۴-۳-۱- چالش‌های مرتبط با تجهیزات مشترکین صنعتی [۹]

در زمینه تجهیزات سمت کاربر نظیر مودم‌ها و گوشی‌های هوشمند، دو وندور HUAWEI و QUALCOMM پیشرو هستند. کمپانی HISILICON، یکی از زیرمجموعه‌های HUAWEI است که در بخش تراشه‌ها و پردازنده‌ها، فعال است. BALONG 5000 محصول این کمپانی، پردازنده مودم‌های نسل پنجم شرکت HUAWEI به نام تجاری HUAWEI 5G CPE PRO است. پردازنده اشاره‌شده مجموعه‌ای از محصولات نسل پنجم مانند گوشی‌های هوشمند نسل پنجم و مودم‌ها و ماژول‌های IoT را پشتیبانی می‌کند. این پردازنده از نسل‌های قبلی شبکه سلولی نیز پشتیبانی می‌کند و بنا به گفته HUAWEI قادر است در ارسال فروسو به نرخ معادل 6.5 Gbps در باندهای فرکانس بالا برسد. مودم 5G CPE PRO، جزو مودم‌های خانگی محسوب می‌شود که شرکت‌هایی با سایز کوچک تا متوسط را نیز پشتیبانی می‌کند. از نقطه نظر اقتصادی، مودم 5G CPE PRO با قیمتی حدود ۵۰۰ دلار و گوشی‌های هوشمند این کمپانی با قیمتی معادل ۱۰۰۰ دلار به فروش می‌رسند. مودم دیگر HUAWEI، با قابلیت به‌کارگیری در محیط‌های بزرگ‌تر و outdoor معرفی شده است 5G CPE WIN نام دارد که طبق مشخصات ارائه‌شده، از رنج دمایی ۵۵- درجه سانتی‌گراد را دارد و به‌صورت NSA و SA قابل استفاده است و به نظر می‌رسد برای محیط‌های صنعتی مناسب باشد.

QUALCOMM، کمپانی مهم دیگری در زمینه تجهیزات سمت کاربر 5G می‌باشد. این کمپانی تراشه Snapdragon X50 5G Modem را برای پیاده‌سازی در گوشی‌های هوشمند نسل پنجم و مودم‌های ثابت نسل پنجم ارائه کرده است که بهره‌وری انرژی بهتر و ابعاد کمتری از تراشه HUAWEI دارد و معماری NSA و استاندارد REL-15 را پشتیبانی می‌کند. تراشه دیگری به نام تجاری Snapdragon X55 5G Modem که قابلیت به‌کارگیری در معماری SA و استاندارد REL-16 را نیز دارد به تازگی ارائه شده است. همچنین تراشه‌های QUALCOMM برخلاف تراشه HUAWEI در باند فرکانسی موج میلی‌متری نیز قابل استفاده‌اند. تراشه‌های ذکرشده قابلیت به‌کارگیری در ماژول‌های IoT را نیز دارند. مودم‌های IoT این کمپانی، شبکه نسل چهارم و REL-14 را پشتیبانی می‌کنند و هنوز مودم‌های IoT با قابلیت به‌کارگیری در شبکه نسل پنجم توسط این کمپانی معرفی نشده است.

کمپانی فعال دیگر در زمینه تراشه‌ها و مودم‌های 5G، شرکت سامسونگ است. این شرکت، علاوه بر پردازنده‌های گوشی‌های هوشمند نسل پنجم، چند مودم نسل پنجم نیز معرفی کرده است. مودم‌های سامسونگ با نام تجاری SFG-D0100 5G و SFG-D1100 5G، قیمتی بالاتر از مودم HUAWEI و حداکثر نرخ داده فروسویی معادل 1Gbps دارد و از باندهای فرکانسی موج میلی‌متری نیز پشتیبانی می‌کند.

پایداری و حفظ عملکرد مناسب تجهیز در شرایط سخت صنعتی و رعایت استانداردهای محیطی مناسب از جمله چالش‌های پیش‌رو در این دسته هست. همچنین بدیهی است که قیمت تمام شده ماژول 5G در IoT باید پایین باشد که این جزو چالش‌های بزرگ پیش‌روی سازندگان می باشد.

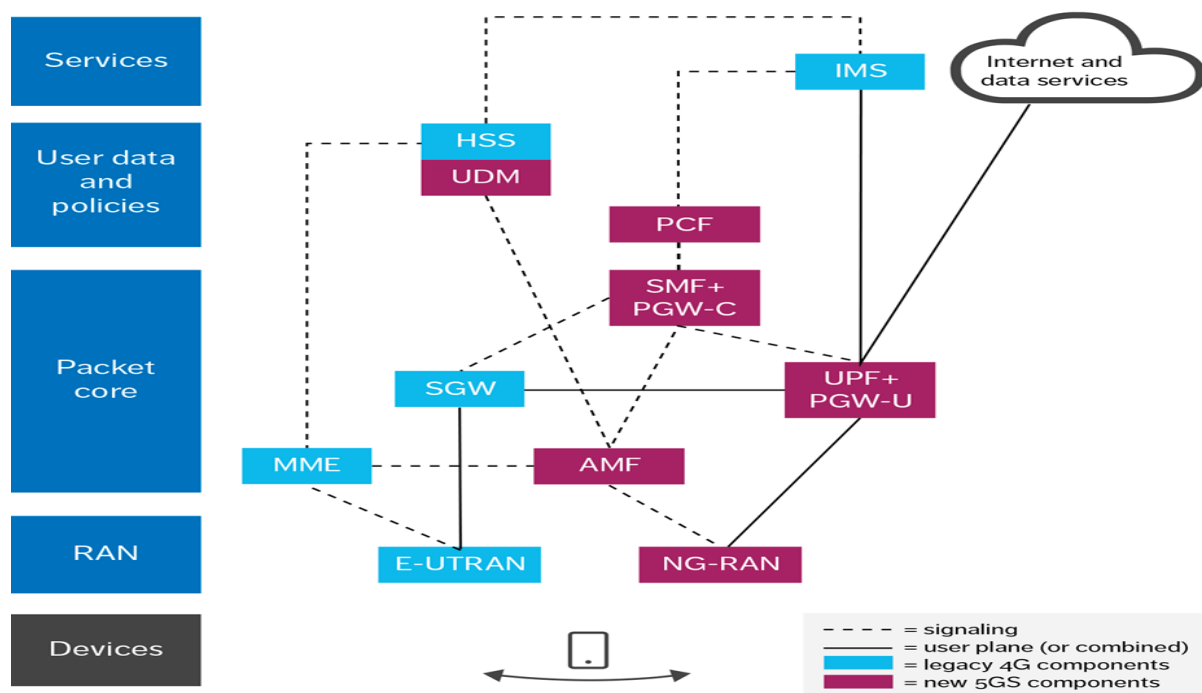
۴-۱- چالش‌های فنی اپراتورها و ارائه‌دهندگان سرویس

۴-۱-۱- چالش‌های فنی مهاجرت از شبکه نسل چهارم به شبکه نسل پنجم [۱۰]

پیاده‌سازی یک فناوری جدید در سطح گسترده همواره با چالش‌های مختلفی مواجه است. شبکه سلولی نسل پنجم نیز از این قاعده مستثنا نیست. هم‌اکنون وندوره‌های مختلف در حال معرفی و عرضه محصولات منطبق با فناوری نسل پنجم خود هستند ولی مهاجرت به شبکه نسل پنجم از نظر اپراتورهای شبکه در مراحل آغازین خود قرار دارد. در این بخش برخی از چالش‌های فنی پیش‌رو برای مهاجرت به شبکه نسل پنجم بررسی می‌شود.

مهاجرت به شبکه نسل پنجم نیاز به استراتژی جامع با در نظر گرفتن بخش‌های مختلف شبکه، استراتژی ناحیه تحت پوشش، اشتراک تجهیزات و مکان ارائه سرویس دارد. هسته شبکه نسل پنجم مبتنی بر پکت‌های داده، توابع و رابط‌ها و پروتکل‌های جدیدی را تعریف می‌کند که از مهاجرت شبکه دسترسی NG-RAN¹ پشتیبانی می‌کند. همچنین این توابع باید از معماری بر اساس سرویس شبکه نسل پنجم و فناوری برش شبکه برای ایجاد برش‌هایی از شبکه بر اساس سرویس موردنیاز نیز پشتیبانی کند.

¹ Next generation RAN



شکل ۴-۱ معماری توام EPC و 5GC [۱۰]

اپراتورهای LTE و NR^۱ می‌توانند از هسته شبکه نسل پنجم که به‌طور توام با هسته EPC^۲ پیاده‌سازی شده استفاده کنند. این به‌کارگیری توام در شکل ۴-۱ نشان داده شده است. برای ایجاد قابلیت اتصال و تبادل میان دسترسی شبکه نسل پنجم و چهارم از یک نقطه شاخص در لایه کاربر^۳ بین واحد SMF و PGW-U و بین SMF و PGW-C استفاده می‌شود. این معماری توام این امکان را می‌دهد تا پایانه‌هایی با قابلیت اتصال به شبکه نسل پنجم، همواره به UPF هسته شبکه نسل پنجم متصل شوند (بدون توجه به شبکه دسترسی نسل چهارم و پنجم).

یک استراتژی مهاجرت صحیح از شبکه نسل چهارم به نسل پنجم باید چالش‌های مربوط به همه بخش‌های شبکه را پاسخگو باشد.

- شبکه دسترسی: شبکه دسترسی نسل پنجم یا NR شامل طیف‌های فرکانس میانی و فرکانس بالا است. شبکه دسترسی با این طیف دارای ناحیه تحت پوشش محدود و در حد شبکه‌های محلی است. برخی از کاربردها و سرویس‌ها نیاز به ناحیه تحت پوشش بالا و دسترسی مناسب است. بنابراین لازم است تبادل بین شبکه دسترسی نسل چهارم و شبکه دسترسی نسل پنجم به حداقل برسد. دسترسی به نرخ داده و پوشش بالا نیاز به ترکیب طیف‌های فرکانس بالا برای نرخ داده بالاتر و طیف‌های فرکانس پایین برای پوشش مناسب است. فناوری تجمیع طیف (CA)^۴، قابلیت تجمیع باندهای فرکانسی برای

^۱ Next Radio 5G

^۲ Evolved packet core

^۳ User plane

^۴ Carrier aggregation

پاسخ‌گویی به افزایش تعداد پایانه‌های شبکه نسل پنجم را می‌دهد. به‌کارگیری این فناوری در طیف‌های فرکانس پایین و همین‌طور میانی باعث افزایش ناحیه پوشش و افزایش ظرفیت می‌شود. چالش اصلی در این مورد مربوط به اپراتورهاست. به‌عنوان مثال اپراتور همراه اول حدود 60MHz پهنای باند در اختیار دارد و به‌کارگیری این فناوری با محدودیت در پهنای باند موجود، چالش‌برانگیز است. همچنین برای پشتیبانی از سرویس‌های نوین، شبکه دسترسی نسل پنجم باید قابلیت‌های پیشرفته‌ای مانند موقعیت‌یابی و ارزیابی کیفیت سرویس را پشتیبانی کند.

- هسته شبکه: مشخصات اولیه شبکه نسل پنجم اجازه مهاجرت شبکه دسترسی و هسته شبکه به‌صورت مجزا را مانند مهاجرت از نسل سوم به چهارم ایجاد کرد. استانداردسازی جداسازی توابع Gateway، به دودسته لایه کاربر و لایه کنترل در نسل چهارم توسط 3GPP تکمیل شد که بنام CUPS شناخته می‌شود و همچنین به‌کارگیری توام هسته شبکه نسل چهارم و شبکه نسل پنجم، راهکارهای مختلفی برای مهاجرت هسته شبکه نسل چهارم به نسل پنجم به وجود می‌آید. به‌عنوان مثال، می‌توان راهکار CUPS و به‌کارگیری توام هسته را باهم به‌پیش برد و بدین ترتیب ظرفیت قابل تخصیص به پایانه‌های فعال نسل پنجم را افزایش داد.

- تجهیزات سمت کاربر: به‌کارگیری توام شبکه نسل چهارم و نسل پنجم در زمینه تجهیزات سمت کاربر و مودم‌های صنعتی، منجر به چالش‌هایی مربوط به اتصال مودم به شبکه می‌شود. به‌طور دقیق‌تر، برخی مودم‌های نسل چهارم که در صنعت برق بکار گرفته می‌شوند قابلیت تطابق و به‌کارگیری در شبکه‌های نسل قبلی خود را ندارند. مودم‌های نسل پنجم، به‌طور معمول قابلیت تطابق با فناوری‌های دسترسی پیش از خود را دارند. با این حال، موضوع دسترسی مودم‌های نسل چهارم و پنجم به فناوری‌های دیگر باید مورد توجه باشد. چالش دیگر مربوط به فناوری CSFB¹ هست. این فناوری قابلیت استفاده از شبکه با سوئیچ‌های مداری را به تجهیزات شبکه با سوئیچ‌های IP می‌دهد. به‌عنوان مثال یک پایانه LTE برای ارسال پیام کوتاه با استفاده از شبکه 3G یا GSM از این فناوری بهره می‌برد. نکته چالش‌برانگیز این است که در به‌کارگیری شبکه نسل پنجم ممکن است امکان استفاده از این فناوری برای پایانه‌ها ممکن نباشد.

همان‌طور که اشاره شد، مدیریت مهاجرت از نسل چهارم به نسل پنجم نیازمند استراتژی‌ای است که همه بخش‌های شبکه را پوشش دهد و به بخش‌هایی مانند ناحیه تحت پوشش و ارتقا تجهیزات مورد استفاده نیز توجه داشته باشد. در این بخش به مواردی از راهکارهای مهاجرت به نسل پنجم اشاره شد.

¹ Circuit switched fall back

۲-۴-۱- چالش‌های مدیریتی و هماهنگ‌سازی ارائه‌دهندگان سرویس

جایگزینی طرح‌های مبتنی بر سخت‌افزار با طرح‌های مبتنی بر نرم‌افزار با کمک فناوری‌های SDN/NFV باعث تغییر در نحوه مدیریت و کنترل شبکه‌ها می‌شود. همچنین نیاز به راهکارهایی برای هماهنگ‌سازی و ارکستراسیون منابع و توابع شبکه نیز قابل مشاهده است. چارچوب ETSI MANO راهکارهایی چون مدیریت چرخه حیات و پیاده‌سازی توابع شبکه مجازی را ارائه کرده است و بر اساس آن راهکارها و طرح‌های دیگری نیز معرفی شده‌اند که بر اساس آن‌ها می‌توان به توابع شبکه مجازی و حقیقی را مدیریت و هماهنگ‌سازی کرد و به طرح برش شبکه انتها به انتهای موردنظر دست پیدا کرد. با این حال، هنوز دستیابی به طرح‌های پیچیده برای مدیریت و ارکستراسیون برش شبکه که مشخصات و نیازمندی‌های برش‌ها و سرویس‌های مختلف را فراهم کنند چالش برانگیز است. با این وجود وندوره‌های شبکه، طرح‌های مدیریت و ارکستراسیون شبکه را که قادر به پاسخگویی به چالش ذکر شده باشد ارائه کرده‌اند و در مرحله بهره‌برداری از این طرح‌ها قرار دارند.

گروه 5GMF¹، با بررسی چهار مورد کاربردی شبکه‌های نسل پنجم که عبارت‌اند از؛ سرگرمی، حمل‌ونقل، صنایع عمودی و وقایع و حوادث اضطراری، چالش‌های زیر را در شبکه برای ارائه سرویس با به‌کارگیری برش در نسل پنجم مطرح کرده است [۱۲].

- مدیریت و ارکستراسیون شبکه با قابلیت مقیاس‌پذیری بالا
- کنترل چرخه حیات برش‌های شبکه بر اساس سرویس ارائه شده
- ترافیک باید بر اساس سرویس و شرایط لینک انتقال، توسط نرم‌افزارهای مربوطه در هر برش شبکه به صورت پویا کنترل شود که این کنترل شامل ساختار توابع شبکه مجازی، توپولوژی انتقال و پهنای باند انتقال هست.
- منابع زیرساختی شبکه باید به صورت منطقی برای استفاده، به اشتراک گذاشته شوند. در حالت idle نیز باید قابلیت اشتراک‌گذاری منابع وجود داشته باشد. این نحوه مدیریت منابع باید به کاهش هزینه‌ها منجر شود.

منطقی است که معرفی فناوری مجازی‌سازی شبکه و برش‌بندی شبکه منجر به ایجاد مجموعه‌ای از توابع مدیریتی جدید که مربوط به مدیریت و ایجاد چرخه حیات توابع شبکه مجازی شده است. این توابع مدیریتی باید عملکردهای مربوط به چرخه حیات توابع شبکه مجازی مانند فعال‌سازی تابع شبکه مجازی، بروزرسانی و غیره را پشتیبانی کنند. همچنین توابع مدیریتی توابع شبکه مجازی باید شامل واحدهای مدیریت عملکرد، مدیریت خطا، مدیریت پیکربندی نیز باشند. همه واحدهای مذکور به عنوان بخش ارکستراسیون توابع شبکه

¹ گروه 5GMF، گروهی تحقیقاتی پیرامون موارد کاربردی شبکه نسل پنجم است که زیر نظر ITU در کشور ژاپن فعالیت می‌کند.

محسوب می‌شوند. به موازات ارکستراسیون، به تهدیدهای امنیتی نیز باید پاسخ داده شود. اول اینکه مشخص است که شبکه نسل پنجم با سرویس‌های جدید و تهدیدهای جدید نیاز مواجه است به عنوان مثال مسئله جعل هویت در سطح ارائه‌دهندگان سرویس گسترش خواهد یافت. دوم اینکه، با به کارگیری ارکستراسیون در شبکه نسل پنجم تهدیدهای امنیتی به صورت کارآمدی قابل مقابله است. سوم اینکه برخی تهدیدهای مربوط به سرویس‌های جدید نیاز به طرح‌های امنیتی نوینی دارند [۱۳].

چالش‌های اصلی سیستم مدیریت و ارکستراسیون شبکه نسل پنجم عبارت‌اند از:

- پیاده‌سازی سیستم ارکستراسیون منعطفی که از کاربردهای مختلف شبکه و سخت‌افزارهای شبکه پشتیبانی کند.
- به کارگیری و پیاده‌سازی سیستم امنیتی متناسب با ویژگی‌های شبکه نسل پنجم
- تجمع واحد مدیریتی جدید با واحدهای OSS/BSS کنونی سیستم

۵-۱- جمع‌بندی

در این فصل به چالش‌های فنی به کارگیری شبکه نسل پنجم پرداخته شد. در ابتدا چالش‌های پژوهشی فناوری برش شبکه به عنوان فناوری کلیدی در سرویس‌های مربوط به صنایع عمودی همچون صنعت برق بررسی شد. سپس به چالش‌های فنی مرتبط با مهاجرت از نسل چهارم به نسل پنجم پرداخته شد. در این بخش سناریوهای مهاجرت و معماری به کارگیری توام شبکه نسل چهارم و شبکه نسل پنجم نیز بررسی شد. در ادامه به چالش‌های مربوط به تجهیزات بخش‌های مختلف شبکه نظیر تجهیزات مربوط به شبکه دسترسی و سوئیچ‌ها و تجهیزات سمت کاربر پرداخته شد.

در این بخش به ساختار بندی چالش‌های اشاره شده در این فصل خواهیم پرداخت. همان‌طور که در مقدمه فصل اشاره شد چالش‌های فنی به چند دسته قابل تقسیم هستند که در جدول ۱-۴ قابل مشاهده است.

جدول ۱-۱ جمع‌بندی چالش‌های فنی

چالش‌های وندورها و تجهیزات شبکه	چالش‌های اپراتورها و ارائه‌دهندگان سرویس	چالش‌های بخش پژوهشی	
چالش‌های وندورها و تجهیزات شبکه	مدیریت و ارکستراسیون منابع و سرویس‌ها. چالش‌های بکارگیری توام هسته شبکه در مهاجرت از شبکه نسل چهارم به پنجم. ایجاد ایزوله سازی مناسب برای صنایع عمودی مختلف مانند کاربرد صنایع هوشمند	مجازی‌سازی توابع شبکه. جداسازی لایه کاربر و لایه کنترل در به‌کارگیری توام شبکه نسل چهارم و پنجم.	چالش‌های مربوط به هسته شبکه
ارائه تجهیزات مربوط به ارکستراسیون شبکه و سوئیچ‌های مجهز به SDN	چالش‌های مربوط به ایجاد ناحیه تحت پوشش با به‌کارگیری توام شبکه نسل چهارم و پنجم	ارکستراسیون شبکه دسترسی. چالش‌های امنیتی مربوط به برش شبکه در شبکه دسترسی تخصیص منابع پویا از طریق روش‌های نوین مدیریت تحرک در شبکه کنترل و مدیریت ترافیک در برش‌های شبکه به‌وسیله کنترل توابع و منابع شبکه .	چالش‌های مربوط به شبکه دسترسی
ارائه محصولات سمت کاربر مانند مودم خانگی و صنعتی با قیمت مناسب. ارائه ماژول‌های IoT قابل اتصال به شبکه نسل پنجم برای کاربردهای صنایع عمودی پایداری و حفظ عملکرد مناسب تجهیز در شرایط سخت صنعتی و رعایت استانداردهای محیطی مناسب پشتیبانی تجهیزات از نسل‌های قبلی	چالش‌های مربوط به عملکرد شبکه و ارزیابی عملکرد شبکه بر اساس تجربه کاربر.		چالش‌های مربوط به بخش صنعتی

۶-۱- مراجع فصل اول

- [1] L. U. Khan, I. Yaqoob, N. H. Tran, Z. Han and C. S. Hong, "Network Slicing: Recent Advances, Taxonomy, Requirements, and Open Research Challenges," IEEE Access
- [2] <https://www.lightreading.com/the-first-network-slice-trial-for-intelligent-manufacturing-how-does-the-value-of-5g-reflect/a/d-id/755526>
- [3] C. Campolo, A. Molinaro, "5G Network Slicing for Vehicle-to-Everything Services" IEEE Wireless Communications
- [4] <https://www.cnbc.com/advertorial/huawei-launches-full-range-of-5g-end-to-end-product-solutions/>
- [5] <https://carrier.huawei.com/en/trends-and-insights/emsite/5g-oriented-site-evolution>
- [6] <https://actfor.net.com/huawei-cloud/sdn.html>
- [7] <https://www.infovista.com/blog/5g-backhaul-challenges>
- [8] <https://www.samsung.com/global/business/networks/solutions/wireless-backhaul/>
- [9] <https://5gobservatory.eu/market-developments/5g-products>
- [10] Ralf Keller, Torbjörn Cagenius, Anders Ryde, David Castellanos, "5G migration strategy from EPS to 5G system", Ericsson technology review magazine, #1.2020
- [11] <https://www.gsma.com/futurenetworks/wiki/operator-requirements-for-5g-core-connectivity-option/>
- [12] 5GMF Whitepaper, "Typical Usage Scenarios of 5G"
- [13] K. Sienkiewicz, W. Latoszek and P. Krawiec, "Services orchestration within 5G networks — Challenges and solutions", 2018 Baltic URSI Symposium (URSI)
- [14] Barakabitze, Alcardo Alex et al. "5G Network Slicing Using SDN and NFV: A Survey of Taxonomy, Architectures and Future Challenges." Computer Networks 167 (2020)

فصل ۲- امنیت 5G و ملاحظات آن با رویکرد تأمین زیرساخت ارتباطی در شبکه

هوشمند

۲-۱- مقدمه

برای پیاده‌سازی نسل پنجم شبکه‌های موبایل با نیازمندی‌های فراوانی روبه‌رو هستیم که یکی از این نیازمندی‌ها، نیازمندی‌های امنیتی است. نسل پنجم شبکه‌های موبایل فقط برای دستگاه‌های موبایل یا در نهایت تبلت یا نوت بوک نیست و هر چیزی که به اینترنت وصل می‌شود به‌طور خودکار کاربر شبکه خواهد بود. امنیت داده در شبکه‌های مخابراتی و کامپیوتری از جنبه‌های متفاوتی مانند رمزنگاری، احراز اصالت، یکپارچگی، تازگی و مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد و برای تأمین آن‌ها راهکارهای متفاوتی نیز پیشنهاد شده است؛ در این فصل، معماری و ملاحظات امنیتی 5G به اختصار شرح داده شده است.

همچنین با توجه به اهمیت شبکه‌های هوشمند انرژی به‌عنوان یک زیرساخت حیاتی، در ادامه این فصل بر روی چالش‌های امنیتی 5G در این شبکه‌ها تمرکز شده است و تلاش شده با توجه به مفاهیم موجود، راه‌حل‌های کارآمد برای مقابله با این چالش‌ها پیشنهاد گردد.

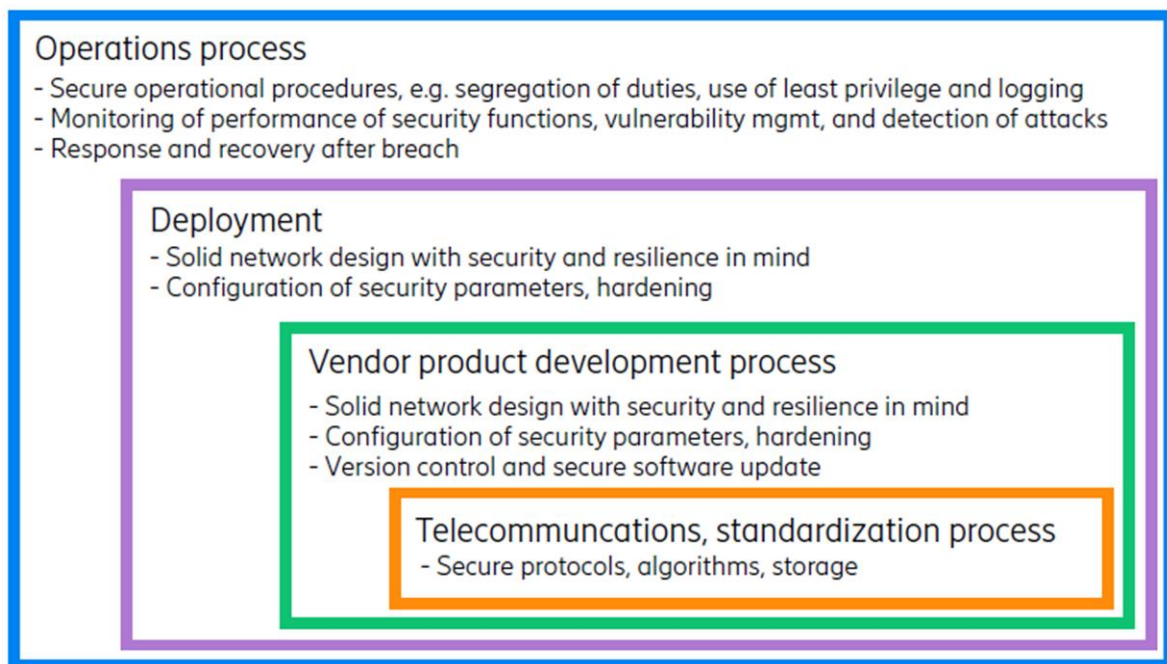
در واقع، ارتقاء و هوشمندسازی شبکه برق، به فناوری اطلاعات و زیرساخت مخابراتی امن شدیداً وابسته است. این نیاز بر پایه چارچوب امنیتی برای ارتباطات و محاسبات توزیع شده و فناوری حسگری در شبکه هوشمند هست. اما بسیاری از فناوری‌های مخابراتی که برای استفاده شبکه هوشمند پیشنهاد شده‌اند، در برابر حملات سایبری آسیب‌پذیر می‌باشند. این آسیب‌پذیری‌ها می‌تواند منجر به عدم قابلیت اطمینان عملکردی سیستم، هزینه‌های غیرضروری و حتی فاجعه‌های پی‌درپی برای تولیدکنندگان، بهره‌برداران انرژی و مشترکین شود. در ادامه مطالب ارائه شده در این فصل، به بررسی توانایی‌های امنیتی شبکه 5G در برآورده کردن نیازهای امنیتی شبکه هوشمند پرداخته خواهد شد.

۲-۲- معماری و ملاحظات امنیتی 5G

استانداردسازی از ابتدای ظهور شبکه‌های تلفن همراه جهانی مانند GSM یا 2G نقشی حیاتی داشته است. در این فرآیند، اپراتورها و فروشندگان^۱ دستگاه‌های شبکه در مورد چگونگی همکاری شبکه‌های سراسر جهان و چگونگی محافظت از شبکه‌ها و کاربران در برابر عوامل مخرب توافق می‌کنند. فروشندگان شبکه، استانداردهای مورد توافق را برای عناصر و سیستم‌های عملکردی شبکه ترجمه می‌کنند. طراحی و توسعه

¹ Vendors

توسط فروشنده شبکه بخشی اساسی در عملکرد و همچنین ایمن بودن محصول نهایی شبکه است در مرحله استقرار^۱، شبکه‌ها برای سطح امنیتی هدفمند طراحی و پیکربندی می‌شوند. در این مرحله تنظیم پارامترهای امنیتی در اجرای سخت‌افزاری مورد توجه است. در مرحله بهره‌برداری، فرایندهای بهره‌برداری که شبکه را تسهیل می‌کنند و سطح امنیتی هدفمندی را ارائه می‌دهند، وابستگی زیادی به استقرار و عملکرد شبکه دارند. در شکل زیر ارتباط داخلی این مراحل نشان داده شده است. این مراحل همان‌طور که ذکر شد نشان‌دهنده مراحل ظهور ملاحظات امنیتی هر یک از نسل‌های شبکه سلولی هستند [۱].



شکل ۵-۱ ملاحظات امنیتی کلیدی [۲]

این بخش شامل مروری بر برخی از مهم‌ترین سرویس‌های امنیتی ارائه شده توسط استاندارد 3GPP برای محافظت از اتصال برای کاربران و در دسترس بودن سرویس و شارژ توسط اپراتور شبکه است. استانداردهای سیستم 3GPP 5G مکانیسم‌های امنیتی را ارائه می‌دهند که مبتنی بر مکانیسم‌های امنیتی 4G هستند که به خوبی اثبات شده‌اند، اما همچنین شامل پیشرفت‌های جدیدی برای مثال رمزگذاری، احراز هویت و حریم خصوصی کاربر نیز هست. در ادامه به ملاحظات امنیتی مطرح شده در استاندارد می‌پردازیم و توضیح مختصری درباره آن‌ها خواهیم داد.

¹ Deployment

• احراز هویت متقابل

استفاده‌کنندگان از سیستم 5G، احراز هویت می‌شوند تا از شارژ دسترسی به شبکه، پاسخگویی (مثلاً کدام کاربر آدرس IP را در چه زمانی داشته باشد) و قانونی رهگیری پشتیبانی کنند. این شبکه همچنین برای کاربران نهایی احراز هویت می‌شود تا کاربران نهایی بدانند که به یک شبکه قانونی متصل هستند.

• محرمانه بودن اطلاعات رابط کاربری

اطمینان از محرمانگی رابط کاربری با رمزگذاری داده‌های کاربر نهایی (داده‌های واقعی ترافیکی که در حال انتقال هستند) هنگام عبور این داده‌ها از شبکه تلفن همراه برای جلوگیری از شنود از طریق هوا یا سیم‌ها، حاصل می‌شود. هنگامی که داده‌ها از سیستم 5G خارج می‌شوند و اینترنت را مرور می‌کنند، استاندارد 3GPP محرمانه بودن را تضمین نمی‌کند.

• حریم خصوصی

برای محافظت از کاربران نهایی در برابر تهدیدها از مکانیسمی استفاده می‌شود که از شناسه‌های کاربر محافظت می‌کند. توجه داشته باشید که، همانند محرمانه بودن، حفاظت از حریم خصوصی کاربر نهایی نیز تا زمانی که کاربر در شبکه 5G حضور دارد امکان‌پذیر است، استانداردهای 3GPP قصد ندارند و نمی‌توانند همه تهدیدهای حریم خصوصی خارج از سیستم 5G را کاهش دهند زیرا پس از اتصال کاربر، به شبکه اینترنت و یا برنامه‌های کاربردی تحت وب، امنیت حریم خصوصی کاربر باید از طریق این برنامه‌ها حفظ شود. ممکن است در یک برنامه کاربردی 5G نگرانی برای حریم خصوصی برنامه باشد. این تهدیدها به تلاش‌های اضافی ارائه‌دهندگان برنامه‌های اینترنتی نیاز دارد. سیستم 5G از پیام‌های ارسالی توسط کاربر رسانه‌های اجتماعی درحالی که از طریق شبکه اصلی سیستم RAN و 5G تلفن همراه عبور می‌کنند، محافظت می‌کند. سرویس رسانه‌های اجتماعی باید خود اطمینان حاصل کند که پیام به صورت انتها به انتها محافظت می‌شود، زیرا با خروج از سیستم 5G، اینترنت را درگیر می‌کند. اطمینان از حفظ حریم خصوصی داده‌های کاربر پس از رسیدن به سرورهای آن‌ها و ذخیره و پردازش آن‌ها، نیز به عهده سرویس رسانه‌های اجتماعی است.

• رمزنگاری و حفاظت از یکپارچگی

استانداردهای 3GPP اطمینان حاصل می‌کنند که رمزنگاری و استفاده از الگوریتم محافظت از یکپارچگی مناسب انجام شده است. 3GPP در اینجا از پشتیبانی گروه متخصص الگوریتم امنیتی ETSI (موسسه استاندارد ارتباطات از راه دور اروپا)، به‌ویژه ETSI SAGE (گروه متخصصان الگوریتم‌های امنیتی) برخوردار است. برای لایه IP و بالاتر، 3GPP به پروتکل‌های امنیتی کاملاً اثبات‌شده IETF، متکی است. سیستم 5G، قابلیت اطمینان و استحکام را در برابر شرایط غیرمخرب عدم دسترسی ایجاد می‌کند، یعنی

خطاهایی که به دلیل شرایط بد رادیویی غیرمعمول اما مورد انتظار و لینک‌های خراب ظاهر می‌شوند را اصلاح می‌کنند.

• حفاظت در برابر ایستگاه پایه جعلی

یک ایستگاه پایه جعلی در GSM می‌تواند مشترک را از طریق IMSI شناسایی کند (هویت مشترک بین‌المللی تلفن همراه). این روش IMSI catching نامیده می‌شود. در GSM، مهاجم حتی می‌تواند اطلاعات کاربران را استراق سمع کند. شبکه‌های تلفن همراه نسل بعدی، با شروع از 3G، از حملات شنود جلوگیری می‌کنند زیرا احراز هویت شبکه برای کاربر نیز در این شبکه‌ها انجام می‌شود. با این وجود، حملات IMSI Catching همچنان در 3G و 4G، امکان‌پذیر است. در استانداردهای 5G، حتی از حملات IMSI catching جلوگیری می‌شود. برای دستیابی به این هدف، از تکنیکی استفاده می‌شود که در آن شناسه طولانی مدت کاربر هرگز از طریق رابط رادیویی با متن ساده منتقل نمی‌شود. علاوه بر این، 5G، فرکانس به‌روزرسانی شناسه‌های موقت کاربر را افزایش می‌دهد و باعث حفظ بیشتر حریم خصوصی می‌شود.

• بخش‌بندی جداگانه

سیستم 5G از انواع مختلف بخش‌بندی، پشتیبانی می‌کند، به‌عنوان مثال توابعی وجود دارند که هدف آن‌ها، ایزوله کردن شکاف امنیتی از سایر بخش‌هاست تا مانع گسترش اختلال در یک قسمت از شبکه به قسمت دیگر است. به‌عنوان مثال، یک جداسازی آشکار بین شبکه دسترسی رادیویی و شبکه Core وجود دارد. این به این معنی است که اگر یک ایستگاه پایه رادیویی، به خطر بیفتد، شبکه Core، که عملکردهای جهانی را فراهم می‌کند و داده‌های حساس‌تر را پردازش می‌کند، هنوز امن است؛ جداسازی کامل بخش‌های شبکه، باعث می‌شود به خطر افتادن امنیت یک بخش بر بخش‌های دیگر اثرگذار نباشد.

• امکان پیاده‌سازی ویژگی‌های متفاوت امنیتی در بخش‌های شبکه

با توجه به تقسیم‌بندی شبکه 5G به بخش‌های جداگانه پیاده‌سازی هر ویژگی امنیتی، تنها وابسته به نیاز آن بخش و پیکربندی آن است. بنابراین هر اپراتور با توجه به نیازهای خود می‌تواند ویژگی امنیتی موردنیاز را پیاده‌سازی کند. حتی در یک شبکه فیزیکی واحد، نیز امکان پیاده‌سازی ویژگی‌های امنیتی متفاوت در هر کاربرد وجود دارد.

۱-۲-۲- معماری امنیتی 5G بر اساس ملاحظات 3GPP

معماری امنیتی 5G 3GPP شامل بسیاری از عناصر و مفاهیم معماری شبکه، از جمله موارد زیر است:

امنیت دسترسی به شبکه (I): مجموعه‌ای از ویژگی‌های امنیتی است که تجهیزات کاربر (UE) - هر دستگاهی که مستقیماً توسط کاربر نهایی برای برقراری ارتباط استفاده می‌شود، مانند تلفن همراه، رایانه یا لپ‌تاپ - را تأیید اعتبار کند و امکان دسترسی به خدمات را برای آن فراهم کند؛ این خدمات شامل دسترسی 3GPP و دسترسی غیر 3GPP است و به‌ویژه برای محافظت در برابر حملات به رابط‌های رادیویی از این ویژگی‌ها استفاده می‌شود. این همچنین شامل تحویل زمینه امنیتی از SN به UE برای امنیت دسترسی است.

امنیت در حوزه شبکه (II): مجموعه‌ای از ویژگی‌های امنیتی است که گره‌های شبکه را قادر می‌سازد تا داده‌های سیگنالینگ و داده‌های صفحه کاربر را به‌صورت ایمن مبادله کنند.

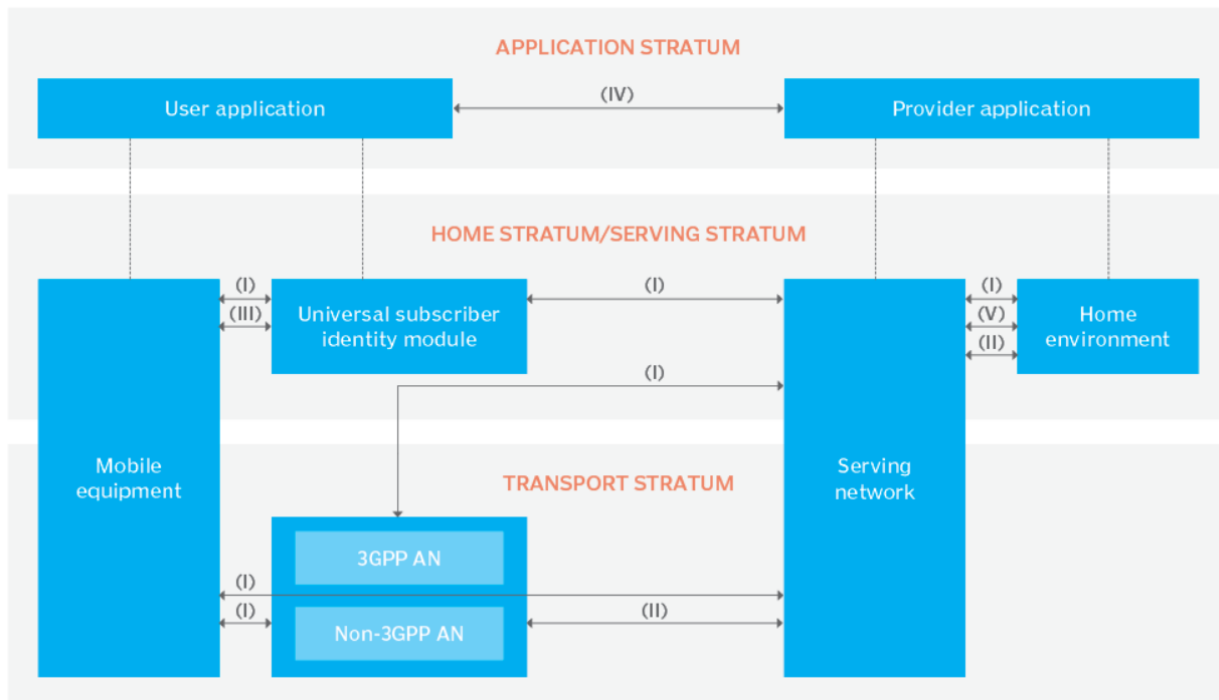
امنیت در حوزه کاربر (III): مجموعه‌ای از ویژگی‌های امنیتی است که دسترسی کاربر به تجهیزات تلفن همراه (ME) را تضمین می‌کند.

امنیت در حوزه کاربردها (IV): مجموعه‌ای از ویژگی‌های امنیتی است که برنامه‌ها را در دامنه کاربر و دامنه ارائه‌دهنده برای ایجاد امکان تبادل ایمن پیام را فراهم می‌کند.

امنیت در حوزه معماری بر اساس سرویس^۱ (SBA) (V): مجموعه‌ای از ویژگی‌های امنیتی است که تأکید زیادی بر خدمات به‌عنوان مؤلفه اولیه معماری، برای پیاده‌سازی و انجام عملکردهای تجاری و غیرتجاری می‌کند. ویژگی‌های امنیتی دامنه SBA، شامل ثبت عناصر شبکه، جنبه‌های امنیتی کشف و مجوز و محافظت از رابط‌های مبتنی بر سرویس است.

امکان مشاهده و پیاده‌سازی ویژگی‌های امنیتی (VI): مجموعه ویژگی‌هایی است که کاربر را قادر می‌سازد تا بداند آیا یک ویژگی امنیتی در حال کار است.

¹ Service based Architecture



شکل ۶-۱ معماری امنیتی 5G بر اساس ملاحظات 3GPP [۳]

۲-۲-۲- ویژگی‌های امنیتی جدید 5G در مقایسه با 4G

راه‌حل‌ها و معماری‌های امنیتی مورد استفاده در نسل‌های قبلی برای 5G کافی نیستند. دلیل اصلی راه‌حل‌های امنیتی و معماری جدید، پویایی خدمات و فن‌آوری‌های جدید در 5G است. برای مثال، مجازی‌سازی و چندبعدی‌سازی که در آن خدمات مختلف زیرساخت شبکه تلفن همراه یکسانی را به اشتراک می‌گذارند قبلاً معمول نبودند. یا شرایط تأخیر، همانند تأخیر در تأیید هویت در ارتباطات با وسیله نقلیه یا وسایل نقلیه هوایی بدون سرنشین چندان مهم نبودند. در واقع می‌توان گفت معماری‌های امنیتی نسل‌های قبلی فاقد مهارت لازم برای تأمین امنیت شبکه‌های 5G هستند. علاوه بر این تفاوت‌های کلیدی سیگنال‌دهی رابط کنترل بین 4G و 5G در زیر ذکر شده است.

- در معماری امنیتی 5G، طراحی ویژگی‌های امنیتی مبتنی بر خدمات است. این ویژگی در مقایسه با 4G یک ویژگی امنیتی کاملاً جدید است. بنابراین سیگنال‌دهی رابط کنترل در هسته شبکه باید حفاظت امنیتی لازم را فراهم کند تا شبکه را برای انجام معماری SBA برای برقراری ارتباط امن در حوزه شبکه سرویس‌دهنده با دیگر حوزه‌های شبکه توانمند سازد.
- برای بهبود امنیت سیگنال‌دهی رابط کنترل در سیستم 5G، شش لایه امنیتی وجود دارد در حالی که در شبکه 4G تنها ۴ لایه موجود است.

- حفاظت قوی‌تر از حریم خصوصی به این صورت که سیگنال دهی رابط کنترل در کانال هوایی نسخه رمز شده SUCI/SUPI را منتقل می‌کند.
- افزایش کنترل داخلی از طریق سیگنال دهی رابط کنترل. به این صورت که اطلاعات پاسخ تائید هویت مشترکین باید برای تائید از طریق سیگنال دهی صفحه کنترل در 5G به شبکه عمومی تلفن همراه زمینی خانگی منتقل شود.
- سرویس حفاظت از امنیت لبه‌های شبکه. برای بهبود حفاظت از سیگنال دهی بین اپراتورها استفاده می‌شود.

۲-۲-۳- چالش امنیتی مرتبط با ابر در 5G

با ظهور شبکه‌های 5G، تعداد بی‌شماری از مشاغل جدید، مدل‌های اعتماد، فناوری‌های جدید تلفن همراه و مدل‌های جدید ارائه خدمات در مقیاس جهانی جنب‌وجوش خواهند داد. 5G تقریباً در همه جنبه‌های زندگی روزمره، نقش‌های فعالی را بازی خواهد کرد. این تکامل یک تحول متناظر در چشم‌انداز تهدید را به خود جلب می‌کند و باعث افزایش حریم خصوصی در زمینه‌های مختلف کاربرد می‌شود، از این‌رو امنیت و حفظ حریم خصوصی نقش اصلی را در تکامل به سمت 5G بازی می‌کند.

امنیت و حریم خصوصی در 5G فراتر از فناوری‌های شامل مقررات و چارچوب‌های قانونی است. موارد کاربردی خاص به دلیل ماهیت برنامه‌هایی که پشتیبانی می‌کنند، نگرانی‌های امنیتی خاصی ایجاد می‌کند. به‌عنوان مثال، در تجارت آنلاین، نگرانی‌های امنیتی برای همه طرف‌ها ضروری است، زیرا نقض امنیت می‌تواند منجر به نقص عمده در اعتماد طرفین معامله شود و این می‌تواند در پذیرش برخی از فن‌آوری‌های جدید در 5G راکد بماند. علاوه بر این، یکی از اهداف اصلی 5G، تحقق یک شبکه ارتباطی است که کاربرپسندتر از نسل‌های قبلی باشد. شاخص این هدف این است که کاربران از ماهیت خدماتی که دریافت می‌کنند و آسیب‌پذیری‌های امنیتی مربوط به این خدمات، آگاهی بیشتری پیدا می‌کنند. از این‌رو، یک سرویس بسیار بهینه‌شده با یک مدل امنیتی یا حریم خصوصی متخلخل به‌راحتی توسط کاربران رد می‌شود. با تجزیه و تحلیل داده‌های بزرگ، چنین نگرانی‌های امنیتی و حریم خصوصی حتی بیشتر تهدیدآمیز می‌شوند. با یکپارچه‌سازی دامنه‌های ارتباطی متعدد، نقض امنیت در یک بخش شبکه می‌تواند منجر به یک اثر موج‌دار در سایر بخش‌ها شود. در این بخش، به آسیب‌پذیری‌های امنیتی مربوط به ابری‌سازی خدمات در بخش‌های مختلف شبکه‌های 5G پرداخته خواهد شد.

مجازی‌سازی

همان‌طور که در بخش‌های قبلی بحث شد، مجازی‌سازی نیروی محرکه اصلی محاسبات ابری است. بدیهی است که رایانش ابری به‌منظور بهینه‌سازی منابع موجود و ارائه مزایای پیشنهادی خود، از چندین سیستم مجازی استفاده می‌کند. اصطلاح "ابر" در ابتدا در علم به کار گرفته شد تا سطح بالایی از انتزاع را در توصیف مجموعه‌ای از منابع که پیچیدگی‌های آن‌ها در یک بافت خاص تعریف نشده باقی مانده است، نشان دهد. این تفسیر هنوز هم در تعریف رایانش ابری مهم است. کاربران هنوز درک روشنی از پردازش و ذخیره اطلاعات خود، محل ذخیره‌سازی و امنیت کل فرآیند ندارند.

نگرانی‌های امنیتی در مورد مجازی‌سازی ممکن است از پتانسیل‌های جابجایی نادرست داده‌ها تا حملات رد سرویس¹ (DoS) باشد. در زیر پنج نگرانی امنیتی اصلی مجازی‌سازی را بیان شده است که به پنج قانون تغییرناپذیر امنیت مجازی‌سازی معروف هستند:

(۱) حمله به یک سیستم مجازی به‌مثابه حمله به قطعات سخت‌افزاری واقعی است که مجازی‌سازی شده‌اند.

(۲) آسیب‌پذیری امنیتی یک سیستم مجازی ترکیبی از آسیب‌پذیری‌های واقعی سیستم و نقاط ضعف hypervisor (یک سیستم نرم‌افزاری برای کنترل فضای ابری) است.

(۳) امنیت در سیستم‌های مجازی را می‌توان با تفکیک عملکرد و محتوا، بهبود داد. به‌عنوان مثال، جدا کردن داده‌های کاربر از توابع شبکه.

(۴) جمع‌آوری چندین سیستم‌عامل مجازی‌سازی در همان سیستم‌های فیزیکی خطر را افزایش می‌دهد، مگر اینکه hypervisor برای جلوگیری از این خطر پیکربندی شده باشد.

(۵) یک سیستم مجازی قابل‌اعتماد در زیرساخت‌های نامطمئن بیشتر از یک سیستم مجازی بی‌اعتماد در زیرساخت‌های قابل‌اعتماد در معرض خطر است.

امنیت سیستم سایبر فیزیکی^۲ (CPS)

سیستم سایبرفیزیکی، چندین شبکه، محاسبات و منابع فیزیکی را در مقیاس‌های مختلف مکانی (کنترل شده توسط الگوریتم‌های مبتنی بر رایانه) ادغام می‌کند. سیستم سایبرفیزیکی، از چندین فن‌آوری ارتباطی، حسگرها و محرک‌ها تشکیل شده‌اند که همه از طریق یک سیستم نرم‌افزاری به هم متصل شده‌اند. برنامه‌های معمولی سیستم سایبرفیزیکی، شامل نظارت و کنترل فرایندهای فیزیکی و سازمانی یا تجاری، به‌عنوان مثال، اسکادا، ادغام رشته‌های مختلف فنی و حوزه‌های برنامه، به‌عنوان مثال، شبکه‌های

¹ Denial of service

² Cyber physical system

هوشمند، سیستم‌های تودرتو توزیع شده یا به هم پیوسته و همچنین سایر ارتباطات سیستم‌های هوشمند مبتنی بر حسگر در این دسته هستند. سیستم‌های فیزیکی سایبر مبتنی بر ابر^۱ (CCPS) از ابرهای سایبر فیزیکی (CPC) برای مجازی‌سازی اجزای شبکه مانند حسگرها و محرک‌ها استفاده می‌کنند. این اجزای مجازی شده به عنوان منابع ابری معمولی عمل می‌کنند که می‌توانند برای خدمات ابری تهیه شوند. CPC مستعد ابتلا به چندین حمله امنیتی شناخته شده مانند حملات HTTP و رد سرویس XML (HX-DoS) است. HX-DoS ترکیبی از پیام‌های HTTP و XML است که با سرعت متضاد می‌شوند تا عمداً زیرساخت‌های ابر سیستم سایبر فیزیکی را تحت فشار قرار دهند. این حمله را می‌توان بر روی هر مدل سرویس ابری، (مانند IaaS, SaaS و PaaS) پیاده کرد.

محاسبه امن و خصوصی داده‌ها

با استفاده از رایانش ابری، داده‌های کاربر معمولاً در مراکز داده تأمین‌کنندگان سرویس ابر^۲ (CSP)، ذخیره می‌شوند که معمولاً برای کاربر ناشناخته هستند. با توجه به اینکه داده‌های کاربر با سهولت بیشتری می‌توانند به هر مکانی در کره زمین روی ابرها منتقل شوند، امنیت چنین داده‌های کاربر در هر محیط شبکه بسیار مهم است و حتی در محاسبات ابری نیز از اهمیت بیشتری برخوردار است. بنابراین مسئولیت CSP است که مطمئن شود از زیرساخت‌ها، داده‌های کاربر و برنامه‌های آن‌ها محافظت می‌شود.

چندین احتمال حمله در این قلمرو وجود دارد. یکی از تهدیدکننده‌ترین حمله‌ها، حمله داخلی است. این به عنوان یکی از بزرگ‌ترین تهدیدات در محاسبات ابری در نظر گرفته شده است. افراد داخلی در این زمینه کارمندان CSP هستند که به سرورهای فیزیکی که داده‌های کاربر بر روی آن‌ها ذخیره می‌شود دسترسی دارند. راه‌های ممکن برای کاهش این خطر این است که CSP اطمینان حاصل کند که از بررسی منظم سابقه و روال برای چنین کارکنانی، اطمینان حاصل می‌کند. سایر تهدیدهای امنیتی مرتبط عبارت‌اند از: ➤ سوءاستفاده و استفاده ناشایست از ابر: جایی که CSPها، دسترسی ابری را به کاربران ناشناس ارائه می‌دهند که ممکن است مجرمان یا نویسندگان کد مخرب باشند.

➤ رابط‌ها و واسط‌های برنامه کاربردی^۳ (API) ناامن: جایی که CSPها، رابط‌های برنامه کاربردی متخلخل را به مشتریان ارائه می‌دهند، به عنوان مثال API هایی که اجازه دسترسی ناشناس یا تأیید اعتبار متن را می‌دهند.

¹ Cloud CPS

² Cloud service provider

³ application programming interface

- زیرساخت مشترک: درجایی که CSP‌های مختلف زیرساخت‌های مشترک مانند حافظه نهان پردازنده و واحد پردازش گرافیکی^۱ (GPUها) را دارند، بنابراین خطرات امنیتی داده‌های کاربر را فراتر از CSP واقعی گسترش می‌دهد.
- از دست دادن یا نشت داده‌ها: می‌تواند به صورت حذف یا تغییر داده‌ها بدون امکانات پشتیبان کافی برای بازیابی باشد.

نفوذ به ابر

نفوذ به ابر بر قابلیت دسترسی، محرمانه بودن و یکپارچگی منابع و خدمات ابر تأثیر می‌گذارد. نفوذ می‌تواند به اشکال مختلفی بستگی داشته باشد، به سطح پیچیدگی فرد متجاوز و ماهیت حفره‌ها و پیوندهای ضعیف در محیط ابر بستگی دارد. نفوذ ممکن است از هکرهای سرگرمی، جرائم سازمان‌یافته، جاسوسی شرکتی یا حتی نفوذهای تحت حمایت دولت‌ها باشد. متعارف‌ترین روش برای کاهش احتمال نفوذ ابر، ساخت سیستم‌های تشخیص نفوذ^۲ (IDS) و سایر مکانیسم‌های کنترل در محیط رایانش ابری است. IDS از نظر فعالیت‌های مخرب و نقض سیاست‌ها، فضای ابری را رصد می‌کند. IDS می‌تواند به هر یک از مدل‌های سرویس ابری متصل شود - IaaS، SaaS، PaaS؛ همچنین می‌تواند به میزبان‌های شبکه و همچنین hypervisor گسترش یابد.

کنترل دسترسی

محیط ابر، یک سیستم توزیع‌شده بزرگ باز است. بنابراین مهاجرت به فناوری‌های ابری، حاکی از سطح خاصی از اشتراک دسترسی در هر دو زیرساخت‌های داده و شبکه است. عملکرد اصلی کنترل دسترسی، اطمینان از این‌که فقط به کاربران مجاز، اجازه دسترسی به داده‌ها و زیرساخت‌های شبکه داده‌شده، می‌باشد. توابع اضافی، ممکن است شامل نظارت و ضبط کاربران غیرمجاز در تلاش برای دستیابی به سیستم باشد. چندین مدل کنترل دسترسی، شناسایی‌شده است، از کنترل دسترسی اجباری سنتی^۳ (MAC) گرفته تا کنترل دسترسی اختیاری^۴ (DAC) و کنترل دسترسی مبتنی بر نقش^۵ (RBAC). این مدل‌های کنترل دسترسی عمدتاً بر اساس هویت کاربر است، که در آن یک شناسه منحصر به فرد برای هر کاربر اعمال می‌شود، و با احراز هویت موفق، به کاربران اجازه دسترسی به منابع مربوطه داده می‌شود. در محیط ابر، نیاز به مکانیسم کنترل دسترسی انعطاف‌پذیر، برای پشتیبانی از انواع دامنه‌ها و سیاست‌ها وجود دارد. کنترل دسترسی فراتر از کنترل دسترسی به منابع و خود سیستم بوده و شامل مدیریت

¹ graphics processing unit

² intrusion detection system

³ Mandatory Access Control

⁴ Discretionary Access Control

⁵ Role Based Access Control

کاربران، پرونده‌ها و سایر منابع نیز هست. سیستم کنترل دسترسی معمول شامل توابعی مانند احراز هویت، مجوز و پاسخگویی است.

۳-۲- ارتباطات امن شبکه هوشمند با استفاده از موبایل نسل پنجم

۱-۳-۲- نیازمندی‌های امنیتی شبکه هوشمند

ما الزامات امنیتی ارتباطات بی‌سیم را در زمینه شبکه‌های هوشمند با توجه به توصیه ENISA برای زیرساخت‌های مهم توصیف می‌کنیم [۴]. گزارش فنی ETSI مربوط به دستگاه‌های متصل به شبکه هوشمند در انواع شرایط اضطراری، نحوه استفاده از یک شهر هوشمند را ارائه می‌کند، با این حال، شبکه‌های هوشمند مستقیماً در استاندارد گنجانده نشده‌اند [۵].

- احراز هویت: دستگاه‌های شبکه هوشمند (از جمله انواع دستگاه‌های حسگر) لازم است از روش‌های احراز هویت سبک و متقابل پشتیبانی کنند. علاوه بر این، مکانیسم‌های مقیاس‌پذیر تبادل کلید یک چالش است و باید برای مراحل بعدی امنیتی مانند رمزگذاری داده‌ها نیز در نظر گرفته شود.
- حریم خصوصی: حریم خصوصی داده‌های مشتری و سیستم هنگام برقراری ارتباط از طریق انواع مختلف روش‌های فناوری بی‌سیم، باید حفظ شود.
- در دسترس بودن: شبکه باید اتصال قوی و همیشه روشن به دستگاه‌های شبکه را فراهم کند.
- محرمانه بودن: پروتکل‌های ارتباطی لازم است برای اطمینان از محرمانه بودن اطلاعات شبکه منتقل شده از طریق هوا روش‌های ایمن ارائه کنند.
- یکپارچگی: باید از یکپارچگی داده‌های ارتباطی از طریق هوا محافظت شوند.

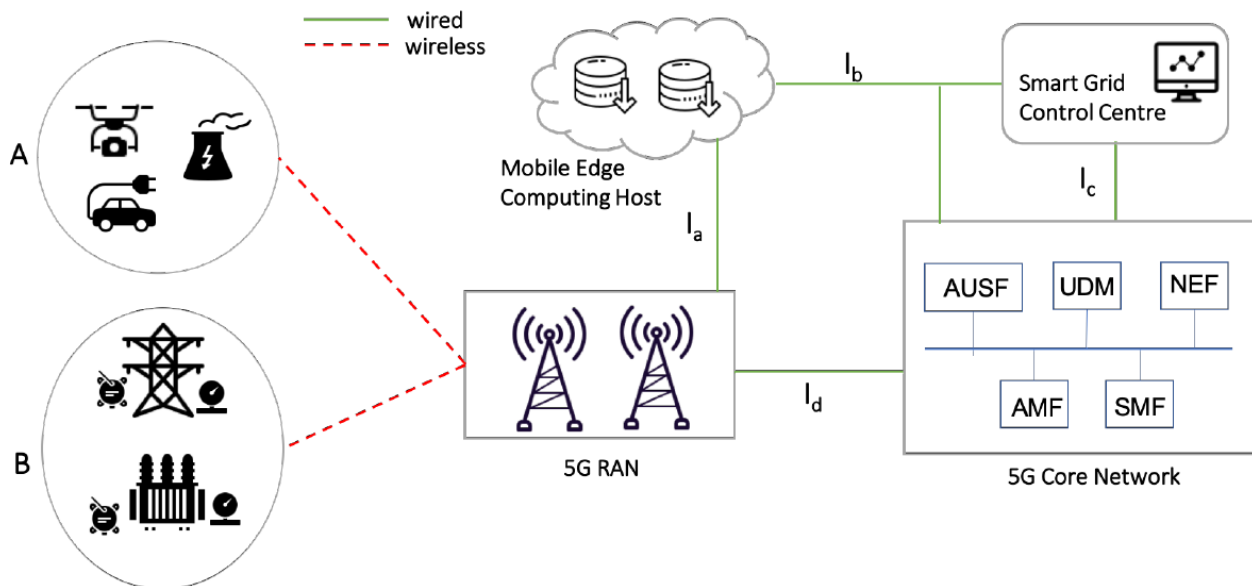
۲-۳-۲- مزایای امنیتی 5G در شبکه هوشمند انرژی

در این بخش، سناریوهای را در نظر گرفته خواهد شد که در آن دستگاه‌ها درون یک شبکه هوشمند از طریق زیرساخت شبکه بی‌سیم 5G به هم متصل می‌شوند. طبق این سناریو مورد استفاده، مزایای 5G برای فعال کردن یک محیط ارتباطی ایمن در شبکه‌های هوشمند ارائه خواهد شد. همان‌طور که در شکل ۲-۳ نشان داده شده است، دو نوع دستگاه در نظر گرفته شده است:

دستگاه‌های نوع A دستگاه‌های معمولی هستند، به عنوان مثال، اتومبیل‌های متصل، هواپیماهای بدون سرنشین و غیره

دستگاه‌های نوع B دستگاه‌های محدودکننده منابع دستگاه‌ها هستند که در مکان‌های از راه دور مستقر شده‌اند، در واقع این دستگاه‌ها، نظارت و کنترل سایر اجزای شبکه هوشمند را به عهده دارند

به‌عنوان مثال، سنسورهای کوچک بی‌سیم یا محرک‌هایی که برای تشخیص دما، انحراف برج‌های برق و غیره استفاده می‌شوند.



شکل ۷-۱ استفاده از 5G در شبکه هوشمند [۶]

دستگاه‌های نوع A و B با استفاده از ایستگاه‌های پایه رادیویی 5G از طریق میزبان محاسبه لبه تلفن همراه (MECH¹) و شبکه هسته 5G به مرکز کنترل شبکه هوشمند (SGCC²) متصل می‌شوند. شبکه هسته 5G، از عناصر مختلفی تشکیل شده است، با این حال، این بررسی این عناصر از محدوده این بخش خارج است. در ادامه چند عنصر اصلی این شبکه که وظیفه تأمین امنیت و حریم خصوصی مرتبط با دستگاه‌های شبکه را بر عهده دارند، توصیف خواهد شد. به‌طور خاص، عملکرد سرور تأیید اعتبار (AUSF³)، مدیریت داده‌های یکپارچه (UDM⁴)، عملکرد قرار گرفتن در معرض شبکه (NEF⁵)، عملکرد مدیریت جلسه (SMF⁶) و عملکرد مدیریت دسترسی و تحرک (AMF⁷) ارائه می‌شود. مرکز کنترل شبکه هوشمند در زیرساخت شبکه هوشمند، میزبانی می‌شود و داده‌ها را به‌وسیله شبکه هسته 5G از دستگاه‌های شبکه دریافت می‌کند. همان‌طور که در شکل ۲-۳ نشان داده شده است رابط‌های I_a، I_b، I_c و I_d میان MECH، SGSC، 5G RAN و 5G Core بر طبق الزامات امنیتی ذکر شده در استاندارد امنیت شبکه 5G، از طریق یک شبکه خصوصی متصل شده‌اند. مزایای امنیتی زیر که توسط زیرساخت 5G شبکه هوشمند فعال شده، ارائه شده است [۷].

¹ Mobile Edge Computing Host

² Smart Grid Control Center

³ Authentication Server Function

⁴ Unified Data Management

⁵ Network Exposure Function

⁶ Session Management Function

⁷ Mobility Management Function

I. احراز هویت

شبکه 5G یک ماژول شناسایی جهانی مشترک (USIM) فراهم کرده است، USIM یک ماژول سخت‌افزاری برای استفاده در احراز هویت دستگاه است که از آن در دستگاه‌های متصل به شبکه هوشمند استفاده می‌شود. در شبکه‌های تلفن همراه، USIM به‌عنوان یک عنصر سخت‌افزاری که بنیاد اعتماد است، عمل می‌کند و می‌تواند در دستگاه‌های شبکه قابل جابجایی یا جاسازی باشد. نسخه جاسازی‌شده آن از نظر فنی eSIM نامیده می‌شود. این ماژول‌های eSIM روشی منحصر به فرد برای تأیید اعتبار دستگاه‌ها به سمت خدمات شبکه و سرانجام به دارندگان شبکه هوشمند نیز ارائه می‌دهد. برای سناریوی شبکه هوشمند مورد نظر ما، دستگاه‌های نوع A می‌توانند به eSIM مجهز شوند. در مورد دستگاه‌های نوع B، از نظر قدرت و عملکرد سیستم محدودیتی وجود دارد. با این حال، سنسورهای کوچک نوع B ممکن است از یک دروازه مجهز به eSIM برای گزارش قرائت یا اندازه‌گیری داده‌ها به SGCC استفاده کنند. همچنین راه‌حل‌های امنیتی مبتنی بر eSIM همراه با راه‌حل‌های امنیتی مبتنی بر توابع غیرقابل حذف فیزیکی (PUF) می‌توانند برای احراز هویت و تأیید مجوز دستگاه‌های نوع B با محدودیت منابع استفاده شوند. ماژول‌های eSIM به‌طور گسترده‌ای در دستگاه‌های امروزی استفاده می‌شود. طبق گزارش SIMalliance، با توجه به اینکه eSIM یک چارچوب مدیریت از راه دور را فراهم می‌کند، آن‌ها انعطاف‌پذیری و کنترل، اتصال معتبر و امنیت پویا را اضافه می‌کنند (به‌عنوان مثال اعتبارات امنیتی یا الگوریتم‌ها را می‌توان از راه دور از طریق هوا تغییر داد) [8].

eSIM یا USIM قابل جابجایی در دستگاه‌های متصل به شبکه یا دروازه‌ها شامل یک کلید اصلی متقارن K_i است. همان کلید K_i در بخش AUSF از شبکه Core نیز ذخیره می‌شود و از آن برای استخراج کلیدهای احراز هویت بعدی برای این دستگاه‌ها استفاده می‌شود. احراز هویت با استفاده از تأیید اعتبار و توافق‌نامه اصلی (AKA^1) یا پروتکل EAP-AKA انجام می‌شود. پروتکل 5G AKA قوی‌تر از نسخه قبلی است که در شبکه‌های 4G استفاده می‌شود، به‌ویژه اختفا هویت کاربر بهبود می‌یابد. علاوه بر این، پروتکل 5G AKA در برابر حملات بی‌سیم مخرب ناشی از ایستگاه‌های پایه جعلی از شبکه محافظت می‌کند (چنین حملاتی در شبکه‌های 4G امکان‌پذیر است). با این حال، برخی از مسائل مربوط به حریم خصوصی وجود دارد که اجازه ردیابی دستگاه‌های 5G را می‌دهد. اپراتور شبکه هوشمند می‌تواند از چارچوب مدیریت از راه دور eSIM برای نظارت یا نصب سرویس‌های الحاقی (به‌عنوان مثال نمایه‌های دستگاه) استفاده کند.

علاوه بر این، ارائه‌دهنده شبکه هوشمند می‌تواند به‌جای استفاده از eSIM، از روش‌های تأیید اعتبار مخصوص به خود مانند گواهینامه‌ها و کلیدهای از پیش به اشتراک گذاشته‌شده خود در شبکه‌های 5G برای دستگاه‌های شبکه هوشمند استفاده کند. این روش‌ها می‌توانند برای دستگاه‌های نوع B که در آن‌ها استفاده از eSIM

¹ Authentication and Key Agreement

از نظر هزینه و قابلیت‌های فنی گران است، مفید باشند. استاندارد امنیتی 5G از روش‌های احراز هویت ثانویه مبتنی بر EAP¹ بین دستگاه‌های شبکه هوشمند و شبکه داده خارجی پشتیبانی می‌کند (در سناریو شبکه هوشمند مطرح شده به‌عنوان مثال با DSO یا از طریق SGCC دستگاه‌ها با انواع A یا B را مدیریت می‌کند).

II. محرمانه بودن و یکپارچگی

رمزگذاری بر روی هوا (OTA²) در مقایسه با نسل‌های قبلی در 5G بهبود یافته است. در زمینه سناریوی شبکه هوشمند و طبق معماری امنیتی 5G رمزگذاری OTA از دستگاه‌های متصل به شبکه آغاز می‌شود و در ایستگاه‌های پایه 5G خاتمه می‌یابد. ذکر این نکته حائز اهمیت است که ارائه‌دهنده شبکه هوشمند می‌تواند از یک لایه رمزگذاری اضافی برای برنامه خود استفاده کند، به‌عنوان مثال، رمزگذاری انتها به انتها از دستگاه‌های شبکه به مرکز عملیات شبکه هوشمند. در اینجا فقط بر روی ویژگی‌های رمزگذاری OTA و قابلیت‌های مختلف ارائه‌شده توسط شبکه‌های 5G تمرکز خواهد شد.

شبکه 5G سه نوع الگوریتم رمزگذاری متقارن OTA با اندازه کلید ۱۲۸ بیتی را ارائه می‌دهد - الگوریتم‌های مبتنی بر SNOW 3G، AES و ZUC. به همین ترتیب، این سه الگوریتم همچنین از یکپارچگی برای ترافیک OTA محافظت می‌کنند. این الگوریتم‌های رمزگذاری و یکپارچگی با استانداردهای 3GPP مطابقت دارند و کلیدهایی که از پروتکل AKA استخراج می‌شوند و کلید Ki (ذخیره‌شده در eSIM) برای احراز هویت استفاده می‌شوند. هر دو الگوریتم رمزگذاری و محافظت از یکپارچگی از اندازه کلید ۱۲۸ بیتی در شبکه‌های 5G پشتیبانی می‌کنند. در 4G، از یکپارچگی ترافیک کاربر شبکه محافظت نمی‌شود، با این حال، در 5G از یکپارچگی چنین نوع ترافیکی (به‌عنوان مثال، اطلاعات خوانده‌شده توسط فیدر از دستگاه‌های نوع A) محافظت می‌شود.

از آنجاکه شبکه Core مبتنی بر معماری سرویس محور است - امنیت رابط شبکه بین MECH تا 5G RAN و MECH تا SGCC با استفاده از SSL / TLS یا IPsec قابل محافظت است.

III. انعطاف پذیری و در دسترس بودن

طبق پروژه FP7 FINESCE، تخمین زده می‌شود که وقتی نفوذ خودروی الکتریکی در اتحادیه اروپا به ۱۰٪ برسد، بار انرژی در عصرها به اوج خود در حدود 38 GW می‌رسد [۹،۱۰]. در نتیجه خطرات پایداری بالقوه را برای شرکت‌های برق ایجاد می‌کند. همچنین نیاز به پاسخ سریع شبکه ارتباطی برای شبکه‌های هوشمند به‌ویژه در واحد اندازه‌گیری فازور^۳ (PMU) برای نظارت سریع فیدرهای توزیع با به‌روزرسانی داده‌ها از ۱۰ تا ۵۰ تایمر در ثانیه را برجسته می‌کند. علاوه بر این، افزایش تکثیر خودروهای برقی، استقرار شارژرهای هوشمند

¹ Extensible Authentication Protocol

² Over The Air

³ Phasor Measurement Unit

و مدیریت آن‌ها توسط شرکت‌های توزیع برق، مستلزم برقراری ارتباطات زمان-واقعی برای ایجاد انعطاف‌پذیری خدمات خودرو به شبکه است. ایستگاه پایه 5G برای پشتیبانی از این تأخیرهای کم و ارتباطات در زمان تقریباً واقعی، از خدمات رادیویی ¹URLLC برای سناریوهای شبکه هوشمند پشتیبانی می‌کند. اگرچه ممکن است مزایای URLLC شبکه 5G در استقرار حالت 5G مستقل (SA) تحقق یابد، استانداردسازی امنیت 5G (فاز ۲) برای خدمات URLLC در زمان نگارش این گزارش در حال توسعه است. علاوه بر این، Ericsson و ABB نشان دادند که چگونه می‌توان از 5G URLLC برای ایجاد حفاظت از خط استفاده کرد. تحقیقات آن‌ها نشان می‌دهد که ارتباطات مبتنی بر فیبر بین واحدهای حفاظتی می‌توانند با شبکه 5G با تأخیر کم جایگزین شوند [۱۱].

در حالت استقرار شبکه 5G مستقل (SA)، یک ایستگاه پایه می‌تواند به‌عنوان دو واحد تقسیم شود، یک واحد مرکزی و یک توزیع‌شده ایستگاه پایه. در نتیجه، این روش تقسیم انعطاف‌پذیری بیشتری در برابر خرابی‌ها (و یا مربوط به بلایای طبیعی) و حملات علیه ایستگاه 5G پایه فراهم می‌کند. معماری امنیتی 5G از شبکه‌های قدیمی مانند 4G پشتیبانی می‌کند، از این‌رو شبکه‌های هوشمند از اتصال چند شبکه‌ای از نظر امنیت و خدمات بهره‌مند می‌شوند، بنابراین درحالی‌که رادیو 5G در شرایطی مانند حملات DoS یا اختلالات سرویس در دسترس نیست این قابلیت، کمک کننده خواهد بود. همچنین معماری مبتنی بر سرویس در 5G، ویژگی بخش‌بندی شبکه را فعال می‌سازد و گروه‌هایی از توابع شبکه را از سایر توابع در حالت 5G SA جدا کند. به‌عنوان مثال، می‌تواند بخشی از شبکه را که مسئول رسیدگی به دستگاه‌ها در داخل شبکه هوشمند را از سایر بخش‌های شبکه که دارای ترافیک عادی تلفن همراه 5G هستند، جدا کرد. به همین ترتیب، یک بخش خاص از شبکه در حالت 5G SA می‌تواند دارای اولویت بالا یا کم باشد که این مزیت امنیتی را نیز با خود همراه خواهد داشت. علاوه بر این، استفاده از نرم‌افزار و فن‌آوری‌های مبتنی بر ابر در شبکه 5G Core، امکان ایجاد توابع شبکه را فراهم می‌کند که می‌توانند بسته به بار ترافیک مقیاس‌بندی شوند و یا در اثر حمله یا اختلالات شبکه جدا شوند.

IV. انطباق استاندارد امنیتی

در مقایسه با سایر فناوری‌های بی‌سیم، شبکه 5G از پروتکل امنیتی سازگار با استاندارد 3GPP / ETSI (مانند AKA، IPsec، TLS، DTLS و ...) استفاده می‌کند. در نتیجه، بهره‌بردار شبکه هوشمند در هنگام استفاده از شبکه‌های 5G از روش‌های امنیتی استاندارد بهره‌مند می‌شود.

¹ Ultra-Reliable Low-Latency Communication

اگرچه این مسئله امنیت و اعتماد در زنجیره تأمین دستگاه شبکه هوشمند را حل نمی‌کند، با این وجود، زیرساخت ارتباطی شبکه به دلیل اختصاصی بودن گواهینامه امنیت 5G و فعالیت‌های مربوط به محرمانگی در 3GPP، ممکن است چنین مشکلات امنیتی را در شبکه 5G آینده حل کند. به عنوان مثال، عناصر شبکه 5G مانند ایستگاه‌های پایه یا دستگاه‌های سخت‌افزاری اختصاصی باید از برنامه‌های جدید تأیید امنیت و محرمانگی 5G مطابق با استاندارد 3GPP پیروی کنند.

۷. شبکه‌های 5G غیر عمومی

در مقایسه با شبکه‌های تلفن همراه که خدمات را به کاربران عمومی ارائه می‌دهند، یک شبکه غیردولتی 5G (که به عنوان شبکه‌های خصوصی 5G نیز شناخته می‌شود)، اتصال شبکه بی‌سیم را به سازمان خاصی فراهم می‌کند در حالی که در محل کار آن سازمان مستقر است، به عنوان مثال در محل کارخانه یا شرکت. طبق گروه 5G-ACIA، چنین نوع شبکه‌های غیر عمومی برای امکان اتصال و اتوماسیون دستگاه‌های IoT صنعتی (IIoT) ایده‌آل هستند. در زمینه شبکه‌های هوشمند، چنین نوع شبکه‌های 5G غیر عمومی ممکن است برای نیروگاه‌های تولید انرژی یا مزارع خورشیدی در مقیاس بزرگ برای جمع‌آوری داده‌ها از دستگاه‌های IIoT مفید باشد. از آنجایی که بازیگران شبکه‌های هوشمند از چنین استقرار غیر عمومی شبکه 5G بهره‌مند می‌شوند، جداسازی ترافیک دستگاه شبکه هوشمند از کاربران عمومی یا دستگاه‌ها (علاوه بر تأخیر کم و اتصال همیشه روشن)، بدین وسیله باعث کاهش چشم‌انداز تهدید و بردارهای حمله می‌شود. با این حال، امنیت چنین شبکه‌های مستقل 5G نیاز به بررسی بیشتری در مورد انتخاب مکانیسم‌های امنیتی مناسب دارد که در گزارش 5G ACIA ذکر شده است [۱۲].

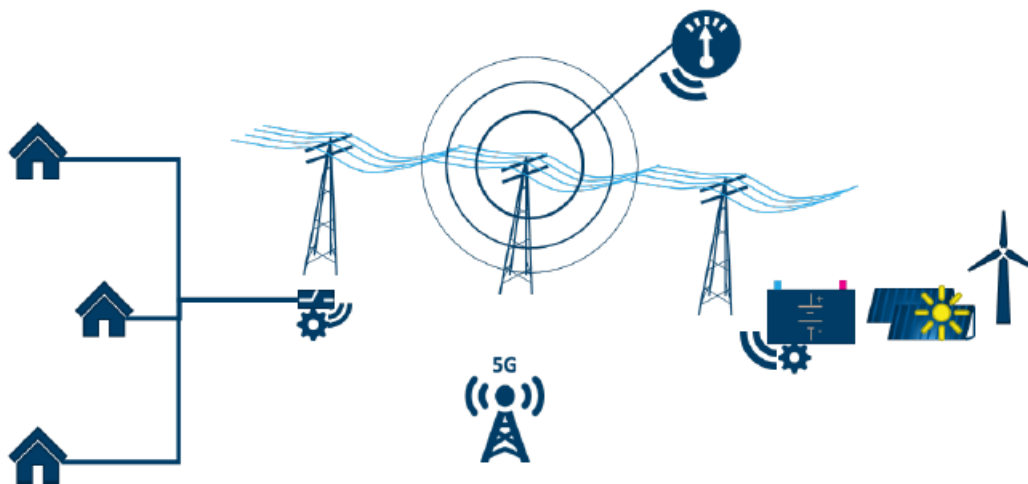
۳-۲-۳- مدل‌های تهدید شبکه در شبکه هوشمند

با توجه به استفاده از شبکه‌های 5G در شبکه‌های هوشمند، در این گزارش، مدل تهدید به دو نوع حمله دسته‌بندی خواهد شد - حملات محلی بی‌سیم، و حملات از راه دور علیه 5G یا زیرساخت شبکه هوشمند. امنیت دستگاه‌های شبکه هوشمند (شامل سخت‌افزار و امنیت نرم‌افزار) در این بخش بررسی نمی‌شود بلکه به امنیت رسانه ارتباطی بین این دستگاه‌ها خواهیم پرداخت.

در حملات بی‌سیم محلی، انتظار می‌رود که مهاجم دارای قابلیت‌های نرم‌افزاری و سخت‌افزاری برای ره‌گیری یا جاسوسی ارتباطات بی‌سیم در منطقه تحت پوشش ایستگاه‌های پایه 5G یا دستگاه‌های شبکه مستقر نزدیک است. این نوع حملات بی‌سیم به صورت حملات غیرفعال یا فعال قابل انجام است، که مشابه مدل دشمن مخربی است که در پروتکل‌های رمزنگاری استفاده می‌شود. انگیزه‌های اصلی دشمن در برابر دستگاه‌های شبکه، برقراری ارتباط با عناصر مختلف زیرساخت شبکه هوشمند است:

- مکان دقیق دستگاه‌های شبکه هوشمند را در یک منطقه جغرافیایی مشخص یاد بگیرد.

- سعی کنید ترافیک ارتباطات بی‌سیم 5G را ره‌گیری یا اصلاح کند.
- خدمات ارتباطات بی‌سیم 5G به دستگاه‌های شبکه هوشمند را انکار کند.



شکل ۸-۱ تقویت شبکه هوشمند با 5G [۶]

در حملات از راه دور، مهاجم از نظر دانش فنی و منابع مالی برای انجام حملات علیه عناصر زیرساخت شبکه هوشمند از جمله داده‌های انتقال شبکه 5G، از توانایی‌های پیشرفته‌ای برخوردار است. انگیزه‌های اصلی مهاجمان از راه دور عبارت‌اند از:

- تلاش برای به خطر انداختن اجزای مرتبط با شبکه 5G برای سرقت اطلاعات حیاتی مرتبط با شبکه هوشمند

- ایجاد حمله علیه دستگاه‌های شبکه از طریق نفوذ به عناصر شبکه 5G

چندین مورد شناخته‌شده از حملات از راه دور مرتبط با سیستم‌های کنترل در بخش انرژی وجود دارد از جمله Stuxnet در سال ۲۰۱۰، حمله به شبکه برق اوکراین در سال‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۱۶ و همچنین حمله Triton در سال ۲۰۱۷ به عربستان سعودی از این نوع حملات بوده‌اند. همه شاخص‌ها به سمت ادغام دقیق‌تر بین شبکه‌های کنترل و شبکه‌های ICT عمومی است. این حملات نشان می‌دهد که متأسفانه افزایش عملکرد به‌طور ناگهانی باعث افزایش چشم‌انداز تهدید می‌شود.

۴-۳-۲- چالش‌های امنیتی بکارگیری شبکه 5G در صنعت برق

در این بخش، رابط‌های امنیتی ضعیف معماری 5G برجسته و حملات مربوط به زیرساخت شبکه هوشمند به‌طور خلاصه بیان شده است. همان‌طور که در شکل ۲-۳ نشان داده شده است، معماری 5G به شبکه دسترسی (RAN) و شبکه core (CN) تقسیم می‌شود. تهدیدهای RAN و CN که در ادامه ذکر شده، ممکن است بر شبکه هوشمند تأثیر بگذارد:

- اگرچه امنیت بی‌سیم در 5G بهتر از 4G است، حملات جعلی ایستگاه پایه هنوز هم علیه دستگاه‌هایی متصل به شبکه هوشمند از جمله IoT امکان‌پذیر است. برخی مقالات نشان داده‌اند که در 5G وجود ایستگاه پایه جعلی امکان‌پذیر است، این ایستگاه‌ها عواقبی از جمله به خطر انداختن حریم خصوصی، محرومیت از خدمات و تخلیه باتری دستگاه‌های شبکه هوشمند را به دنبال دارند. در صورت عدم رسیدگی به این حملات ایستگاه پایه جعلی، در فاز دوم فرآیند استانداردسازی امنیت 5G، حملات مشابه علیه دستگاه‌های نوع A و B نیز ممکن است اتفاق بیفتد. با این حال، چنین نوع حملات بی‌سیم به دلیل نیاز به وجود یک دشمن در منطقه تحت پوشش (حدود ۱ کیلومتر) دستگاه‌ها، محدود است [۱۳].
- گروه نسل بعدی شبکه تلفن همراه^۱ (NGMN)، خطرات بالقوه امنیتی مرتبط با گره MECH و رابط‌های مربوطه را نشان می‌دهد. به عنوان مثال، خطرات ناشی از رابط کاربری، برنامه‌های شخص ثالث میزبانی شده در MECH، ذخیره اطلاعات حساس به امنیت در گره لبه، در این دسته از خطرات قرار دارند. حتی ممکن است مشکلات پیکربندی امنیتی در MECH منجر به تأثیر بر SGCC یا به خطر انداختن داده‌های مهم عملیاتی شود [۱۴].
- شبکه 5G Core به امنیت زیرساخت‌های ابر در مراحل قبل و بعد از استقرار شبکه متکی است. گروه NGMN خطرات بالقوه در افشای قابلیت‌های امنیتی شبکه و عناصر شبکه 5G Core را نشان می‌دهد. به عنوان مثال، در مورد شبکه هوشمند مورد نظر ما، کلیدهای احراز هویت مرتبط با دستگاه‌های نوع A یا B می‌توانند از طریق API به 5G CN در اختیار اشخاص ثالث قرار بگیرند [۱۵].
- فناوری‌های متنوع لایه زیرساخت و توافقات مرحله سرویس^۲ و همین‌طور فناوری‌های SDN و NFV در برش‌بندی شبکه باعث به وجود آمدن چالش‌های جدی در امنیت برش‌های شبکه شده است. این چالش‌های امنیتی عبارت‌اند از: امنیت دامنه چندگانه، امنیت ارکستراسیون برش شبکه، امنیت بین برش‌ها. ارائه‌دهندگان سرویس می‌توانند مقررات امنیتی مربوط به خود را داشته باشند که این منجر به پیچیدگی بیشتر برش‌های شبکه می‌شود. از طرفی دیگر، برش‌های شبکه نیازمندی‌های متفاوتی دارند و توابع امنیتی باید با این نیازمندی‌ها سازگار باشند. یک‌راه حل برای این چالش استفاده از مکانیسم امنیتی وفقی و منعطف است که با استفاده از هماهنگ کننده مبتنی بر SDN است که می‌تواند براساس نیازمندی‌های امنیتی گره و مسیر مناسب را در برش شبکه تعیین کند.

¹ Next Generation Mobile Networks² Service layer agreement

۴-۲- جمع‌بندی

در نسل پنجم شبکه سلولی پیشرفت‌های چشمگیری در زمینه امنیت ایجاد شده است در این بخش به بررسی استاندارد امنیتی تدوین شده برای حفظ امنیت نسل پنجم و معماری امنیتی این شبکه پرداخته شده است. سپس با مقایسه امنیت شبکه نسل چهارم و پنجم به تغییرات ایجاد شده جهت حفظ امنیت کاربر و شبکه اشاره کردیم. در نهایت با توجه به استفاده از فضای ابری در پیاده‌سازی شبکه نسل پنجم به بررسی چالش‌های امنیت پیش رو در پیاده‌سازی فضای ابری اشاره کردیم. در ادامه به بررسی ویژگی‌های امنیتی شبکه 5G در به کارگیری آن در صنعت برق پرداختیم. با توجه به اهمیت امنیت ارتباطات در صنعت برق، شبکه ارتباطی نسل پنجم با به کارگیری احراز هویت متقابل و ایجاد بستر امن در انتقال پیام‌های سیگنالینگ در شبکه و همچنین مخفی نگه داشتن هویت کاربران باعث بهبود امنیت شبکه هوشمند خواهد شد. همچنین با توجه به تدابیر امنیتی توضیح داده شده 5G امکان جداسازی بخش‌های مختلف شبکه و ایجاد ویژگی امنیتی مورد نیاز در هر بخش را مستقل از سایر بخش‌ها فراهم می‌کند که این امکان در نسل‌های پیشین شبکه سلولی وجود نداشت. این مسأله باعث می‌شود ایجاد رخنه امنیتی در یک بخش از شبکه هوشمند باعث آسیب به بخش‌های دیگر نگردد. در نهایت ویژگی‌های امنیتی در نظر گرفته شده در شبکه نسل پنجم باعث بهبود امنیت کاربران و دستگاه‌های متصل به شبکه خواهد شد. با این وجود هنوز چالش‌های امنیتی مانند خطرات بالقوه امنیتی MECH، ایستگاه جعلی در ارتباطات IoT و امنیت زیرساخت ابر در به کارگیری 5G در شبکه هوشمند وجود دارد که در این فصل به آن اشاره شده است.

۵-۲- مراجع فصل دوم

- [1] 3GPP, "Security architecture and procedures for 5G System," (3GPP), TS 33.501, 2019. [Online]. Available: http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/33_series/33.501/33501-f50.zip
- [2] A guide to 5G, 2018 [Online]. Available: <https://www.ericsson.com/en/whitepapers/>
- [3] Vicki Livingston, what is 5G security, 2019 [online]; <https://searchsecurity.techtarget.com/opinion/Whats-the-answer-for-5G-security>
- [4] ENISA. (2017) Baseline security recommendations for IoT in the context of critical information infrastructures. ENISA Report. [Online]
- [5] ETSI, "Study of use cases and communications involving IoT devices in provision of emergency situations," (ETSI), TR 103.582, 2019.
- [6] R. Borgaonkar and M. G. Jaatun, "5G as an Enabler for Secure IoT in the Smart Grid : Invited Paper," 2019 First International Conference on Societal Automation (SA), Krakow, Poland, 2019, pp. 1-7, doi: 10.1109/SA47457.2019.8938064.
- [7] 3GPP, "Security architecture and procedures for 5G System," (3GPP), TS 33.501, 2019.
- [8] SIMalliance. (2019) SIMs, eSIMs and secure elements. 5G Security.
- [9] FINESEC project- integrated framework for predictive and collaborative security of financial infrastructures, 2019.
- [10] H. C. Leligou, T. Zahariadis, L. Sarakis, E. Tsampasis, A. Voulkidis, and T. E. Velivassaki, "Smart grid: a demanding use case for 5G technologies," in 2018 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops), March 2018.
- [11] G. Wikström, J. Torsner, J. Kronander, O. Al-Saadeh, F. Chernogorov, G. Bag, J. Neander, K. Landernäs, and P. Hovila, "Wireless protection of power grids over a 5g network," in 2019 IEEE PES GTD Grand International Conference and Exposition Asia (GTD Asia), March 2019, pp. 976–981.
- [12] 5G-ACIA Group Whitepaper. (2019) 5G Non-Public Networks for Industrial Scenarios.
- [13] A. Shaik, R. Borgaonkar, S. Park, and J.-P. Seifert, "New Vulnerabilities in 4G and 5G Cellular Access Network Protocols: Exposing Device Capabilities," in Proceedings of the 12th Conference on Security and Privacy in Wireless and Mobile Networks, ser. WiSec '19. New York, NY, USA: ACM, 2019, pp. 221–231A.
- [14] Shaik, R. Borgaonkar, S. Park, and J.-P. Seifert, "New Vulnerabilities in 4G and 5G Cellular Access Network Protocols: Exposing Device Capabilities," in Proceedings of the 12th Conference on Security and Privacy in Wireless and Mobile Networks, ser. WiSec '19. New York, NY, USA: ACM, 2019, pp. 221–231.
- [15] M. ZUO, K. WANG, X. ZHUANG, M. QI, C. Hartmann, M. Kneppers, S. Yogendra, D. Rosalia, and J. Golic, "Security aspects of network capabilities exposure in 5G," NGMN Alliance, Tech. Rep., 2018.

فصل ۳- بررسی برآوردن نیازمندی‌های ارتباطی متفاوت شبکه هوشمند برق

توسط 5G

۱-۳- مقدمه

استفاده از زیرساخت و خدمات مخابراتی برای کاربردهای شبکه برق، مستلزم رعایت ملاحظات و الزامات فنی با کیفیت سرویس مناسب برای بهره‌برداری از سیستم‌های قدرت می‌باشد. پیاده‌سازی شبکه‌های مخابراتی در شبکه برق، نه فرایندی از بالا به پایین و نه فرایندی از پایین به بالا است. به این مفهوم که نه می‌توان بر اساس نیازمندی‌ها، شبکه مخابراتی را طراحی نمود و نه می‌توان ابتدا شبکه را طراحی نمود و سپس بر اساس آن نیازمندی‌ها را پاسخ داد. بلکه بین نیازمندی‌ها شبکه برق و قابلیت‌های شبکه مخابراتی، یک رابطه رفت و برگشتی وجود دارد که بر اساس آن، شبکه مخابراتی باید پاسخگوی کاربردهای صنعت برق در یک چرخه عمر مفید باشد، چراکه نیازمندی‌های شبکه برق نیز همراه با قابلیت‌های جدید شبکه مخابراتی، در حال رشد است. در عین حال، شبکه مخابراتی صنعت برق و برنامه‌های کاربردی آن باید بیشتر از زیرساخت‌های ارتباطی تجاری الزامات فنی و امنیتی را پوشش دهند. به عنوان مثال، یک رله حفاظتی شاید ترافیک ناچیزی بر شبکه مخابراتی تحمیل کند ولی قابلیت اطمینان بسیار بالایی نیاز دارد و این یک الزام حیاتی برای این تجهیز محسوب می‌شود. با این توضیحات در این فصل از گزارش سعی شده ابتدا حوزه‌های عملکردی مختلف همچون اتوماسیون توزیع، قرائت کنتور، تولید پراکنده، بازار برق و خودرو برقی شناسایی و بر اساس آن الزامات فنی و امنیتی آن‌ها استخراج و در نهایت چالش‌های فعلی آن برای استفاده از زیرساخت مخابراتی 5G بیان شود. بر اساس مطالعات انجام شده لیست الزامات مخابراتی احصاء شده در شبکه هوشمند برق برای کاربردها و خدمات مختلف عبارت‌اند از:

- الزامات استاندارد

- میزان گذردهی

- زمان تأخیر

- پوشش یا برد بهره‌برداری

- ایزولاسیون

- در دسترس بودن و قابلیت اطمینان

- آینده ثباتی، همکارپذیری و پشتیبانی از سیستم‌های قدیمی

- عملکرد در شرایط بحران

- یکپارچگی خدمات و از دست رفتن بسته‌های داده

- امنیت

در ادامه هر یک از این الزامات به طور خلاصه تعریف خواهد شد و سپس این الزامات برای کاربردهای مدنظر در شبکه هوشمند با رویکرد بکارگیری شبکه 5G مورد بررسی بیشتری قرار بگیرند.

- الزامات استاندارد

قبل از ورود به بحث الزامات و چالش‌های به کارگیری شبکه مخابراتی 5G، لازم است که مختصری در مورد استانداردسازی شبکه‌های ارتباطی در صنعت برق توضیح داده شود. چراکه این استانداردها هستند که پروتکل‌های ارتباطی را برای کاربردهای مختلف در شبکه برق و امکان تعامل بین دستگاه‌ها و تجهیزات مختلف را مشخص می‌کنند و هدف اولیه‌ی آنها، ارائه یک معماری تبادل داده، مستقل از برندهای فروشندگان تجهیزات، می‌باشد. شبکه ارتباطی مبتنی بر استاندارد به شرکت‌های برقی این امکان را می‌دهد تا محصولات مورد نیاز در شبکه را بتوانند از فروشندگان مختلف تهیه کنند و هزینه‌ها را کاهش دهند. به عنوان مثال، استاندارد IEC 61850 علاوه بر ارتباطات مربوط به اتوماسیون پست‌ها، ارتباط بین پست‌ها، ارتباط پست با ایستگاه کنترل مرکزی، نظارت بر وضعیت دارایی و ارتباطات در سایر حوزه‌های شبکه برق را نیز مشخص می‌کند که نمونه‌هایی از آن در جدول ۱-۳ آورده شده است.

جدول ۱-۲ الزامات استاندارد IEC61850 در حوزه مخابرات صنعت برق

توضیحات	استاندارد
ارتباط بین پست‌ها	IEC 61850-90-1
ارتباط بین مرکز کنترل و پست‌ها	IEC 61850-90-2
ارتباطات پایش وضعیت (CM^1)	IEC 61850-90-3
دستورالعمل‌های مهندسی شبکه ارتباطی	IEC 61850-90-4
انتقال اطلاعات سنکروفازور ^۲ ارسالی مطابق با IEEE C37.118	IEC 61850-90-5
سیستم اتوماسیون فیدر توزیع	IEC 61850-90-6
ارتباطات مربوط به نظارت و کنترل نیروگاه‌های برق آبی	IEC 61850-7-410
سیستم‌های ارتباطی مربوط به منابع انرژی توزیع شده (DER)	IEC 61850-7-420

تبادل داده، رابط‌ها و پشته‌های پروتکل ارتباطی همگی در این استاندارد ترسیم شده‌اند. هر چند استاندارد IEC 61850 در ابتدا در سطح اتوماسیون پست (یعنی تبادل داده بین دستگاه‌های الکترونیکی هوشمند

¹ -Condition Monitoring² - Synchrophasor

(IED¹) از طریق شبکه LAN² معرفی شده بود ولی امروزه این استاندارد، ارتباطات در سطح شبکه‌های WAN³ و اتصال بین زیرشبکه‌ها را نیز معرفی و مشخص کرده است. نتیجه این که صنعت برق بنا بر مقتضیات، یکی از صنایعی است که در آن استاندارد بسیار مهم می‌باشد و لیست کاملی از استانداردهای شبکه‌سازی ارتباطات برای آن توسط موسسه استانداردسازی NIST ارائه شده است [۱]. هر چند در این بخش، هدف توضیح این الزامات نیست بلکه ذکر این نکته حائز اهمیت است که یکی از نیازمندی‌ها و الزاماتی که برای به کار بردن هر فناوری جدید باید در نظر گرفته شود مجموعه استانداردها و مقررات بکارگیری آن فناوری در صنعت برق می‌باشد. بنابراین اگر قرار باشد از فناوری‌ها یا شبکه‌های مخابراتی همچون شبکه 5G در صنعت برق استفاده شود باید الزامات استاندارد در مورد آن در نظر گرفته شود و به عنوان یک چالش به لحاظ تطابق استاندارد به آن نگاه کرد.

- میزان گذردهی^۴

معیار مهمی است که برای انتخاب یک زیرساخت مخابراتی استفاده می‌شود. برخی از زیرساخت‌های مخابراتی شبکه برق مانند PLC^۵ میزان گذردهی محدودی دارند چراکه این پارامتر به پهنای باند اختصاصی و ظرفیت سیستم بستگی دارد بنابراین ممکن است برای یک سرویس به گذردهی بالا در مدت زمان کوتاه نیاز باشد که پس از انتقال داده، پهنای باند برای سایر ترافیک‌ها آزاد می‌شود، ولی برای سرویس دیگر مانند رله حفاظتی برای انتقال نمونه‌های اندازه‌گیری شده باید به صورت پیوسته پهنای باند اشغال باشد. همچنین سربار پروتکل ارتباطی مسئله مهم دیگری است که در مورد میزان گذردهی باید مورد توجه قرار بگیرد. در بسیاری از کاربردهای جدید میزان تبادل داده در حال افزایش است که استاندارد IEC61850 که پروتکل‌های ارتباطی شبکه برق را تعیین می‌کند نیز از این قاعده مستثنی نیست. در مورد زیرساخت 5G به نظر می‌آید برای میزان گذردهی در یک زمان محدود مشکلی وجود نداشته باشد چون همانطور که در مرحله اول این پروژه اشاره شد با توجه به متوسط نرخ داده در 5G از این لحاظ حتی با اضافه شدن سربار در کاربردهای جدید چالشی وجود ندارد. ولی نکته‌ای که باید به آن توجه نمود اینکه برای بهره برداری صحیح از گذردهی 5G، میزان طیف در دسترس اپراتورها باید به طور قطع گسترش یابد به نحوی که با ترافیک ایجاد شده برای ارتباطات اینترنت اشیا، ترافیک درخواستی با اهداف تجاری باند پهن و ترافیک صنعتی متناسب باشد. آنچه که ممکن است استفاده از 5G را در این مورد با چالش مواجه کند، اختصاص کانال یا برش ارتباطی ضمانت‌شده برای کاربردهایی مانند تشخیص خطاست (ضمانتی که فقط منحصر به بحث محاسبه جریمه نمی‌باشد و پوشش

¹ -Intelligence Electronic Device

² -Local Area Network

³ -Wide Area Network

⁴ - Throughput

⁵ -Power Line Carrier

ضمانت شده کامل نیازمندی مخابراتی را دربرگیرد) با توجه به این که اساس شبکه‌های تلفن همراه تا قبل از ظهور 5G مبنای تجاری داشته است باید این موضوع را در نظر داشت که در موافقت‌نامه‌های سطح سرویس¹ (SLA) که با اپراتورهای مخابراتی منعقد می‌شود این مهم باید مورد توجه واقع شود.

- پوشش یا برد بهره‌برداری

پوشش مخابراتی و دسترسی به سایت‌های مختلف شبکه برق یکی از الزامات مخابراتی محسوب می‌شود. مثلاً با توجه به موقعیت محیطی برخی از پست‌های ولتاژ بالا (HV)² و نیروگاه‌ها، اپراتورهای مخابراتی به آن نقاط دسترسی نداشته و سایت‌های ولتاژ بالا از طریق فیبر نوری یا PLC قابل دسترسی هستند. دسترسی به شرکت‌های برق در محیط‌های شهری که در مجاورت شبکه ولتاژ بالا (HV) قرار دارند به طور مستقیم از طریق شبکه اختصاصی مستلزم نصب کابل‌های زیرزمینی، میکروویو یا سایر اتصالات³ آخرین مایل³ بی‌سیم است که معمولاً توجه اقتصادی ندارد؛ درحالی‌که در این نقاط، خدمات ارتباطی توسط اپراتورهای مخابراتی عمومی ارائه می‌شود.

همچنین در نیروگاه‌های تولید برق آبی و مزارع بزرگ انرژی تجدیدپذیر (بادی یا خورشیدی) غالباً هیچ جایگزینی بغیر از ارتباطات ماهواره‌ای⁴ VSAT وجود ندارد. بنابراین اینکه در چه نقطه‌ای قرار است از شبکه 5G استفاده شود مسأله مهمی است و با توجه به نوع گستردگی جغرافیایی شبکه برق باید نقاط کور آنتن‌دهی نیز در نظر گرفته شود.

- زمان تأخیر

تأخیر، مدت زمانی است که توسط شبکه ارتباطی تحمیل می‌شود و محدودیت مهمی برای یک فرمان کنترلی از راه دور در زمان محدود تلقی می‌شود. چراکه اگر فرمان مورد نظر با تأخیری بیشتر از انتظار دریافت شود، عملکرد کلی سیستم تخریب خواهد شد. به عنوان مثال، برای کاربرد حفاظت از راه دور، مقدار تأخیر بین زمان تشخیص خطا تا عملکرد مدار قطع‌کننده نباید بیش از چند میلی ثانیه شود.

برای هر کاربردی در صنعت برق یک تأخیر مجاز در نظر گرفته می‌شود که از زمان بروز ناهنجاری تا زمان رفع آن قابل تحمل است. بنابراین، یکی از الزامات عملکرد شبکه‌های ارتباطی تأخیرهایی است که بر روی سیگنال‌های سنجشی و کنترلی اعمال خواهد کرد. این که در هر کاربردی چه میزان تأخیر مجاز است الزامی است که توسط خط‌مشی‌های سیستم‌های قدرتی مشخص خواهد شد ولی مسلماً برای کاربردهای حساسی مانند حفاظت بین ۱۰۰ تا ۱۲۰ ms تعیین می‌گردد که شامل زمان عملکرد رله، سیگنالینگ حفاظت و عملکرد

¹ - Service-Level Agreement

² -High Voltage

³ -Last Mile

⁴ - Very Small Aperture Terminal

قطع‌کننده مدار می‌باشد که سهم حداکثری تأخیر مجاز برای شبکه ارتباطی حدود ۸-۱۰ میلی‌ثانیه (تقریباً نصف یک سیکل 50 Hz) خواهد بود. در جدول ۳-۲ برخی از تأخیرهای مجاز به همراه اولویت آن‌ها در بین چندین کاربرد هم‌زمان ارائه شده است.

جدول ۳-۱ الزامات تأخیر به همراه اولویت کاربرد در شبکه هوشمند برق [۲]

کاربرد در شبکه برق	اولویت	حداقل تأخیر مجاز (ms)	بازه حساسیت زمانی
حفاظت از دور (۵۰ و ۶۰ هرتز)	۲	۸ و ۱۰	Delay ≤ 10 ms
اسکادا	۲۰	۱۰	10 ms ≤ Delay ≤ 20 ms
حفاظت از دور	۱۵	۱۶	
حفاظت از دور	۱۵	۱۶	
سنکرون‌سازی فاز	۱۲	۲۰	
سنکرون‌سازی فاز	۱۰	۶۰	ms 20 ms ≤ Delay ≤ 100
اسکادا	۲۵	۱۰۰	
اتوماسیون توزیع	۲۶	۱۰۰	

منابع تولید پراکنده / ذخیره‌سازها	۲۷	۱۰۰	DG/DS کنترل، حوادث، وضعیت + اندازه‌گیری	
	۳۰	۱۰۰	سیگنالینگ PTT شرایط بحرانی	
سنکرون‌سازی فاز	۲۰	۱۰۰	همزمان‌سازی پالس ساعت PMU	
Business voice	۶۰	۲۰۰	سیگنالینگ VoIP (نفر-به-نفر)	ms 100 ms ≤ Delay ≤ 250
Dynamic Line Rating	۲۸	۲۰۰	DLR کنترل، حوادث، وضعیت + اندازه‌گیری	
MWF, CCTV	۵۵	۲۰۰	ویدئو زمان واقعی (MWF)	
CCTV	۵۵	۲۰۰	ویدیوی درخواستی دوربین مدار بسته	
SCADA, DA, DG/DS, DLR, etc.	۴۵	۲۰۰	داده‌های مهم عملکرد شبکه (مانند DMS, TMS)	
Business data	۷۰	۲۵۰	داده‌های مهم تجاری	
اسکادا	۶۵	۲۵۰	برنامه‌های کاربردی DMS و TMS (به غیر از موارد ذکر شده در بالا)	
AMI	۴۰	۲۵۰	AMI – حساس (مانند ولتاژ و توان)	
AMI	۷۰	۳۰۰	AMI – اولویت (مانند ADR)	
CCTV	۷۵	۴۰۰	CCTV نرمال	2500 ms ≤ Delay ≤ 1 s
سنکرون‌سازی فاز	۸۰	۵۰۰	PMU به غیر از کلاس A	
حفاظت	۸۰	۵۰۰	برخی از برنامه‌های کاربردی حفاظت و کنترل ترانسفورمر	

SCADA, DA, DG/DS, DLR, etc.	۸۰	۵۰۰	داده‌های عملیاتی غیرحساس	Delay ≥ 1 s
اسکادا	۹۰	۱۰۰۰	ثبت خطا	
اسکادا	۹۰	۱۰۰۰	اطلاعات پایش (با سرعت متوسط)	
اسکادا	۹۰	۱۰۰۰	اطلاعات تعمیر و نگهداری (با سرعت کم)	
AMI	۸۵	۱۰۰۰	AMI اندازه‌گیری، حوادث و پایش وضعیت	
حفاظت	۹۰	۱۰۰۰	عیب‌یابی و ترمیم	
برخی پاسخ به تقاضا، برخی از اتوماسیون توزیع	۹۰	۱۰۰۰	کاربردهای توزیع	

اطلاعات این جدول به عنوان یک راهنما برای طراحی QoS در نظر گرفته می‌شود تا الزامات تأخیر و اولویت هر کاربرد در طراحی شبکه براساس نیازهای کاربردی در نظر گرفته شود.

- ایزولاسیون

سرویس‌هایی که در بخش ولتاژ پایین شبکه برق ارائه می‌شوند باید کاملاً از بخش‌های ولتاژ متوسط و ولتاژ بالا ایزوله باشند، بنابراین الزام محدودیت‌های الکترومغناطیسی و محیطی برای این سرویس‌ها وجود دارد که باید بر روی تجهیزات مخابراتی اعمال شود. مشخصات دقیق در مورد جنبه‌های ایمنی در برابر EMC¹ در استاندارد IEC61000-6-5 (سازگاری الکترومغناطیسی - ایمنی برای ایستگاه‌های برق و محیط‌های پست) ارائه شده است بنابراین اگر بخواهیم از شبکه 5G در این کاربرد استفاده کنیم باید طبق استاندارد، رابط‌های دسترسی به اندازه کافی محافظت شده باشد تا از تشعشعات ولتاژ بالا در امان باشد.

- در دسترس بودن و قابلیت اطمینان

در دسترس بودن یک پارامتر آماری و بر اساس احتمال عملکرد مناسب شبکه برای تبادل اطلاعات تعریف می‌شود. معمولاً به عنوان درصدی از زمانی که شبکه می‌تواند ترافیک را انتقال دهد بیان می‌شود که در دسترس بودن سرویس ($A_{service}$) مطابق رابطه زیر بیان می‌شود.

$$A_{service} = 1 - \left(\frac{\text{Mean Time To Restore Service}}{\text{Mean Time Between Service Outages}} \right)$$

¹ - Electro Magnetic Compatibility

در توضیح این پارامتر باید گفت که ۹۹.۹۹۹٪ در دسترس بودن سرویس، احتمال ۰.۰۰۰۰۱ عدم دسترسی را ترجمه می‌کند که در یک سال برابر است با $0.00001 \times 365 \times 24 \times 60$ و به طور متوسط کمتر از ۵.۳ دقیقه یا ۳۱۱ ثانیه در سال است. این پارامتر آماری به طور گسترده در ارتباطات راه دور، سیستم‌ها و شبکه‌های کامپیوتری و تعریف توافق‌نامه‌های سطح سرویس (SLA) استفاده می‌شود که باید هنگام استفاده در سرویس‌های مهم عملیاتی با نسبت زمانی "Service-to-idle" کم، با احتیاط استفاده شود. چراکه فرض کنید برای یک سیستم حفاظت این پارامتر ۹۹.۹۹٪، ۹۹٪ در نظر گرفته شده باشد حال اگر یک رله حفاظتی بخواهد ۵۰ دستور در سال ارسال کند، به این معنی است که حدود ۶ ثانیه برای هر دستور هنوز مشکل در دسترس بودن وجود خواهد داشت. لذا برای سرویس‌های حساس و حیاتی با چرخه کارکرد^۱ کم، بهتر است از "قابلیت اطمینان سرویس"^۲ استفاده شود که به صورت احتمال شرطی در دسترس نبودن سرویس هنگامی که درخواست می‌شود، تعریف می‌شود. البته به شرطی که در دسترس نبودن سرویس را مستقل از احتمال درخواست سرویس در نظر بگیریم، یعنی [۳]:

$$\text{Dependability} = 1 - [\text{Unavailability} \times \text{Service} - \text{to} - \text{Idle Time Ratio}]$$

فرض کنید متوسط زمان سرویس رله حفاظتی که در سال ۵۰ بار رخ می‌دهد، ۱۰ میلی ثانیه باشد، در این حالت $\text{Service-to-Idle Time Ratio} = \frac{50 \times 10 \times 10^{-3}}{60 \times 60 \times 24 \times 365} \approx 10^{-8} \text{ sec}$ که عدم دسترسی 10^{-13} را ترجمه خواهد بود.

قابلیت اطمینان شبکه ارتباطی به عوامل زیادی از جمله کانال ارتباطی، محیط ارتباطی (مانند زیرزمین یا روی زمین بودن)، آب و هوا و کیفیت اتصالات مکانیکی بستگی دارد. برای شبکه‌های بی‌سیم، ارتباط طیف مجوزدار (به دلیل بالا بودن تداخلات در طیف بدون مجوز) قابلیت اطمینان بالاتری دارد همچنین استفاده از لینک‌های ارتباطی جایگزین و ترکیبی در شبکه‌های گسترده مانند WAN می‌تواند قابلیت اطمینان را تا میزان قابل قبولی ارتقا دهد.

- آینده ثباتی، همکاری‌پذیری و پشتیبانی از سیستم‌های قدیمی

معمولاً طول عمر دارایی‌های سیستم‌های قدرت نسبت به خدمات مخابراتی بیشتر است. پیش‌بینی می‌شود که تجهیزات مستقر شده در یک پست برق ۱۰ تا ۱۵ سال کار کند. علاوه بر این، انتظار می‌رود خدمات ارتباطی اتخاذ شده برای چنین کاربردهایی مداوم باشد بنابراین راه حل ارتباطی، خدمات و فناوری‌های مخابراتی به کار گرفته شده باید فراتر از طول عمر مورد انتظار هر نسل جدید، باشد به نحویکه بازار، سرویس و فناوری مشتری-محور در ملاحظات گنجانده شود.

¹ -Duty Cycle

² - service dependability

اگر از خدمات مخابرات عمومی مانند مخابرات سلولی 5G استفاده شود ممکن است که طول عمر این فناوری با ظهور نسل‌های جدید، تا قبل از پایان عمر تجهیزات قدرتی منسوخ شود و یا در صورت استفاده از خدمات مخابراتی اختصاصی، ممکن است واحدهای رابط یا تجهیزات، در یک مدت زمان مشخصی، توسط سازنده پشتیبانی نشود. در این حالت، به‌روزرسانی نرم‌افزارها یا قطعات اصلی، ممکن است بسیار دشوار و هزینه‌بر باشد. اتفاقی که اکنون در مورد زیرساخت PLC در شبکه برق افتاده و به‌روزرسانی مودم‌های این زیرساخت ارتباطی نه امکان‌پذیر و نه مقرون به صرفه است.

در مورد همکاری‌پذیری تجهیزات قدرتی و مخابراتی نیز ذکر این نکته الزامی است که باید معماری مدل انتقال داده، پشته پروتکلی و نقاط دسترسی منطبق بر استاندارد باشد و گرنه در عمل برای به‌کارگیری برندهای مختلف تجهیزات قدرتی و اتصال آن با شبکه ارتباطی حتماً با چالش مواجه هستیم.

همچنین در شبکه هوشمند تمام شبکه‌های FAN و WAN مبتنی بر IP هستند و اگر قرار باشد از شبکه 5G برای آن‌ها استفاده شود مسلماً یک شبکه IP محور خواهد بود ولی از سوی دیگر در شبکه برق امروزی تجهیزاتی مانند RTU¹ وجود دارند که مبتنی بر IP نیستند که نیاز است برای اتصال به شبکه FAN یا WAN مبتنی بر IP با تجهیزات جدید جایگزین شوند. پورت‌های مورد استفاده در این کاربردها در برخی از مراکز مخابراتی به صورت پیش فرض بسته می‌باشند در صورت استفاده از زیرساخت عمومی (مانند فناوری‌های 5G) در کاربردهای با سطح پراکندگی وسیع (تحت پوشش مراکز مخابراتی متعددی) می‌بایست تمهیداتی برای برطرف نمودن این قبیل چالش‌ها در نظر گرفته شود.

عملکرد در شرایط بحران

شبکه برق به لحاظ اینکه یک زیرساخت حیاتی محسوب می‌شود، لذا باید در برابر حوادث غیرمترقبه طبیعی و غیرطبیعی بقاء² و تاب‌آوری³ مناسبی داشته باشد. در ادبیات صنعت برق، بقاء به معنای توانایی برای ادامه عملکرد در حین و بعد از یک اختلال یا حادثه تعریف شده است که این مسئله می‌تواند الزامات دیگر مانند دسترسی‌پذیری و قابلیت اطمینان را نیز تحت تاثیر قرار دهد. مثلاً زیرساخت ارتباطی که برای شبکه برق در نظر گرفته می‌شود باید در برابر تهدیداتی همچون بمب‌های الکترومغناطیسی مقاوم باشد و تمهیدات مورد نیاز در این مورد باید رعایت شده باشد. مسأله دیگری که در شبکه برق مطرح است تاب‌آوری به مفهوم توانایی ارائه و حفظ سطح قابل قبولی از خدمات در صورت رخداد خطا یا حادثه است. در نتیجه به لحاظ ماهیت تجاری بودن و زمین‌پایه⁴ بودن شبکه 5G به نظر می‌رسد این دو پارامتر مهم برای این زیرساخت چالش‌های

¹ -Remote Terminal Unit

² - Survivability

³ - Resilience

⁴ -Terrestrial

اساسی باشند. لکن قابلیت‌هایی چون ارتباطات D2D یا تعیین سطوح دسترسی متفاوت و اولویت گذاری برای کاربردهای حساس در شبکه 5G می‌تواند در شرایط بحران کمک کننده باشد. شرایط بحران می‌تواند از عوامل طبیعی، جغرافیایی، سیاسی و اجتماعی نشأت گرفته باشد.

- یکپارچگی خدمات و از دست رفتن بسته‌های داده

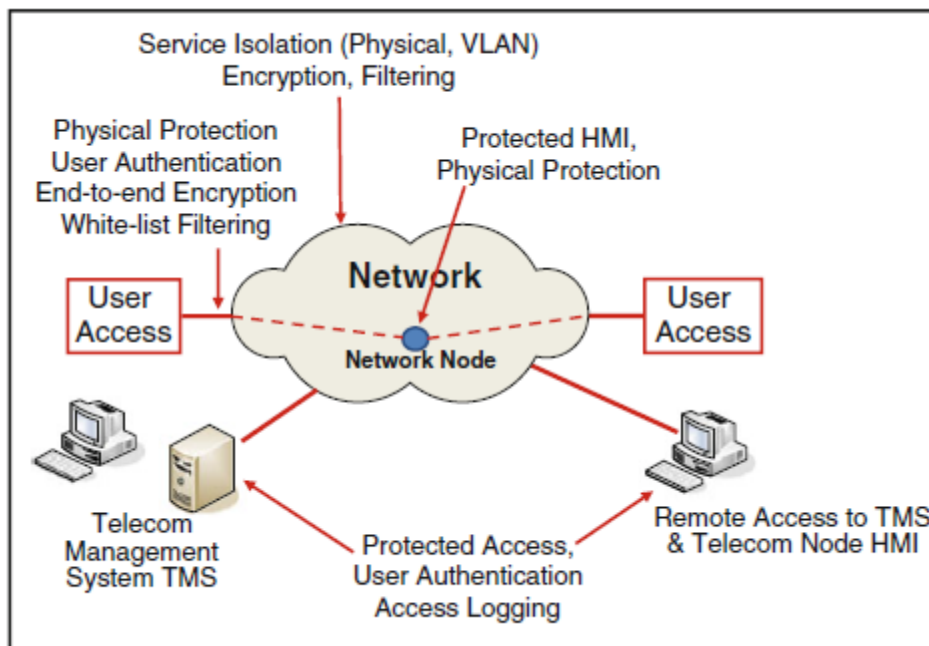
یکپارچگی خدمات، یعنی توانایی شبکه مخابراتی در انتقال اطلاعات بدون خراب شدن، بدون از دست رفتن و بدون تغییر در داده‌ها، تعریف می‌شود. خراب شدن داده‌ها و از دست رفتن آن‌ها به دلیل اختلالات کانال مخابراتی و تغییر داده مربوط به امنیت و یکپارچگی داده‌ها می‌باشد. در شبکه‌های ارتباطی دیجیتال، میزان خراب شدن داده با عملکرد خطای آن مشخص می‌شود و با معیار نرخ خطای بیت (BER) یا نرخ خطایی سمبول (SER) سنجیده می‌شود. بسته به نوع شبکه ارتباطی و نوع داده انتقالی، حد مجاز از دست رفتن بسته‌های داده متفاوت است.

در شبکه دسترسی تا زمانی که تأخیر انتها به انتها (E2E) پوشش داده شود، الزام خاصی برای از دست رفتن بسته وجود ندارد چراکه ارتباطات غالباً مبتنی بر TCP است؛ ولی مثلاً در شبکه بک‌هال حد مجاز از دست رفتن بسته کمتر از 10^{-6} است، تا زمانی که تأخیر انتها به انتها (E2E) پوشش داده شود. که این مستلزم اینست که بر اساس استاندارد IEC61850 و پروتکل GOOSE به درستی کار کند.

- امنیت ارتباطات

امنیت اطلاعات مسئله‌ای است که کل سیستم اطلاعاتی و ارتباطاتی را پوشش می‌دهد و به عنوان یک فرایند کامل انتها به انتها^۱ از طریق سیاست‌های امنیتی مناسب برای شناسایی حوزه‌های امنیتی، انجام اقدامات برای کاهش تهدیدات و تدوین برنامه‌های ممیزی دوره‌ای برای ارزیابی می‌باشد. هر چند در بخش دیگری از این مرحله‌ی پروژه، مسأله امنیت به عنوان یک چالش، مفصل بحث خواهد شد ولی در این قسمت به‌خاطر اهمیت موضوع به آن اشاره شده و اقداماتی که در جهت کاهش مخاطرات امنیتی برای ارائه خدمات مخابراتی لازم است در شکل ۳-۱ ارائه شده است.

¹ - End to End



شکل ۹-۱ اقدامات کاهش مخاطرات امنیتی برای ارائه خدمات مخابراتی

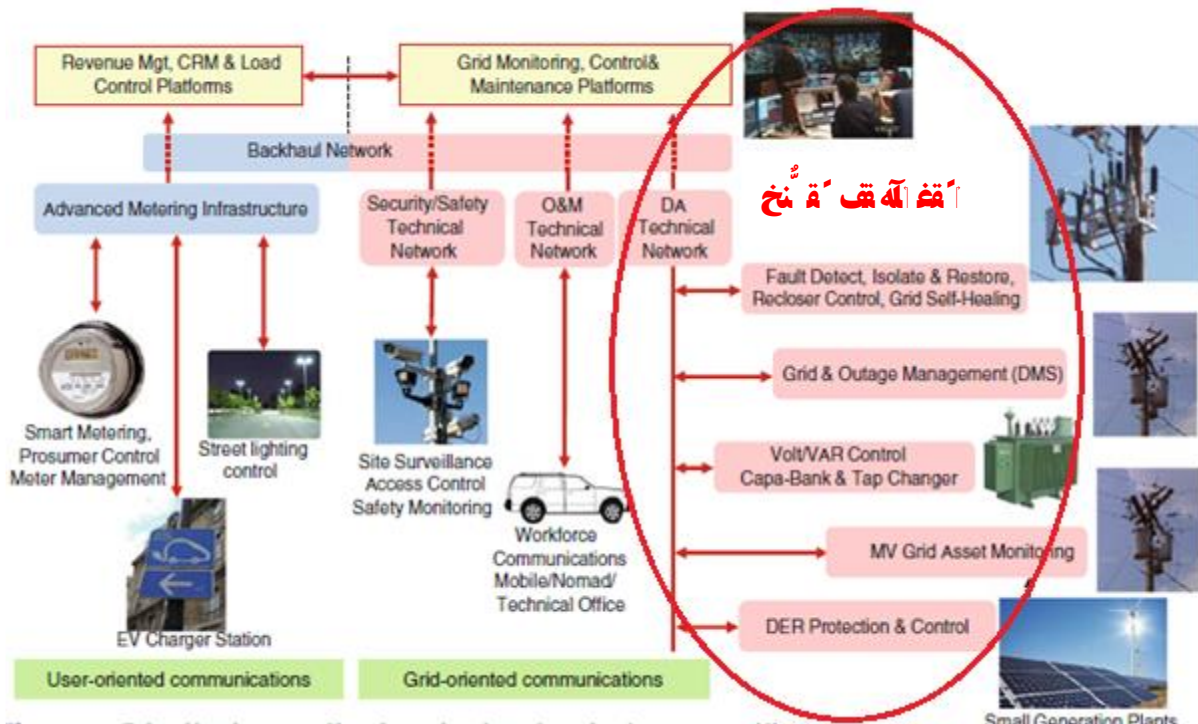
- نقطه دسترسی فیزیکی به سرویس ارتباطی باید ایمن باشد و امکان تصدیق هویت کاربر در آن فراهم باشد.
- اتصال در سراسر شبکه از طریق پهنای باند اختصاصی یا VLAN / VPN باید از سایر خدمات جدا شود. - در مورد یکپارچه‌سازی IP برای خدمات چند منظوره، موانع امنیتی و سیستم تشخیص نفوذ (IDS¹) باید در شبکه ارتباطی وجود داشته باشد و اطلاعات در سراسر شبکه رمزگذاری شود.
- پلتفرم مدیریت شبکه ارتباطات راه دور اساسی‌ترین آسیب‌پذیری در ارائه خدمات ارتباطی محسوب می‌شود لذا دسترسی به این پلتفرم باید از طریق حفاظت فیزیکی، تصدیق هویت و مدیریت ورود به سیستم، امن شود.
- دسترسی به تجهیزات تشکیل‌دهنده گره‌های شبکه ارتباطی نیز از منابع اصلی آسیب‌پذیری هستند که با محدود کردن دسترسی فیزیکی به تجهیزات شبکه، امنیت HMI² و غیرفعال کردن درگاه‌های بلااستفاده و محدود کردن تنظیمات از راه دور می‌توان تهدیدات را کاهش داد.

¹ - Intrusion Detection System

² -Human Machine Interface

۲-۳- اتوماسیون شبکه توزیع (DA¹)

ارتباطات در این کاربرد شامل ارتباطات مرتبط با نظارت و کنترل شبکه توزیع در تأمین برق مشترکین، سیستم‌های پایش و مدیریت از راه دور توزیع شده (DMS²/SCADA)، کنترل ولتاژ و توان، تشخیص خطا، تصحیح و بازیابی سیستم و غیره می‌باشد.



شکل ۱-۱۰ سرویس‌های بخش توزیع به همراه سرویس‌های اتوماسیون توزیع [۳]

اتوماسیون توزیع (DA) همانند زیرساخت اندازه‌گیری پیشرفته (AMI³)، دستخوش تغییرات زیادی توسط شرکت‌های آب و برق می‌شود، و این تغییرات میزان گسترش استقرار اتوماسیون توزیع یا شدت اتوماسیون را مشخص می‌کند. شبکه ارتباطی برای این کاربرد همانطور که در شکل ۲-۳ ملاحظه می‌شود شبکه NAN⁴ در هر بخش یا کل منطقه می‌باشد که از یکی از فناوری‌های PLC، RF mesh یا GPON⁵ استفاده می‌کند. ترافیک اتوماسیون توزیع به تعداد دستگاه‌های الکترونیکی هوشمند (IED)، تعداد دفعات اندازه‌گیری و تعداد عناصر اندازه‌گیری شده در هر IED بستگی دارد. در حال حاضر بیشتر استقرار اتوماسیون هوشمند (DA) در ریکلوزرها، سوئیچ‌ها و بانک‌های خازنی است که انتظار می‌رود دستگاه‌های الکترونیکی هوشمند (IED) در ترانسفورماتورهای توزیع نیز مستقر شوند و حجم داده‌های اتوماسیون هوشمند (DA) را افزایش دهند. در

¹ - Distribution Automation

² - Distribution Management System

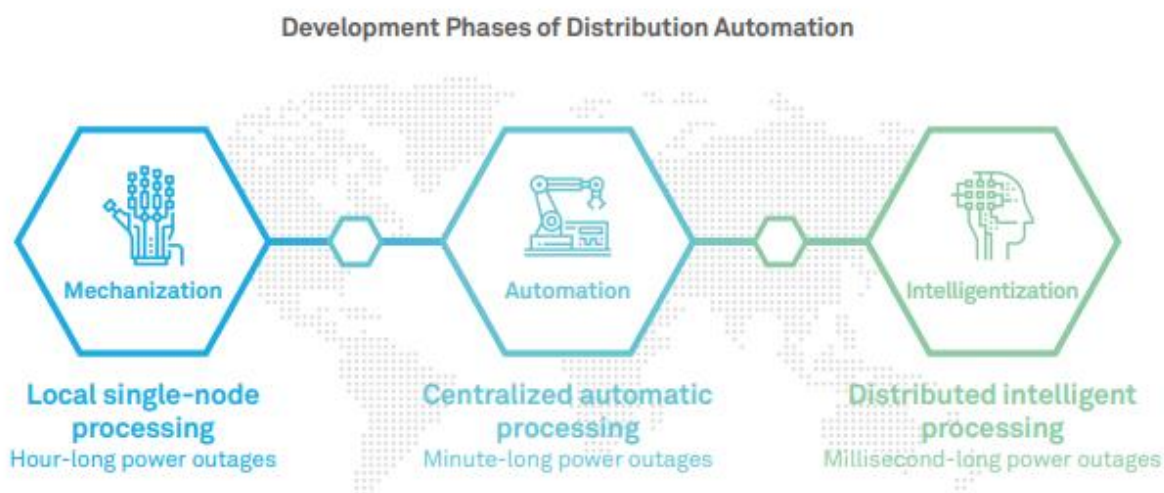
³ -Advanced Metering Infrastructure

⁴ - Neighborhood Area Network

⁵ - Gigabit Passive Optical Networks

آینده نیز واحدهای اندازه‌گیری فازرو یا PMUها ممکن است در سیستم توزیع، به ویژه با استقرار منابع تولید پراکنده (DG) در مقیاس بزرگ، مستقر شوند، در این حالت ممکن است زیرساخت‌های ارتباطی و معماری اتوماسیون تغییر کند با این استدلال‌ها تاکنون سه نسل مختلف از سیستم‌های اتوماسیون توزیع ارائه شده است:

- سیستم ماشینی^۱ که پردازش به صورت تک گره‌ای و محلی انجام می‌شود، قطعی برق در این نوع اتوماسیون ساعت‌ها طول می‌کشد.
- سیستم خودکار^۲ که پردازش به صورت خودکار و متمرکز^۳ انجام می‌شود، قطعی برق در این نوع اتوماسیون در حد دقیقه می‌باشد.
- سیستم هوشمند^۴ که پردازش به صورت هوشمند و توزیع شده^۵ انجام می‌شود، قطعی برق در این نسل از اتوماسیون در حد میلی‌ثانیه می‌باشد.



شکل ۱۱-۱ روند تکامل اتوماسیون توزیع (DA) [۵]

در حال حاضر از اتوماسیون متمرکز در شبکه برق استفاده می‌شود که در آن شبکه‌های ارتباطی، فیدر و شبکه‌های رایانه‌ای به کار برده می‌شود. هنگامی که شبکه توزیع برق به درستی کار کند، سیستم اتوماسیون توزیع وضعیت عملکرد شبکه را از راه دور کنترل و مدیریت می‌کند و امکان تشخیص سریع خطا وجود دارد. علاوه بر این، یک دیسپاچر^۶ می‌تواند منطقه‌ای که در آن خطا رخ داده را از راه دور جدا کرده و برق‌رسانی

¹ -Mechanization

² -Automation

³ -Centralized

⁴ -Intelligentization

⁵ -Distributed

⁶ -Dispatcher

به سایر مناطق را تأمین کند. در این میان سیستم ارتباطی، ترافیک داده‌های اندازه‌گیری شده از راه دور^۱ را در سایت‌های اولیه که معمولاً در شهرها مستقر شده‌اند بارگذاری می‌کند (لینک فراسو) و دستورالعمل‌های کنترلی از راه دور را برای جداسازی و تصحیح خطای رخ داده ارسال می‌کند (لینک فروسو). برای تأمین برق پایدار، به منابع تأمین انرژی با اطمینان بالا نیاز است و باید زمان جداسازی منطقه‌ای که در آن خطا رخ داده از میلی‌ثانیه فراتر نرود. در نتیجه این مسئله، چالش جدی در مورد پردازش متمرکز و تأخیر سایت‌های اصلی محسوب می‌شود. به عنوان یک راه حل، جایگزینی اتوماسیون هوشمند توزیع‌شده به جای اتوماسیون متمرکز پیشنهاد شده است. در اتوماسیون هوشمند توزیع‌شده، پردازش سایت‌های اصلی به پایانه‌های توزیع‌شده هوشمند منتقل شده و با استفاده از ارتباط هم‌تا به هم^۲ بین پایانه‌ها، تجزیه و تحلیل شبکه، تشخیص محل خطا، جداسازی و بازیابی شبکه برق در سایر مناطق قابل حصول است. این امر باعث می‌شود فرآیند عیب‌یابی کاملاً خودکار انجام شود و مدت زمان و دامنه خرابی‌ها به حداقل برسد. در این روش مدت زمان عیب‌یابی از دقیقه به میلی‌ثانیه کاهش می‌یابد.

۱-۲-۳- الزامات فنی اتوماسیون هوشمند توزیع شده و بررسی برآوردن آن‌ها در زیرساخت

5G

- **میزان گذردهی^۳:** در مورد زیرساخت 5G به نظر می‌آید برای میزان گذردهی در یک زمان محدود حتی با زیاد شدن تعداد دستگاه‌های الکترونیکی هوشمند (IEDs) در پست‌های مدرن مشکلی وجود نداشته باشد چون همانطور که در مرحله اول این پروژه نیز اشاره شد با توجه به متوسط نرخ داده در 5G از این لحاظ حتی با اضافه شدن سربار در کاربردهای جدید چالشی وجود ندارد.
- **پوشش یا برد بهره‌برداری:** اینکه در چه منطقه‌ای قرار است از شبکه 5G استفاده شود مسأله مهمی است. اگرچه در بخش اتوماسیون توزیع با توجه به ماهیت آن منطقه پوششی کمتر از ۱۰ کیلومتر خواهد بود لذا می‌توان از شبکه 5G استفاده نمود مگر اینکه با توجه به منطقه جغرافیایی نقاط کوری به لحاظ پوشش مخابراتی وجود داشته باشد.
- **تأخیر بسیار کم:** بسته به نسل استفاده شده اتوماسیون توزیع، نیازمندی طرح شده توسط بهره‌برداران برای فواصل زمانی پایش‌های وضعیت، استانداردها و پروتکل‌های ارتباطی استفاده شده، و تعداد دستگاه‌های الکترونیکی هوشمند (IEDs) در شبکه تحت پوشش اتوماسیون، تأخیرها و اولویت‌های آن‌ها ممکن است متغیر باشد. به فرض اینکه از سیستم اتوماسیون توزیع هوشمند استفاده شود، تأخیر باید در حد میلی‌ثانیه باشد. هر چند در شبکه 5G روش‌هایی مانند برش شبکه وجود

¹ - Telemetry

² - Peer-to-Peer

³ - Throughput

دارد که می‌توان به تأخیرهایی در حد میلی‌ثانیه رسید (IMT2020) ولی به نظر می‌رسد تأمین چنین تأخیری مستلزم گذشت زمان و تکامل شبکه 5G است و در حال حاضر چنین تأخیری برای شبکه 5G و اتوماسیون هوشمند توزیع شده یک چالش می‌باشد.

- **ایزولاسیون بالا:** چون اتوماسیون توزیع در بخش ولتاژ پایین انجام می‌شود بنابراین باید کاملاً از بخش‌های ولتاژ متوسط (MV) و ولتاژ بالا (HV) ایزوله باشد، لذا الزام محدودیت‌های الکترومغناطیسی و محیطی برای این سرویس وجود دارد که باید بر روی تجهیزات مخابراتی اعمال شود. مشخصات دقیق در مورد جنبه‌های ایمنی در برابر EMC در استاندارد IEC61000-6-5 (سازگاری الکترومغناطیسی - ایمنی برای ایستگاه‌های برق و محیط‌های پست) ارائه شده است بنابراین اگر بخواهیم از شبکه 5G در این کاربرد استفاده کنیم باید طبق استاندارد، رابط‌های دسترسی و مودم‌های 5G به اندازه کافی محافظت شده باشد تا از تشعشعات ولتاژ بالا در امان باشد و به نظر می‌رسد این مورد نیز یک چالش محسوب شود.

- **قابلیت اطمینان بالا:** بر اساس استاندارد (IEC 61850, IEC 61499) برای اتوماسیون هوشمند توزیع شده قابلیت اطمینانی برابر با ۹۹.۹۹۹٪ نیاز است. به این مفهوم که ۵.۲۵ دقیقه در سال یا فقط ۵ ساعت در ۵۷ سال مجاز است که سرویس از مدار خارج باشد. بنابراین زیرساخت ارتباطی به قابل اطمینان فوق العاده نیاز دارد. طبق ادعایی که در مورد شبکه 5G توسط IMT2020 شده است قابلیت اطمینان در این نسل مخابراتی (در سرویس URLLC)، ۹۹.۹۹۹٪ است و ظاهراً مشکلی از این بابت وجود نخواهد داشت.

- **آینده ثباتی، همکاری‌پذیری و پشتیبانی از سیستم‌های قدیمی**

در اتوماسیون توزیع با توجه به تنوع زیاد رله‌ها، سنسورها، دستگاه‌های الکترونیکی هوشمند (IEDs) و تجهیزات قدرت جانبی به کارگرفته شده این موارد می‌تواند به عنوان چالش‌های اساسی برای اتصال به شبکه مخابراتی مطرح باشد و اینجاست که نیاز به رعایت استانداردهای مرتبط با آن احساس می‌شود. علاوه بر این در شبکه توزیع کنونی بسیاری از تجهیزات مانند RTU وجود دارند که مبتنی بر IP نیستند و از زیرساخت‌های ارتباطی اختصاصی استفاده می‌کنند؛ در صورتی که به دلیل منسوخ شدن تجهیزات ارتباطی در این سیستم‌های قدیمی نیاز شود که از زیر ساخت‌های عمومی چون موبایل استفاده شود، لازم است که این تجهیزات قدیمی به روز شوند که مسلماً هزینه زیادی خواهد داشت و یک چالش محسوب می‌شود.

همچنین اخیراً موسسه IEC^۱ برای ارتباطات پست‌ها با مراکز کنترل، استاندارد IEC 61850-90-2 را پیشنهاد داده و اگر قرار باشد نقطه انتهایی (EndPoint) بر اساس این پروتکل ارتباطی به شبکه 5G متصل شود همخوانی پروتکل‌های ارتباطی در نقاط اتصال به نظر یک چالش می‌باشد.

- **عملکرد در شرایط بحران:** در مورد اتوماسیون توزیع و الزام تأمین برق نقاط حساس و پریسک در انتخاب زیرساخت ارتباطی به عنوان ستون فقرات آن باید چالش‌های مطرح شده در مورد آن مورد توجه قرار بگیرد. شبکه 5G به لحاظ تجاری بودن و زمین پایه بودن ممکن است در این مورد با چالش مواجه شود.

- یکپارچگی خدمات و از دست رفتن بسته‌های داده

در شبکه‌های دسترسی که اتوماسیون توزیع نیز جزئی از آن محسوب می‌شود، برای حد مجاز از دست رفتن بسته‌های داده^۲ تا زمانی که تأخیر انتها به انتها (E2E) پوشش داده شود، الزام خاصی وجود ندارد چراکه ارتباطات غالباً مبتنی بر TCP است. از سوی دیگر باید دید که برای کاربردهای حساس‌تر مانند شبکه بک‌هال که میزان خطا باید کمتر از 10^{-6} باشد تا چه میزان موفقیت در شبکه 5G حاصل خواهد شد.

۳-۳- منابع تولید پراکنده (DER)

انواع جدید منابع تولید انرژی توزیع شده مانند منابع بادی، خورشیدی، خودروهای الکتریکی، ذخیره‌سازها و ریزشبکه‌ها، حالت‌های تأمین انرژی هستند که در سمت مشترک به کار گرفته می‌شوند. چنین منابع تولید پراکنده‌ای می‌تواند به صورت مستقل یا در شبکه برق مستقر شود.

همچنین اتصال این منابع تولید به شبکه توزیع مشکلات و چالش‌های فنی جدیدی را برای عملکرد ایمن و پایدار شبکه توزیع به همراه دارد. چراکه این منابع تولید در طراحی شبکه توزیع سنتی مورد توجه قرار نگرفته است و کاربران در این رویکرد جدید، هم مصرف‌کننده و هم تولیدکننده (Prosumers) برق خواهند بود و یک جریان متغیر دو طرفه در زمان واقعی به وجود می‌آید. بنابراین، برای افزایش قابلیت اطمینان، انعطاف‌پذیری و کارایی شبکه توزیع، فناوری‌ها و ابزارهای جدیدی مورد نیاز است. در مرحله اول یک سیستم نظارت و کنترل خودکار بر عملکرد این منابع تولید نیاز است. این سیستم دارای توابع بسیاری از جمله جمع‌آوری و پردازش داده‌ها، تنظیم‌کننده توان، کنترل‌کننده ولتاژ و تشخیص دهنده جزایر شبکه می‌باشد که قابلیت برنامه‌ریزی، کنترل، هماهنگی و اتصال به سیستم‌های مرتبط را دارد. این سیستم نظارتی شامل پست اصلی، پست‌های نظارت بر توزیع برق، پایانه‌های توزیع برق و سیستم ارتباطی است. یک منبع تولید

¹ - International Electrotechnical Commission

² - Packet-loss

پراکنده (DG) هم در سطح ولتاژ پایین (LV) (مصرف کنندگان و برخی از میکروگریدها) و هم در سطح ولتاژ متوسط (MV) (شبکه مستقل DG و میکروگریدها) به شبکه وصل می‌شود. شرکت‌های توزیع برق با استفاده از دستگاه‌های الکترونیکی هوشمندی (IEDs) که در سایت تولید انرژی نصب شده است منابع تولید پراکنده را رصد می‌کنند، لذا ترافیک ایجاد شده توسط دستگاه‌های الکترونیکی هوشمندی (IEDs) با افزایش تعداد منابع تولید پراکنده در شرایط بهره‌برداری برای حفظ پایداری شبکه و کنترل کیفیت برق باید برنامه‌ریزی و تخمین زده شود. اطلاعات مربوط به هر منبع تولید باید هر چند ثانیه یکبار اندازه‌گیری و به سیستم‌های مدیریت توزیع شده (DMS¹) ارسال شود که ممکن است در آینده نه چندان دور واحدهای اندازه‌گیری فازور (PMUs) نیز برای بهبود مدیریت پایداری شبکه نیز در سایت‌های منابع تولید پراکنده مستقر شوند. علاوه بر این ذخیره‌سازها (DS²) ممکن است در بسیاری از مکان‌ها برای مدیریت بار و پاسخگویی به تقاضا مستقر شوند که ترافیک ارتباطی آن‌ها نیز باید در پیش‌بینی ترافیک در آینده لحاظ شود.

۱-۳-۳ الزامات فنی منابع تولید پراکنده و بررسی برآوردن آن‌ها در زیرساخت 5G

- **قابلیت اطمینان بالا:** برای شبکه ارتباطی مورد نیاز جهت کنترل و مدیریت منابع تولید پراکنده قابلیت اطمینانی برابر با ۹۹.۹۹۹٪ نیاز است [۴]. بنابراین زیرساخت ارتباطی فوق العاده قابل اطمینان نیاز دارد. طبق ادعایی که در مورد شبکه 5G توسط IMT2020 شده است قابلیت اطمینان در این نسل مخابرات سلولی ۹۹.۹۹۹٪ است و ظاهراً مشکلی از این بابت وجود نخواهد داشت.

- **میزان گذردهی:** پهنای باند مورد نیاز برای این سرویس در لینک فراسو و فروسو مقدار متوسطی است و با توجه به مشخصات شبکه 5G از این لحاظ حتی با اضافه شدن سربار در کاربردهای جدید چالشی وجود نخواهد داشت.

- **تأخیر کم:** همانند سیستم اتوماسیون توزیع هوشمند، در این کاربرد نیز تأخیر باید کم باشد این تأخیر شامل جمع‌آوری داده در لینک فراسو و فرمان‌های کنترلی در لینک فروسو می‌شود که به نظر می‌رسد شبکه 5G با توجه با پارامترهای تعریف شده آن از این بابت مشکلی نداشته باشد. طبق جدول ۲-۳، کنترل، رصد حوادث، پایش وضعیت و اندازه‌گیری در منابع پراکنده (DGs) و ذخیره‌سازها (DSs) در مجموع ۱۰۰ میلی‌ثانیه تخمین زده می‌شود که مسلماً سهم شبکه ارتباطی کسری از ۱۰۰ میلی‌ثانیه برآورد می‌شود.

- **چگالی زیاد گره‌های ارتباطی:** با افزایش منابع پراکنده (DGs) مخصوصاً در سمت مصرف‌کننده‌ها تعداد گره‌های ارتباطی نیز طبیعتاً افزایش می‌یابد و شبکه مخابراتی باید بتواند پاسخگوی برقراری ارتباطات در

¹ - Distribution Management System

² -Distributed Storage

مقیاس بزرگ (MTC^1) باشد. چالشی که در این وضعیت برای ارتباطات سلولار وجود دارد ازدحام ناشی از دستگاه‌های MTC، در لایه دسترسی رادیویی و شبکه هسته می‌باشد. تراکم شبکه دسترسی رادیویی معمولاً در ناحیه پوشش یک سلول خاص رخ می‌دهد که بسیاری از دستگاه‌های MTC هم‌زمان به همان ایستگاه پایه می‌خواهند دسترسی داشته باشند. هنگامی که تعداد زیادی از دستگاه‌های MTC پیام‌ها را از بسیاری از ایستگاه‌های پایه به یک سرور MTC منتقل می‌کنند، ازدحام شبکه هسته رخ می‌دهد که در این حالت تراکم شبکه هسته ممکن است منجر به تأخیر غیرقابل قبول، از دست رفتن بسته‌ها و عدم دسترسی به سرویس شود. هر چند در شبکه نسل پنجم با اختصاص منابع و کنترل آن‌ها توسط شبکه مبتنی بر نرم‌افزار (SDN^2) در لایه شبکه هسته، شبکه به گونه‌ای پیکربندی می‌شود که مخصوص آن کاربرد (مثلاً ارتباطات نوع ماشین حجیم (mMTC)) شود، که اصطلاحاً برش شبکه³ انجام خواهد شد.

- پوشش یا برد بهره‌برداری: با توجه به گستردگی این شبکه‌ها و وجود نقاط کور در پوشش مخابراتی در صورتی که از شبکه سلولار عمومی استفاده شود امکان دارد در برخی نقاط مشکل وجود داشته باشد. به خصوص در مورد مزارع بادی یا خورشیدی که در مناطق کویری یا مناطق مرتفع غیرمسکونی احداث می‌شوند این امر چالشی اساسی خواهد بود. لکن با توجه به گستره موردنظر می‌توان از شبکه موبایل در کنار سایر فناوری‌های مخابراتی بهره برد.

- عملکرد در شرایط بحران: با یک نگاه کلی در مورد کارایی و استفاده از این شبکه‌ها، به نظر نمی‌رسد که عملکرد آن‌ها در شرایط بحرانی خیلی حیاتی باشد، البته باید این نکته را مدنظر داشت که در شرایط بحران که برق به صورت سراسری ممکن است قطع شود (مثلاً بر اثر یک حمله سایبری)، وجود و استفاده از منابع تولید پراکنده (DGs) و ذخیره‌سازها (DSs) بسیار حیاتی و مهم خواهد بود. بنابراین بنا بر شرایط، استفاده از شبکه 5G به همراه سایر زیرساخت‌های ارتباطی پشتیبان برای این کاربرد توصیه می‌شود.

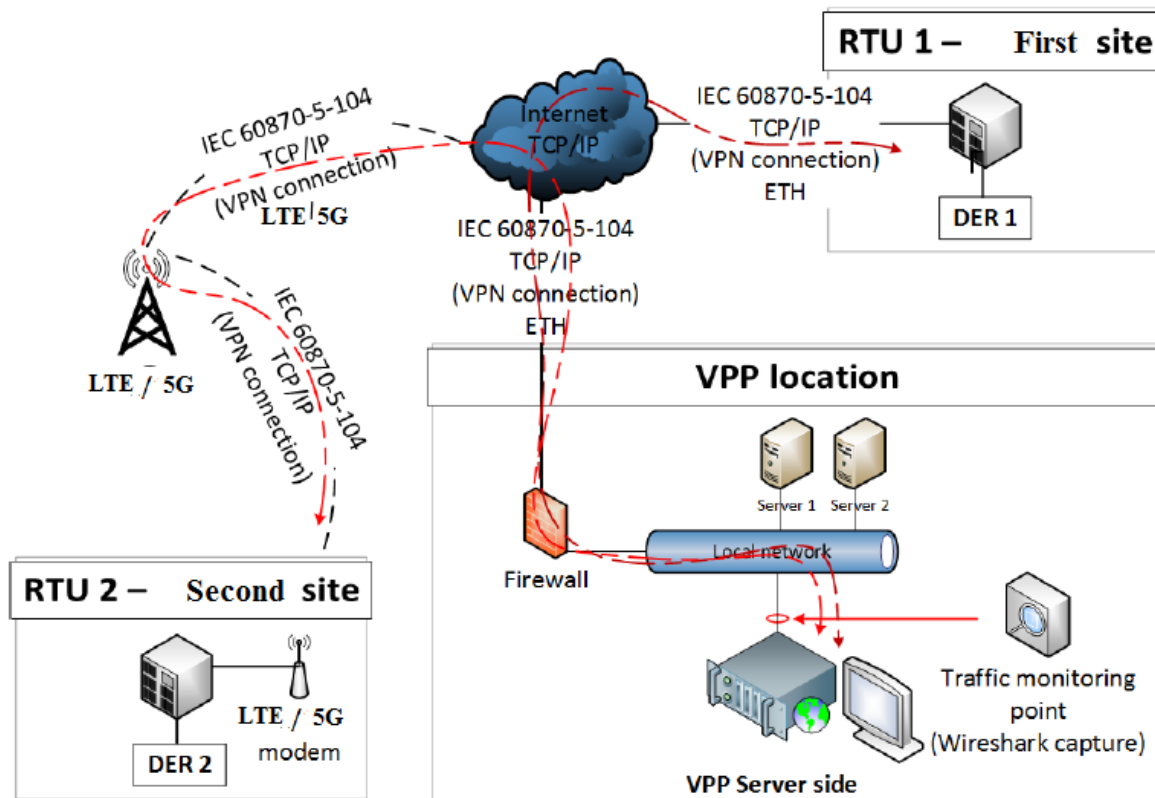
- آینده ثباتی، همکاری‌پذیری و پشتیبانی از سیستم‌های قدیمی: در مورد آینده ثباتی نکته قابل تأمل همان است که در بخش‌های قبلی ذکر شد، با توجه به اینکه عمر دارایی‌های سیستم قدرت در حدود ۱۰ تا ۱۵ سال تخمین زده می‌شود لذا باید در انتخاب شبکه اطلاعاتی و ارتباطی با توجه به تغییرات سریعی که در مورد فناوری‌ها و مشخصات فنی در این حوزه رخ می‌دهد، دقت لازم داشت. رعایت استاندارد به خاطر استفاده از تعداد زیاد دستگاه‌های الکترونیکی هوشمند (IEDs) و واحدهای اندازه‌گیری فازور (PMUs) برای حفظ پایداری شبکه و کنترل کیفیت برق و همکاری‌پذیری آن‌ها در این شبکه‌ها، یک الزام محسوب می‌شود.

¹ - Machine-Type Communications

² - Software Define Network

³ - Slicing Network

موسسه IEC^۱ برای ارتباطات داخلی در منابع تولید پراکنده (DERs) استاندارد IEC 61850-7-420 را پیشنهاد داده و اگر قرار باشد نقطه انتهایی (EndPoint) بر اساس این پروتکل ارتباطی به شبکه 5G متصل شود همخوانی پروتکل‌های ارتباطی در نقاط اتصال به نظر یک چالش می‌باشد. (شکل ۳-۴)



شکل ۱۲-۱ ادغام منابع تولید پراکنده (DERs) از طریق شبکه سلولار (LTE/5G) و پروتکل‌های ارتباطی متفاوت

- **ایزولاسیون:** منابع تولید پراکنده هم در سطح ولتاژ پایین (LV) یعنی سمت مصرف‌کنندگان و هم در سطح ولتاژ متوسط (MV) یعنی در شبکه توزیع وجود خواهد داشت بنابراین مسأله ایزولاسیون و ملاحظات مربوط به آن در مورد شبکه ارتباطی باید در نظر گرفته شود.

۳-۴- زیرساخت اندازه‌گیری پیشرفته (AMI^۲)

وظیفه زیرساخت اندازه‌گیری پیشرفته (AMI) اتصال کنتورهای هوشمند سمت مشترکین به سیستم مدیریت داده‌های اندازه‌گیری شده (MDMS^۳) واقع در مرکز کنترل داده (DCC) در شرکت‌های برقی و سایر عناصر شبکه میانی که از ارتباط بین کنتورهای هوشمند و MDMS پشتیبانی می‌کنند، می‌باشد. اندازه‌گیری دوره‌ای

^۱ -International Electrotechnical Commission

^۲ - Advanced metering infrastructure

^۳ -Metering Data Managemenet System

مقادیر الکتریکی (در حالت ایده‌آل هر چند دقیقه یک‌بار) توسط کنتورهای هوشمند برای پشتیبانی از تعداد زیادی برنامه کاربردی و عملکردهای تجاری مانند مدیریت مصرف انرژی، قیمت‌گذاری، بازار برق و سایر کاربردهای مصرف‌کننده محور مانند صورتحساب استفاده می‌شود. در واقع زیرساخت اندازه‌گیری پیشرفته (AMI) یکی از برجسته‌ترین برنامه‌های کاربردی شبکه هوشمند می‌باشد. (در سال ۲۰۰۹ حدود ۲۵٪ از کل بودجه ۳.۴ میلیارد دلاری که از طرف وزارت انرژی ایالات متحده (DoE^۱) برای شبکه هوشمند اختصاص داده شده فقط برای تأمین اعتبار پروژه‌های زیرساخت اندازه‌گیری پیشرفته (AMI) استفاده شده بود). کنتورهای هوشمند با اندازه‌گیری‌های دوره‌ای، بسیاری از عملکردهای خدمات بخش توزیع مانند پاسخ به تقاضا و لثاژ، کنترل توان راکتیو (VAR^۲)، کنترل وات (VWC^۳)، و غیره را در فواصل هر یک ساعت یا هر ۱۵ دقیقه یا هر ۵ دقیقه یک بار قرائت می‌کنند. بسته به قابلیت کنتور هوشمند، برخی یا تمام اندازه‌گیری‌های زیر را می‌توان در یکی از بازه زمانی ۱۵، ۵ یا ۱ دقیقه‌ای توسط زیرساخت اندازه‌گیری پیشرفته (AMI) گزارش داد:

- مصرف تجمعی انرژی (کیلووات ساعت)، میزان مصرف انرژی تفاوت بین اندازه‌گیری‌های مصرف تجمعی انرژی دو بازه متوالی است.

- اندازه‌گیری ولتاژ لحظه‌ای

- اندازه‌گیری جریان لحظه‌ای

- اندازه‌گیری توان لحظه‌ای

- اندازه‌گیری توان متوسط

- اندازه‌گیری توان راکتیو (متوسط و لحظه‌ای)

- اندازه‌گیری ضریب توان (لحظه‌ای)

- اندازه‌گیری فاز (سینوسی) (لحظه‌ای)

همچنین اگر مشتری در برنامه قیمت‌گذاری پویا مانند TOU^۴، CPP^۵ یا RTP^۶ شرکت کرده باشد می‌توان نشان داد که آیا در این فاصله زمانی این برنامه‌ها برای مصرف‌کننده برق موثر بوده یا خیر؟ علاوه بر این، اندازه‌گیری برق تحویل داده شده به شبکه توسط منابع پراکنده (DGs) از کاربردهای دیگر سیستم AMI می‌باشد. قطع و وصل خودکار کنتورها، ثبت نام مجدد آن‌ها در سیستم مدیریت داده‌های اندازه‌گیری شده (MDMS) پس از قطع شدن و ارتقا میان افزار و نرم افزار کنتور از طریق AMI پشتیبانی می‌شود.

^۱ - U.S. Department of Energy

^۲ - reactive power

^۳ - Voltage, Var, and Watt Control

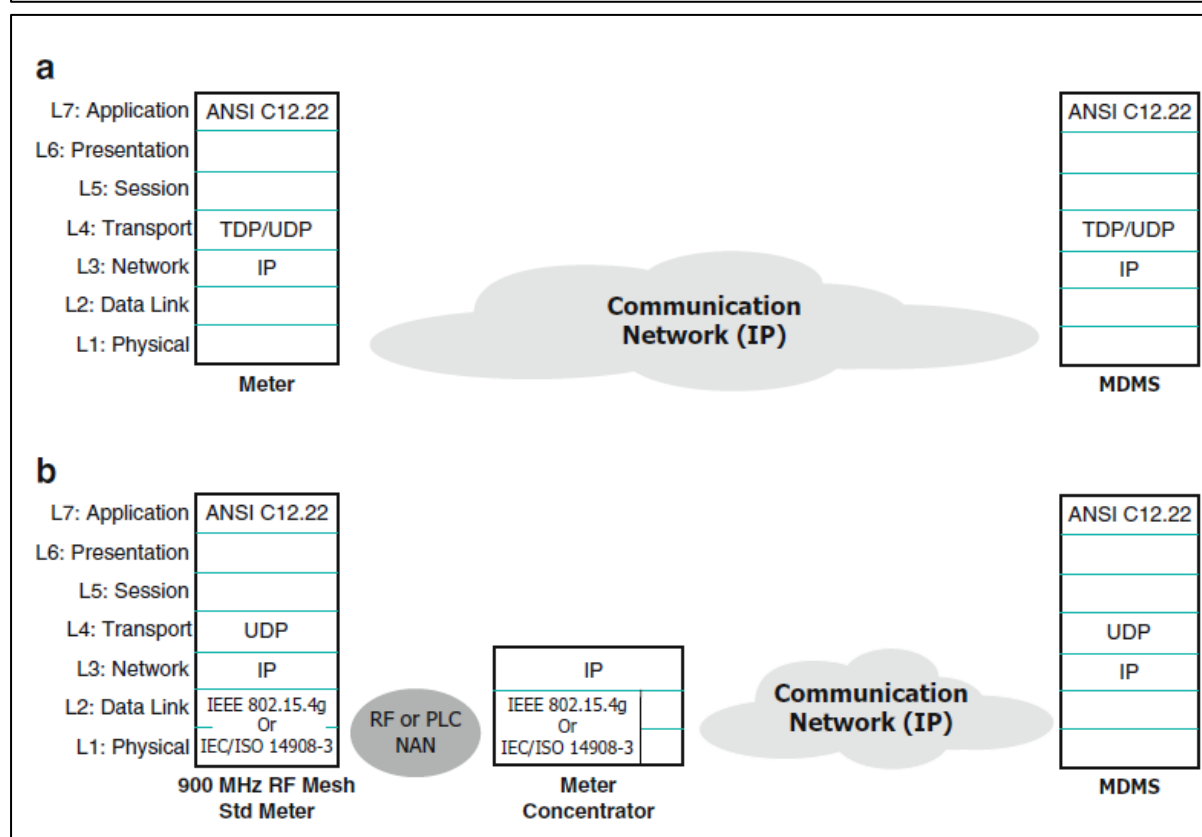
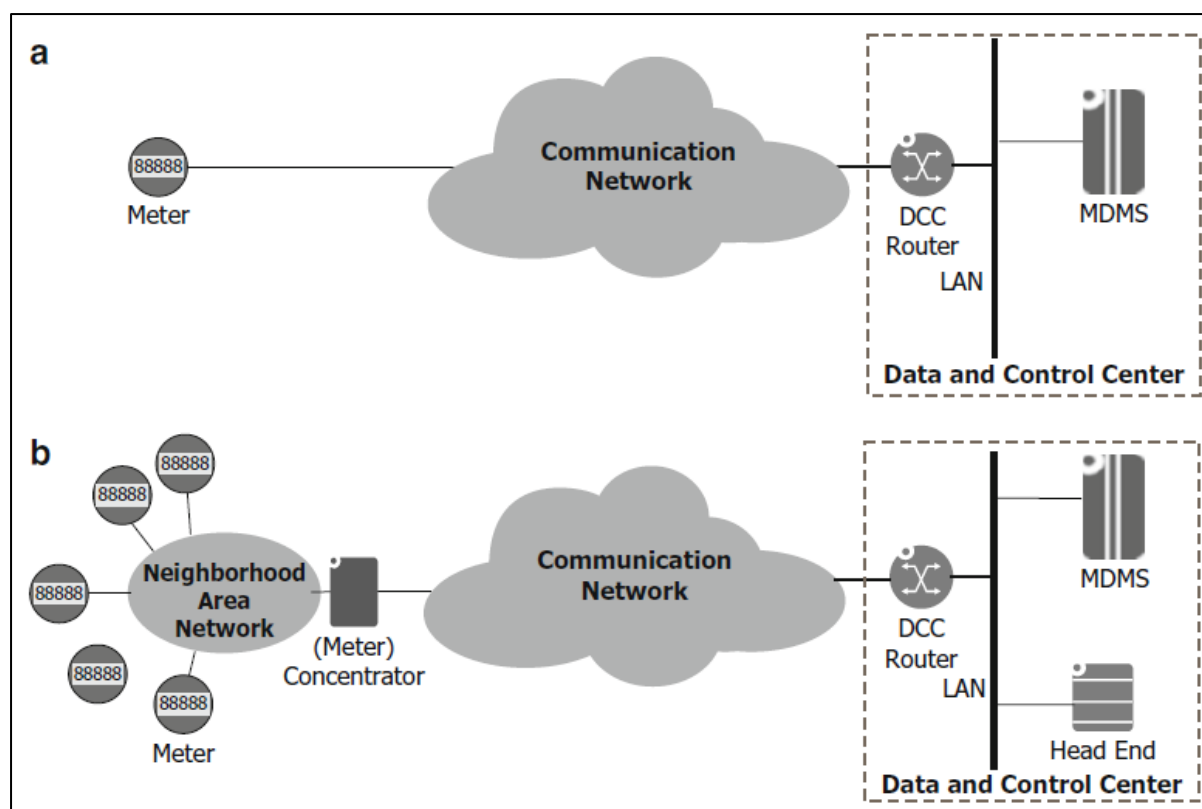
^۴ - Time-of-Use

^۵ - Critical Peak Pricing

^۶ - Real Time Pricing

مطابق شکل ۳-۵ برای اتصال کنتورهای هوشمند به سیستم مدیریت داده‌های اندازه‌گیری شده (MDMS) دو معماری ارتباطی مختلف وجود دارد. در روش اول هر کنتور مستقیم از طریق یک شبکه باسیم یا بی‌سیم مبتنی بر IP به سیستم مدیریت داده‌های اندازه‌گیری شده (MDMS) وصل می‌شود و در روش دوم تعدادی کنتور در قالب یک شبکه NAN از طریق یک تجمیع‌کننده^۱ به شبکه مخابراتی متصل می‌شوند. برای پشتیبانی از سازگاری داده‌های اندازه‌گیری شده و مدیریت کنتورها لازم است که کنتورهای عرضه شده توسط فروشندگان مختلف با استانداردهای مشترک مانند ANSI C12.19 و C12.22 مطابقت داشته باشند، در غیر این صورت، سیستم مدیریت داده‌های اندازه‌گیری شده (MDMS) نیازمند پشتیبانی از پروتکل‌های ارتباطی خاص فروشندگان هستند.

¹ -Concentrator



شکل ۱۳-۱ معماری مخابراتی برای اتصال کنتورهای هوشمند به سیستم مدیریت داده‌های اندازه‌گیری شده (MDMS) (الف) اتصال مستقیم (ب) اتصال از طریق جمع‌کننده [۲]

۱-۴-۳- الزامات فنی زیرساخت اندازه‌گیری پیشرفته (AMI) و بررسی برآوردن آن‌ها در

زیرساخت 5G

- **میزان گذردهی:** بسته به اینکه در چه فواصل زمانی اندازه‌گیری دوره‌ای توسط کنتورهای هوشمند انجام شود، ترافیک متغیر خواهد بود. در مورد شبکه 5G با توجه به نرخ ارسال داده مناسبی که دارد، حتی با کاهش زمان قرائت کنتورها و ازدحام زیاد آن‌ها از نظر میزان گذردهی مشکلی وجود ندارد، مگر اینکه در آینده بنا باشد که اطلاعات اندازه‌گیری شده به صورت زمان واقعی پردازش شود.
- **پوشش یا برد بهره‌برداری:** گستردگی جغرافیایی کنتورهای مستقر شده در مناطق مختلف شهری نیاز به پوشش گسترده مخابراتی دارد. لذا در این پارامتر به نظر می‌رسد با توجه به عدم پوشش صددرصدی شبکه موبایل و احتمال قرار گرفتن برخی از کنتورها در نقاط کور (مانند زیرزمین منازل مسکونی) با مشکل مواجه شویم.
- **تأخیر بسیار کم:** حتی در ایده‌آل‌ترین شرایط یعنی قرائت هر ۱ دقیقه‌ای کنتورهای هوشمند از نظر پارامتر زمان تأخیر، مشکلی وجود ندارد. کما اینکه با توجه به جدول ۳-۲، حداقل میزان تأخیر مجاز برای زیرساخت اندازه‌گیری پیشرفته (AMI)، در محدوده بیشتر از ۱ ثانیه قرار گرفته و شبکه 5G در این خصوص مشکلی را ایجاد نمی‌کند.
- **ایزولاسیون بالا:** چون کنتورهای هوشمند در سمت مشترکین (ولتاژ پایین) نصب می‌شود نیاز به ایزولاسیون آنچنانی نیست و در این مورد مشکلی وجود ندارد.
- **قابلیت اطمینان بالا:** در صورت استفاده از برنامه‌های قیمت‌گذاری پویا در سمت مشترکین و مدیریت تقاضای زمان واقعی، دسترس‌پذیری و قابلیت اطمینان شبکه مخابراتی در این کاربرد باید تضمین شود که البته با توجه به مشخصات شبکه 5G در این زمینه مشکلی وجود نخواهد داشت.
- **آینده‌ثباتی، همکارپذیری و پشتیبانی از سیستم‌های قدیمی:** تا به امروز هنوز یک معماری مخابراتی یکپارچه‌ای برای زیرساخت اندازه‌گیری پیشرفته ارائه نشده است و اکثر مدل‌های تبادل داده بر اساس راه‌حل‌هایی بوده که فروشندگان محصول یا خدمت ارائه داده‌اند. به نظر می‌رسد شبکه 5G گزینه مناسبی برای این یکپارچه‌سازی باشد به شرط اینکه با گذشت زمان از سمت اپراتورها به درستی پشتیبانی شود. اتفاقی که الان برای کنتورهای هوشمند دیماندی در کشور رخ داده، عدم پشتیبانی اپراتورها و همچنین عدم پاسخگو بودن فناوری‌های GSM و GPRS هستند که به مرور زمان چرخه عمر آن‌ها به اتمام رسیده است. در مورد همکارپذیری نیز قبلاً اشاره شد که به سبب تنوع بالای فروشندگان و ارائه‌دهندگان خدمات در این حوزه رعایت استاندارد (همانند ANSI C12.19 و C12.22) الزام جدی است که معمولاً رعایت نمی‌شود.

- **عملکرد در شرایط بحران:** در مورد کاربرد AMI با توجه به نوع کاربری به نظر نمی‌رسد عملکرد در شرایط بحران الزام بسیار جدی در مورد آن باشد. مگر در مقاطع زمانی خاص مانند زمانی که استخراج‌کننده‌های ارزهای دیجیتال با استفاده غیرمجاز از برق ارزان قیمت ضررهای زیادی را به دولت و مجموعه وزارت نیرو وارد کردند و در آن مقطع زمانی نیاز به اندازه‌گیری و پایش مصرف‌کننده احساس شد. شاید اگر آن زمان مجموعه صنعت برق مجهز به کنتور هوشمند برای مصارف خانگی، تجاری و کشاورزی بود مسلماً جلوی بسیاری از مصارف غیرمجاز گرفته می‌شد.
- **یکپارچگی خدمات و از دست رفتن بسته‌های داده:** در شبکه‌های دسترسی که AMI نیز جزئی از آن محسوب می‌شود، برای حد مجاز از دست رفتن بسته‌های داده¹ تا زمانی که تأخیر انتها به انتها (E2E) پوشش داده شود، الزام خاصی وجود ندارد چراکه ارتباطات غالباً مبتنی بر TCP است.
- **چگالی زیاد گره‌های ارتباطی:** با افزایش کنتورهای هوشمند مخصوصاً در سمت مصرف‌کننده‌های خانگی تعداد گره‌های ارتباطی نیز طبیعتاً افزایش می‌یابد و شبکه مخابراتی با پدیده حجم بالای گره‌های ارتباطی (اینترنت اشیاء صنعتی) روبرو خواهد بود. در شبکه نسل پنجم با اختصاص منابع و کنترل آن‌ها توسط شبکه مبتنی بر نرم‌افزار (SDN²) در لایه شبکه هسته، شبکه به گونه‌ای پیکربندی می‌شود که مخصوص آن کاربرد (مثلاً ارتباطات نوع ماشین حجیم (mMTC)) شود، که اصطلاحاً برش شبکه³ انجام خواهد شد و شبکه به گونه‌ای پیکربندی خواهد شد که بتواند پاسخگوی این نیاز باشد. با این توضیحات به نظر می‌رسد شبکه 5G یکی از مناسب‌ترین گزینه‌ها برای ارتباطات AMI مخصوصاً در معماری نوع اول باشد.

۵-۳- خودروی برقی (EV⁴)

خودروهای برقی از پدیده‌های نوظهوری هستند که در سال‌های آینده به صورت گسترده در شبکه توزیع برق پدیدار خواهد شد و مزایا و معایب مختلفی را برای جوامع و شبکه برق ایجاد خواهد نمود. انرژی پاک، مدیریت انرژی و مشارکت مصرف‌کنندگان در تولید و مصرف انرژی‌های پاک از مزایای خودروهای برقی است [۵]. با گسترش خودروهای برقی، ارتباطات بین شرکت‌های برقی و واحدهای خدماتی خودرو برقی (EVSE)⁵ نه تنها برای صورتحساب مالی بلکه برای استفاده از باتری‌های خودروهای برقی (EVs)، به عنوان عناصر ذخیره‌ساز (DS) خواهد بود. یعنی انرژی استفاده نشده باتری خودرو برقی می‌تواند در ساعات اوج مصرف به شبکه برق

¹ - Packet-loss

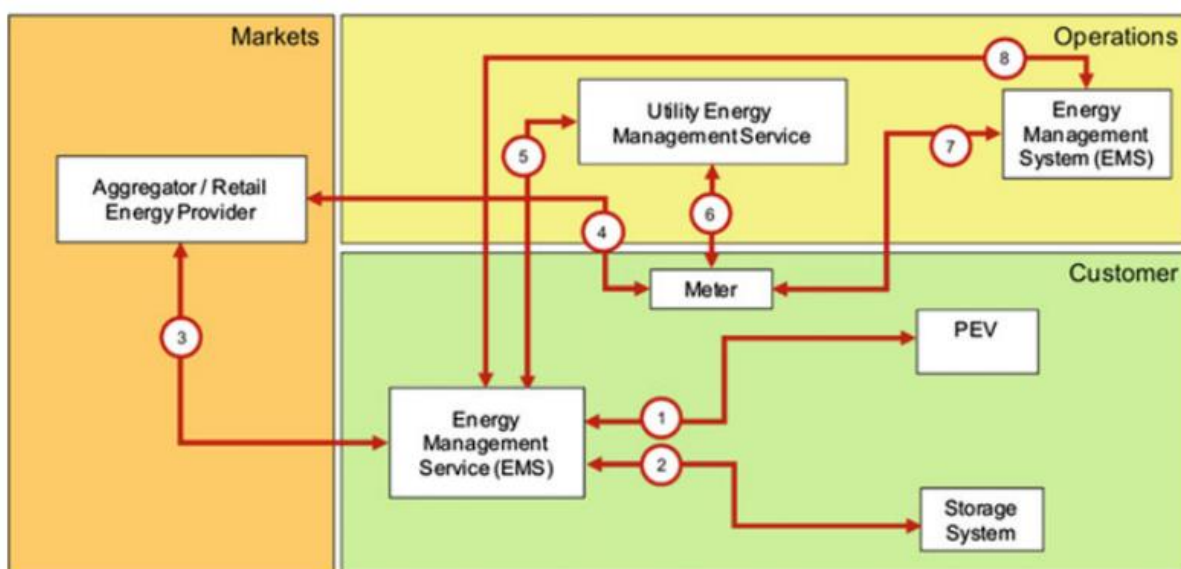
² - Software Define Network

³ - Slicing Network

⁴ -Electric Vehicle

⁵ -Electric Vehicle Service Element

تحويل داده شود و به شرکت‌های برقی در مدیریت اوج تقاضا و نهایتاً کاهش تلفات بخش‌های انتقال و توزیع کمک کنند. از مزایای دیگر خودروهای برقی در صورتی که در مقیاس عظیم استفاده شوند، استخراج، ذخیره‌سازی و تجزیه و تحلیل داده‌های آنها، توسط شرکت‌های برقی به منظور مدیریت شبکه و مقاصد تجاری می‌باشد. مسلماً پیش‌بینی ترافیک ارتباطی مربوط به خودروهای برقی به میزان زیادی به پذیرش این فناوری از سوی مصرف‌کنندگان بستگی دارد که با تکثیر آنها متعاقباً ایستگاه‌های شارژ آن نیز باید ساخته شود و اتصال آن به شبکه برق باید مهیا گردد. این ارتباط مطابق شکل ۳-۶ از طریق دستگاه‌های الکترونیکی هوشمند (IEDs) و شبکه NAN انجام می‌شود. زنجیره تأمین و بازیگران آن در بحث خودرو برقی در شکل ۳-۸ نشان داده شده است.



شکل ۱۴-۱ زنجیره تأمین و بازیگران در خودروهای برقی [۶]

شبکه، مشتری و بازار برق سه بازیگر این زنجیره هستند که نقش فاوا در این میان به عنوان کاربست اصلی بین بخش‌های مختلف قابل تعریف است.

۱-۵-۳ الزامات فنی خودرو برقی (EV) و بررسی برآوردن آنها در زیرساخت 5G

- **میزان گذردهی:** اگر در مقیاس بزرگ به مسأله نگاه کنیم مثلاً تمام خودروهای یک شهر یا کشور برقی شوند، مسلماً میزان گذردهی پارامتر چالش برانگیزی خواهد بود. ولی با توجه به مشخصات فنی شبکه 5G و نرخ گذردهی مناسب آن، در این شرایط نیز نباید مشکلی وجود داشته باشد. همانطور که قبلاً نیز ذکر شد ترافیک قابل پیش‌بینی در حوزه خودرو برقی به میزان پذیرش این فناوری از سوی مشتریان بستگی دارد.

- پوشش یا برد بهره‌برداری: مسلماً با توجه به متحرک بودن خودروهای برقی و امکان برقراری ارتباط برای آن‌ها از طریق پلتفرم‌هایی مانند گوشی هوشمند برای کاربردهایی مانند رزرو کردن ایستگاه شارژ، پرداخت صورت‌حساب‌ها و غیره، مسأله پوشش مخابراتی و برد بهره‌برداری در مواقعی مهم است. پیش‌بینی می‌شود که شبکه 5G در این خصوص مناسب است.
- تأخیر بسیار کم: با توجه به نوع کاربری این پارامتر چالشی برای این کاربرد محسوب نمی‌شود.
- ایزولاسیون بالا: حتماً نیاز است، چونکه با فرض اینکه ایستگاه‌های شارژ خانگی راه‌اندازی شود اتصال آن به شبکه توزیع در ولتاژ متوسط (MV) خواهد بود و ایزولاسیون نیاز است.
- قابلیت اطمینان بالا: قابلیت اطمینان به نظر می‌رسد مهم باشد ولی در نه حد سایر کاربردها مانند اتوماسیون یا حفاظت، همانطور که در شکل ۳-۸ هم نشان داده شد، از خودروهای برقی به عنوان ذخیره‌سازهای توزیع شده قرار است در شبکه هوشمند استفاده شود. بنابراین در صورت استفاده از آن‌ها برای مدیریت تقاضای (مخصوصاً در زمان واقعی)، دسترس‌پذیری و قابلیت اطمینان شبکه مخابراتی باید تضمین شود که البته با توجه به مشخصات شبکه 5G در این زمینه مشکلی وجود نخواهد داشت.
- آینده ثباتی، همکاری‌پذیری و پشتیبانی از سیستم‌های قدیمی: مسأله آنقدر نو و جدید است که هنوز در مورد معماری مخابراتی آن از سوی نهادهای استانداردسازی، تصمیم‌گیری جدی نشده است. البته در برخی استانداردها که مهمترین آن‌ها استانداردهای ISO/IEC 15118 و IEC61850 (پیش‌نویس جدید) می‌باشد، مباحثی در مورد شبکه‌های ارتباطی و فناوری‌های مورد استفاده بیان شده است که کارایی و تایید آن‌ها نیاز به گذشت زمان دارد. لذا از هر معماری یا فناوری (حتی 5G) استفاده شود مسأله آینده ثباتی و همکاری‌پذیری با توجه به تنوع و تعداد بالا باید مورد توجه قرار بگیرد. در واقع شبکه مخابراتی و اطلاعاتی به عنوان کاربست چنین کاربردهایی همراه با پیشرفت کاربردهای آن‌ها باید قابل توسعه باشد. البته اگر از نگاه ذخیره‌ساز به خودروهای برقی توجه شود آنچه که در این بخش در مورد منابع تولید و ذخیره‌سازها (DG/DS) قبلاً بیان شد اینجا نیز باید مورد توجه قرار بگیرد.
- عملکرد در شرایط بحران: با توجه به نوع کاربری به نظر نمی‌رسد عملکرد در شرایط بحران الزام بسیار جدی در مورد آن باشد. البته در حالت همه‌گیر شدن خودروهای برقی باید به مسأله زیرساخت‌های آن و عملکرد در شرایط بحران مدنظر قرار بگیرد یا از جایگزین‌هایی برای آن استفاده نمود.

- یکپارچگی خدمات و از دست رفتن بسته‌های داده: در شبکه‌های دسترسی که EV نیز جزئی از آن محسوب می‌شود، برای حد مجاز از دست رفتن بسته‌های داده تا زمانی که تأخیر انتها به انتها (E2E) پوشش داده شود، الزام خاصی وجود ندارد چراکه ارتباطات غالباً مبتنی بر TCP است.
- چگالی زیاد گره‌های ارتباطی: با افزایش و رشد خودروهای برقی و به دنبال آن ایستگاه‌های شارژ، تعداد گره‌های ارتباطی نیز طبیعتاً افزایش می‌یابد و شبکه مخابراتی با پدیده حجم بالای گره‌های ارتباطی (اینترنت اشیاء صنعتی) روبرو خواهد بود. در شبکه نسل پنجم با اختصاص منابع و کنترل آن‌ها توسط شبکه مبتنی بر نرم‌افزار (SDN¹) در لایه شبکه هسته، شبکه به گونه‌ای پیکربندی می‌شود که مخصوص آن کاربرد (مثلاً ارتباطات نوع ماشین حجیم (mMTC)) شود، که اصطلاحاً برش شبکه² انجام خواهد شد و شبکه به گونه‌ای پیکربندی خواهد شد که بتواند پاسخگوی این نیاز باشد.

۶-۳- بازار برق

شکل‌گیری بازار برق برای صنعت برق مسأله بسیار مهمی است. چراکه در یک بازار رقابتی است که تولیدکنندگان می‌توانند مقدار برق مورد نیاز کشور را با قیمتی مناسب بفروشند. این بازار در دو گروه عمده‌فروشی^۳ (WEM) و خرده‌فروشی^۴ (REM) ممکن است شکل بگیرد که مسلماً بازار عمده‌فروشی آن در اختیار نیروگاه‌های تولید برق و بازار خرده‌فروشی نیز با حضور تجمیع‌کننده‌ها^۵ در بخش توزیع و مصرف شکل می‌گیرد. یعنی در زیست‌بوم جدید شبکه برق مصرف‌کننده/تولیدکننده^۶ وجود خواهد داشت و آنچه در این قسمت بیشتر مدنظر خواهد بود بازار خرده‌فروشی و کسب و کارهایی است که با فروش برق تولیدی در سوی مصرف‌کننده شکل می‌گیرد. بازار خرده‌فروشی انرژی (REM) بازارهای انرژی هستند که در آن مصرف‌کنندگان و مالکان منابع پراکنده (DG)، در آن شرکت دارند و خرید و فروش انرژی الکتریکی بر اساس یک قیمت بهینه و بر اساس میزان نیاز مصرف‌کننده انجام می‌شود. تجمیع‌کننده‌ها در این بازار نقش تسهیل‌گر را بازی می‌کنند و با شرکت‌های برقی، مصرف‌کنندگان، مالکان DG و بازار عمده‌فروشی (WEM) برای تسهیل تبادل انرژی در زمان واقعی بین مصرف‌کنندگان و منابع تولید پراکنده (DGs)، همکاری می‌کنند. هر چند در حال حاضر بازارهای خرده‌فروشی (REMs) در مرحله طراحی مفهومی هستند ولی انتظار می‌رود در آینده با توسعه منابع تولید پراکنده در سمت مشترکین این مهم محقق شود [۷]. انتظار می‌رود که

¹ - Software Define Network

² - Slicing Network

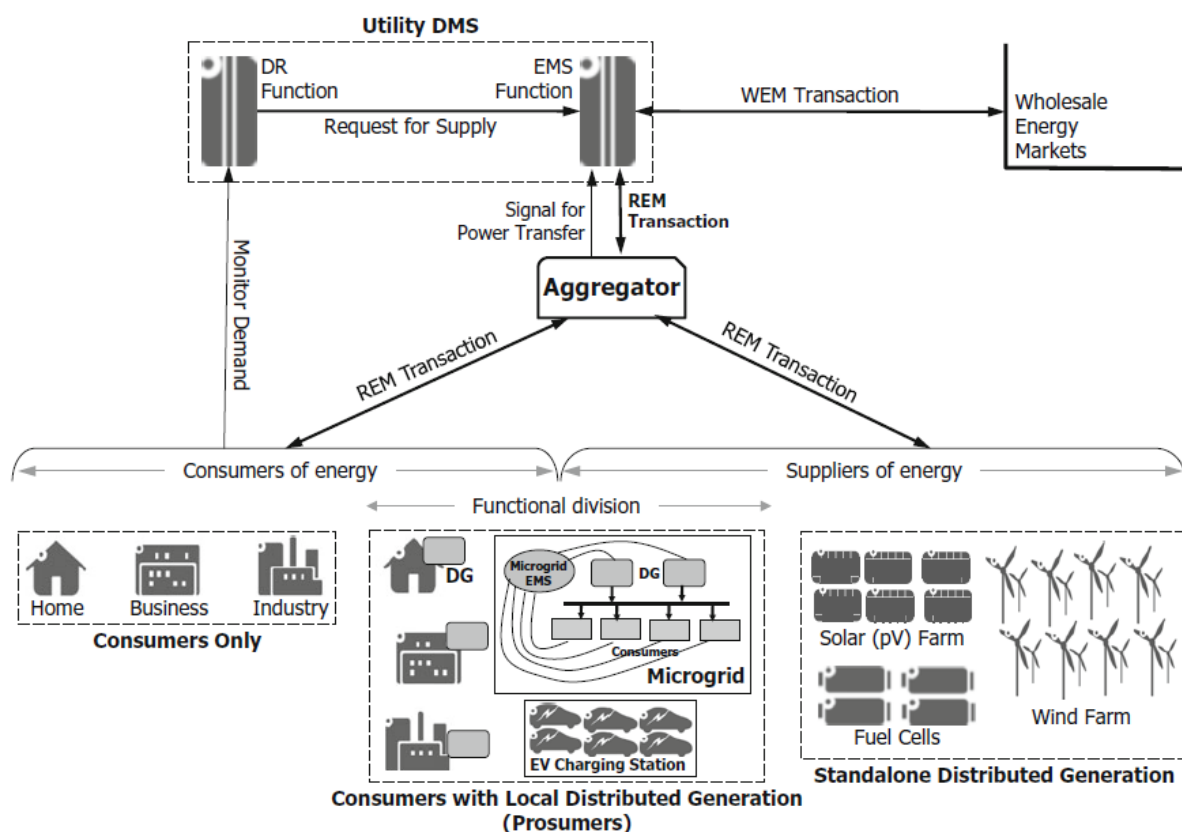
³ - wholesale energy market

⁴ - Retail Energy Market

⁵ - Aggregator

⁶ - Prosumers

قیمت‌های بازار در این حالت تحت تأثیر پویایی عرضه و تقاضا ارائه شود. چراکه تعداد بیشتری از تولیدکننده (دارندگان DG) هستند که تمایل به فروش برق دارند و این در مقایسه با تعداد کمتر فروشندگان عمده برق (WEM) بازار رقابتی‌تری را به وجود خواهد آورد. مثلاً دارندگان خودروهای الکتریکی می‌توانند وقتی قیمت پایین است برق را از شبکه بخرند و در صورت گران بودن آن را بفروشند (البته اگر باتری هنوز شارژ داشته باشد). شکل ۳-۷ معماری ساده‌ی یک بازار خرده‌فروشی (REM) را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱۵ معماری مفهومی بازار REM [۲]

تجمع‌کننده‌ها به عنوان شخص ثالث^۱ نقش مهمی در این بازار دارند. آن‌ها پیشنهادات مصرف‌کنندگان که شامل تقاضای موردنیاز، حداکثر قیمت قابل قبول و افق زمانی برای آن سطح تقاضا است را جمع‌آوری می‌کنند و از سوی دیگر پیشنهادهایی که از سمت مالکان DGها نیز وجود دارد شامل عرضه موجود، حداقل قیمت قابل قبول و افق زمانی برای حفظ سطح عرضه را دریافت می‌کنند. برای تعیین قیمت بهینه برای مصرف‌کنندگان و تأمین‌کنندگان، ممکن است لازم باشد تجمع‌کننده مذاکرات قیمت‌گذاری را تسهیل کند که برای آن مدل‌هایی در حال توسعه است [۸]. سرانجام، تجمع‌کننده باید سیستم مدیریت انرژی (EMS^۲) شرکت برقی را در مورد معامله انجام شده با خبر کند تا در صورت لزوم انتقال انرژی از DG به شبکه و از

^۱ -Third-Party

^۲ -Energy Management System

شبکه به مصرف کننده انجام شود (شکل ۳-۷). نتیجه اینکه شبکه ارتباطی و ترافیک مرتبط با آن باید در زمان واقعی برای پشتیبانی از معاملات بازار خرده‌فروشی (REM) شکل بگیرد.

۱-۶-۳- الزامات فنی بازار خرده‌فروشی برق (REM) و بررسی برآوردن آن‌ها در زیرساخت

5G

- **میزان گذردهی:** در صورت شکل‌گیری کامل این بازار میزان گذردهی ترافیک پارامتر چالش برانگیزی خواهد بود. ولی با توجه به مشخصات فنی شبکه 5G و نرخ گذردهی مناسب آن، در این شرایط نیز نباید مشکلی وجود داشته باشد.
- **پوشش یا برد بهره‌برداری:** با توجه به شکل ۳-۷ در این کاربرد DGها و مشترکین ایفای نقش می‌کنند پوشش زیرساخت مخابراتی به علت گستردگی جغرافیایی یک چالش محسوب می‌شود.
- **تأخیر بسیار کم:** همانگونه که ذکر شد شبکه ارتباطی و ترافیک مرتبط در زمان واقعی برای پشتیبانی از معاملات بازار خرده‌فروشی (REM) مورد نیاز خواهد بود. شاید با تکامل شبکه 5G و سرویس‌هایی مانند URLLC مسأله زمان واقعی بودن آن قابل حل باشد. در حال حاضر این یک چالش محسوب می‌شود.
- **ایزولاسیون بالا:** با توجه به وجود DGها هم در بخش ولتاژ پایین (LV) و هم ولتاژ متوسط (MV) ایزولاسیون نیاز است.
- **قابلیت اطمینان بالا:** قابلیت اطمینان به نظر می‌رسد مهم باشد مخصوصاً در معاملاتی که نیاز به زمان واقعی دارند دسترس‌پذیری و قابلیت اطمینان شبکه مخابراتی باید تضمین شود که البته با توجه به مشخصات شبکه 5G در این زمینه مشکلی وجود نخواهد داشت.
- **آینده ثباتی، همکاری‌پذیری و پشتیبانی از سیستم‌های قدیمی:** مسأله هنوز شکل نگرفته و فقط در حد مدل مفهومی ارائه شده است و اگر جایی هم ادعا شده که بازار خرده‌فروشی شکل گرفته راه‌حلی مقطعی توسط شرکت‌های برقی و تجمیع‌کننده‌ها ارائه شده است. مسأله آینده‌ثباتی و همکاری‌پذیری (با توجه به تعداد و تنوع زیاد DGها) باید مورد توجه قرار بگیرد.
- **عملکرد در شرایط بحران:** با توجه به نوع کاربری به نظر نمی‌رسد عملکرد در شرایط بحران، الزام بسیار جدی در مورد آن باشد. در حالت همه‌گیر شدن و متصل شدن به برنامه‌های کاربردی مانند مدیریت تقاضا (DR^1) ممکن است پایداری و بقاء، پارامترهای مهم‌تری باشند. در شرایط فعلی این مسأله چالشی نیست.

¹ -Demand Response

- یکپارچگی خدمات و از دست رفتن بسته‌های داده: احتمالاً در شبکه‌های دسترسی قرار خواهند گرفت و برای حد مجاز از دست رفتن بسته‌های داده تا زمانی که تأخیر انتها به انتها (E2E) پوشش داده شود، الزام خاصی وجود ندارد.
- چگالی زیاد گره‌های ارتباطی: با افزایش و رشد منابع تولید پراکنده در سمت مصرف‌کننده‌ها و شکل‌گیری نسبی بازار خرده‌فروشی مسلماً تعداد گره‌های ارتباطی افزایش می‌یابد و شبکه مخابراتی با پدیده حجم بالای گره‌های ارتباطی روبرو خواهد بود. در شبکه نسل پنجم در آینده با ارائه سرویس‌هایی مانند mMTC می‌توان بر این چالش فائق آمد.

۷-۳- جمع‌بندی

در این بخش از گزارش بین نیازمندی‌ها شبکه برق و قابلیت‌هایی که یک شبکه مخابراتی باید داشته باشد بررسی‌هایی انجام شد و این نکته مهم که شبکه مخابراتی صنعت برق و برنامه‌های کاربردی آن باید بیشتر از زیرساخت‌های ارتباطی تجاری الزامات فنی و امنیتی را پوشش دهند مدنظر قرار گرفت. بر همین اساس لیست الزامات مخابراتی در شبکه هوشمند برق برای کاربردها و خدمات مختلف شامل: الزامات استاندارد، میزان گذردهی، زمان تأخیر، پوشش یا برد بهره‌برداری، ایزولاسیون، در دسترس بودن و قابلیت اطمینان، آینده ثباتی، همکاری‌پذیری و پشتیبانی از سیستم‌های قدیمی، عملکرد در شرایط بحران، یکپارچگی خدمات و از دست رفتن بسته‌های داده احصا شد. در ادامه چندین حوزه عملکردی (بر اساس پیشنهاد مدیر پروژه) همچون اتوماسیون توزیع، کنترل هوشمند، تولید پراکنده، بازار برق و خودرو برقی شناسایی و بر اساس آن الزامات فنی و امنیتی آن‌ها استخراج و در نهایت چالش‌های فعلی آن برای استفاده از زیرساخت مخابراتی 5G بیان شد که در جدول ۳-۳ جمع‌بندی شده است.

جدول ۴-۱ بررسی الزامات فنی و مخابراتی بکارگیری شبکه 5G در شبکه هوشمند

کاربرد	الزامات	چالش برای شبکه 5G
اتوماسیون توزیع (DA)	میزان گذردهی	M
	تأخیر	H
	قابلیت اطمینان	H
	ایزولاسیون	√
	آینده ثباتی و همکارپذیری	√
	عملکرد در شرایط بحران	√
	یکپارچگی خدمات	×
	تعداد زیاد دستگاه‌ها	×
	پوشش	√
	میزان گذردهی	M
منابع تولید پراکنده (DER)	تأخیر	H
	قابلیت اطمینان	H
	ایزولاسیون	√
	آینده ثباتی و همکارپذیری	√
	عملکرد در شرایط بحران	M
	یکپارچگی خدمات	M
	تعداد زیاد دستگاه‌ها	H
	پوشش	√
	میزان گذردهی	M
	تأخیر	L
زیرساخت اندازه‌گیری پیشرفته (AMI)	قابلیت اطمینان	M
	ایزولاسیون	L
	آینده ثباتی و همکارپذیری	H
	عملکرد در شرایط بحران	M
	یکپارچگی خدمات	M
	تعداد زیاد دستگاه‌ها	H
	تأخیر	L
	قابلیت اطمینان	M

✓	H	پوشش	خودرو برقی (EV)
×	H	میزان گذردهی	
×	M	تأخیر	
×	M	قابلیت اطمینان	
✓	H	ایزولاسیون	
✓	H	آینده ثباتی و همکارپذیری	
×	M	عملکرد در شرایط بحران	
×	M	یکپارچگی خدمات	
✓	H	تعداد زیاد دستگاه‌ها	
	H	پوشش	
×	H	میزان گذردهی	بازار برق خرده فروشی (REM)
×	H	تأخیر	
×	M	قابلیت اطمینان	
×	M	ایزولاسیون	
✓	H	آینده ثباتی و همکارپذیری	
×	L	عملکرد در شرایط بحران	
×	L	یکپارچگی خدمات	
×	H	تعداد زیاد دستگاه‌ها	
✓	H	پوشش	

علامات H:High، M:Medium و L:Low در این جدول میزان و سطح اهمیت آن الزام در مورد کاربرد را نشان می‌دهد.

۸-۳- مراجع فصل سوم

- [1] National Institute of Standards and Technology: *NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards, Release 2.0*, NIST Publication 1108R2, U. S. Department of Commerce, Feb 2012.
- [2] Kenneth C. Budka, Jayant G. Deshpande, Marina Thottan, “*Communication Networks for Smart Grid*”, Springer, 2014.
- [3] Carlos Samitier, Mehrdad Mesbah, “*Utility Communication Networks and Services*”, CIGRE Study Committee D2: Information Systems and Telecommunication, Springer International Publishing Switzerland, 2017.
- [4] “*5G Network Slicing Enabling the Smart Grid*”, Huawei, China Mobile and State Grid, 2019
- [5] Electric Power Research Institute (EPRI): *Environmental Assessment of Plug-In Hybrid Electric Vehicles. Nationwide Greenhouse Gas Emissions, vol. 1, Final Report*. Electric Power Research Institute, Palo Alto, July 2007.
- [6] European Technology Platform, *Smart Grids Strategic deployment document for Europe’s electricity networks of the future*, 2010.
- [7] U. S. Department of Energy: *Benefits of Demand Response in Electricity Markets and Recommendations for Achieving Them*. DoE Report to the U. S. Congress Pursuant to Section 1252 of the Energy policy Act of 2005, Feb 2006.

فصل ۴ - بررسی چالش‌های غیرفنی به کارگیری موبایل نسل پنجم در شبکه

هوشمند

۱-۴- مقدمه

دنیای آینده به «برقراری ارتباط و امکان استفاده از اتصالات» به عنوان یک منبع رایج و عمومی برای همه افراد یک جامعه نگاه خواهد کرد. این نگرش و دیدگاه، تحقیقات و توسعه اجرایی فناوری‌های ارتباطی را سریع‌تر و پیشرفته‌تر کرده است. تحولات دو دهه گذشته نشان می‌دهد که نسل‌های شبکه موبایل و داده از جنبه ارائه سرویس‌های نوین خود حائز اهمیت هستند و بر این اساس از نظر تجاری ارزش‌گذاری می‌شوند. تحول تدریجی و مشترک هر دو بخش بازار و فناوری منجر به پاسخ مناسب به نوع و میزان تقاضا از طرف مشتریان می‌گردد.

مشابه با رشد فناوری‌های نوظهور، رشد سریع شبکه 5G نیز ناشی از ارتباط مستقیم بین تحقیقات با کاربردهای صنعتی و رشد اقتصادی است. درک شبکه ارتباطی 5G از منظر نوآوری شامل مطالعه آن در هر دو شاخه تحقیق و توسعه (R&D) و جنبه غیرفنی است.

شبکه 5G به عنوان یک نوآوری تحول‌آفرین شناخته می‌شود و با ارائه کاربردها و سرویس‌های جدید، ارزش تجاری نوینی را در بازار دنیا خلق خواهد کرد. لذا دینفعان و سیاست‌گذاران (با در نظر داشتن روند توسعه فناوری) با مشکلات و موانعی در اجرا و ارائه این فناوری مواجه خواهند بود. در حقیقت، اولین چالش در مدیریت ورود و توسعه یک فناوری جدید، کسب شناخت درست از پیچیدگی‌ها، پدیده‌های با اطمینان پایین و جنبه‌های پرریسک آن می‌باشد.

سطح نوین بودن یک فناوری می‌تواند نشان‌دهنده قدرت ایجاد تغییرات توسط آن باشد. به این منظور، نوآوری و ابداعات را می‌توان در سه گروه تقسیم‌بندی کرد [۱]:

۱. نوآوری‌های افزایشی یا تدریجی (incremental): این نوع از نوآوری، ساده‌ترین تغییرات را به همراه دارد که به صورت تدریجی انجام می‌شود. این تغییرات کوچک می‌تواند شامل افزودن یک قابلیت ساده جهت کسب ارزش بیشتر از محصولات و خدمات موجود باشد که عرضه محصول را جذاب‌تر و یا سودآورتر می‌سازد، اما ارزش یا استراتژی عملکرد را به طور اساسی تغییر نمی‌دهد. نمونه‌ای از این نوآوری، بسته‌بندی جدید و جذاب یک محصول می‌باشد [۲].

۲. نوآوری‌های اساسی (radical): این سطح از نوآوری، پیچیدگی زیادی دارد و تغییرات اساسی در بازار و جامعه ایجاد می‌کند اما تأثیر آن بسیار بیشتر از نوآوری‌های افزایشی و کمتر از نوآوری تحول‌آفرین است. این شاخه، معمولاً نسل جدیدی از محصولات را به نمایش می‌گذارند و ارزش را ارتقا می‌دهند.

۳. نوآوری‌های تحول‌آفرین (disruptive): نوآوری تحول‌آفرین یک راه‌حل نوین و نوآورانه پیرامون یک فناوری را ارائه می‌دهد که سبب ایجاد یک بازار جدید یا یک شبکه ارزش جدید شده و با ایجاد تحول در هریک از آنها، پیشتازان موجود در بازار را کنار می‌زند.

این نوع از نوآوری‌ها را می‌توان به عنوان زیرشاخه‌ای از نوآوری‌های بنیادی در نظر گرفت. اما برای مشخص کردن تعریف هر گروه، می‌توان گفت که نوآوری‌های بنیادی برای برآورده کردن انتظارات گذشته اهمیت بیشتری قائل هستند اما نوآوری‌های تحول‌آفرین بیشتر در مورد اثرات و نتایج در اقتصاد و تولید یک ارزش جدید در بازار تمرکز دارند. در بسیاری از موارد، از نوآوری‌های تحول‌آفرین با عنوان سقوط فناوری‌های موجود یاد می‌شود.

در خصوص تغییرات نسل‌های شبکه موبایل می‌توان گفت ظهور شبکه‌های ارتباطی و ادوات موبایل، یک انقلاب و تغییر بنیادی در رشد و توسعه جوامع بوده که از جنبه‌های مختلف قابل مطالعه و بررسی می‌باشد. در مورد حرکت به سمت نسل‌های نوین شبکه‌های موبایل، تغییر از شبکه نسل دوم به سوم و بعد از آن تغییر از شبکه نسل سوم به چهارم، در گروه اول یعنی تغییرات افزایشی قرار می‌گیرند. این تغییرات به صورت دنباله‌ای از ابداعات و رشد سیستم، منجر به پیشرفت و تکامل شبکه نسل قبل شده است. باید توجه داشت که اگرچه تغییر نسل‌های شبکه‌های موبایل فوق، افزایشی طبقه‌بندی می‌شوند، اما ساخت و ارائه تجاری گوشی‌های هوشمند از حدود سال ۱۹۹۵ یک تغییر تحول‌آفرین در استفاده از اینترنت ایجاد کرد. سپس ارائه اپلیکیشن‌های مختلف برای نصب در گوشی‌های موبایل هوشمند نیز به عنوان یک تغییر تحول-آفرین طبقه‌بندی شد [۳].

پیاده‌سازی نسل پنجم شبکه موبایل از نوع سوم یعنی نوآوری‌های تحول‌آفرین محسوب می‌شود زیرا تغییرات را بدون هیچ ارتباطی با شبکه‌های نسل قبل و از نقطه آغازین می‌سازد. همچنین تحول اقتصادی ناشی از ورود این فناوری مخصوصاً برای صنایع بزرگ و کوچک چشمگیر خواهد بود. پیاده‌سازی سیستم ارتباطی نسل پنجم، یک ارزش جدید را در بازار شبکه‌های سلولی برای مشتریان ایجاد می‌کند. پیش‌بینی می‌شود این بازار نه تنها افراد و صنایع، بلکه همه «اشیاء» را در بر بگیرد [۱].

از طرف دیگر در سال‌های اخیر، شبکه موبایل 5G زمانی به مرحله اجرا رسید که بسیاری از صنایع تغییر به سمت اتوماسیون پیشرفته با کمک فناوری‌هایی چون اینترنت اشیا، یادگیری ماشین و رباتیک را آغاز کرده بودند [۴]. اما در حالیکه شبکه‌های سلولی نسل سوم و چهارم پیشرفت‌های پله‌ای را در حوزه صنایع ارائه می‌دادند، شبکه سلولی نسل پنجم توسعه بسیار سریعی را برای شرکت‌ها و کارخانه‌ها پیشنهاد می‌دهد. زیرساخت اختصاصی و مطمئن ارائه شده توسط 5G می‌تواند توسعه با سرعت بسیار زیاد را در سیستم‌های اتوماسیون به اجرا درآورد.

یکی از جنبه‌های حرکت و تبدیل شبکه سنتی برق و انرژی به شبکه هوشمند، استفاده از شبکه‌های نوین مخابراتی است. تقسیم‌بندی چالش‌ها در مطالعات پیشین انجام شده، مانند استاندارد مؤسسه NIST (انجمن ملی استانداردها و فناوری آمریکا) با شماره ۷۶۲۸ در سه دسته ارائه شده است: فنی، مدیریتی، بهره‌برداری. تغییرات اساسی و اثراتی که با پیاده‌سازی و آغاز به کار شبکه نسل پنجم ایجاد می‌شود در ۵ جنبه تکنیکی و فنی در حال بررسی است؛ معماری مبتنی بر ادوات، طیف موج میلی‌متری، MIMO گسترده، ادوات هوشمندتر و ارتباطات ماشین-به-ماشین همگی از این موارد هستند.

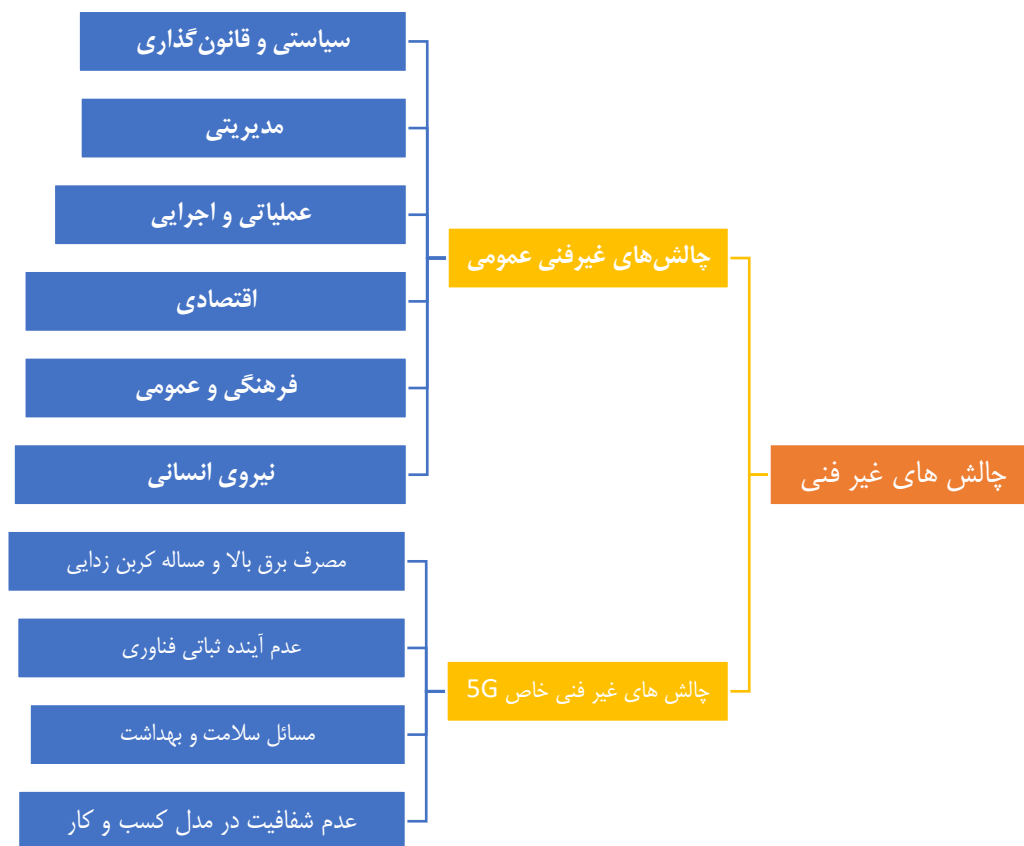
علاوه بر جنبه‌های فنی فوق، اثرات و جنبه‌های غیرفنی نیز از اهمیت زیادی برخوردار هستند. در مورد صنعت برق نیز چالش‌های غیرفنی بکارگیری فناوری‌های ارتباطی، حوزه‌های وسیعی را دربر می‌گیرد. سؤال مورد بررسی در این گزارش این است که «چالش‌های غیرفنی برای مخابرات صنعت برق چیست؟». به منظور پاسخ به این سوال، باید توجه داشت که به طور ذاتی شبکه برق در هر کشور درگیر مسایل و مشکلاتی است که گاهی رابطه علت و معلولی با یکدیگر دارند. مسایل ریشه‌ای مانند مشکلات اقتصادی، بالا بودن شدت مصرف یا پایین بودن بهره‌وری در صنعت برق می‌توانند ریشه یا پیامد یک یا چند مشکل و مساله دیگر باشند. بنابراین آنچه که در اینجا به عنوان چالش‌ها یا موانع غیرفنی بکارگیری فناوری 5G در صنعت برق مطرح می‌شود نیز در همین قالب قابل تعریف است و ممکن است مسایلی که مطرح می‌شوند پیامد یک مساله ریشه‌ای باشند که سال‌هاست صنعت برق با آن درگیر است و مخصوص فناوری 5G نیست و همانطور که اشاره شد باید این مشکل یا چالش به صورت ریشه‌ای حل شود تا بکارگیری فناوری‌های نوین نظیر 5G به سهولت قابل انجام باشد.

در این فصل از گزارش، چالش‌های فوق به دو دسته «چالش‌های غیرفنی عمومی» و «چالش‌های غیرفنی خاص بکارگیری فناوری 5G در شبکه برق» دسته‌بندی می‌شوند. بر اساس مطالعات انجام شده در این گزارش، مجموعه چالش‌های غیرفنی عمومی در ۶ گروه تقسیم‌بندی شده‌اند که عبارتند از: چالش‌های سیاستی و قانون‌گذاری، مدیریتی، بهره‌برداری و اجرایی، اقتصادی، فرهنگی و عمومی و چالش‌های مرتبط با نیروی انسانی (شکل ۱۶-۱). در ادامه، به چالش‌های غیرفنی خاص 5G پرداخته می‌شود؛ این چالش‌ها در بکارگیری شبکه‌های موبایل پیشین وجود نداشته است و با ظهور 5G، پدیدار شده‌اند.

۲-۴- چالش‌های غیرفنی عمومی بکارگیری شبکه موبایل در صنعت برق

استخراج و دسته‌بندی چالش‌های غیرفنی عمومی در ارائه سرویس شبکه‌های مخابراتی سلولی به شبکه هوشمند برق و انرژی در شکل ۱۶-۱ نشان داده شده است. در ادامه هریک از زیرشاخه‌ها با جزئیات بیشتر

مورد بررسی قرار می‌گیرند. باید توجه داشت که بسیاری از مثال‌های هر بخش، مرتبط با فناوری 5G ارائه شده‌اند.



شکل ۱۶-۱ دسته‌بندی چالش‌های غیر فنی بکارگیری 5G در شبکه هوشمند

۱-۲-۴- چالش‌های سیاستی و قانون گذاری

ورود و پایه‌گذاری یک سیستم نوین و یا پیشرفت یک فناوری در یک کشور می‌تواند در ابعاد مختلفی اثرگذار باشد و باید از جنبه‌های گسترده‌ای مورد بررسی قرار گیرد. مدیریت ورود یک فناوری در سطح ملی باید به تعیین و اجرای سیاست‌ها برای ایجاد رشد اقتصادی و بهبود رفاه جامعه تمرکز داشته باشد. دیدگاه مبتنی بر سرویس در شبکه سلولی نسل پنجم، قانون‌گذار را بر چالش‌های غیر فنی متمرکز می‌کند در حالیکه موضوعات فنی و پیاده‌سازی بر عهده اپراتور شبکه گذاشته می‌شود. در مورد شبکه‌های سلولی انتظار می‌رود که بازار و نیازهای آن به کاربردهای پیشرفته، از تغییرات فناوری پشتیبانی کند لذا قانون‌گذار در این حوزه ورود پیدا نمی‌کند.

چالش‌های سیاستی، قانونی و رگولاتوری از دیدگاه نهادهای مختلفی باید مورد بررسی قرار گیرند. با توجه به اهمیت و استفاده روزافزون از فناوری‌های نوین ارتباطی در هوشمندسازی شبکه برق، مباحث قانون‌گذاری در سطح کلان باید از دیدگاه نهادهای زیر مورد توجه قرار گیرند:

۱. قانون‌گذار دولتی (رگولاتور یا سازمان تنظیم مقررات)

۲. وزارت نیرو (از جمله مدیریت شبکه، توانیر، شرکت‌های مادر تخصصی)

۴-۲-۱-۱- قانون‌گذار

در این بخش، به تعدادی از چالش‌های مهمی که برای تصمیم‌گیران در سطح قانون‌گذاری، برای ورود یک شبکه نوین مخابراتی مانند 5G و کاربرد در سطح جامعه و صنایع مطرح است اشاره می‌شود:

۱. عدم اطمینان قانون‌گذار از کاربردهای نوظهور [۵]: یک فناوری جدید مانند شبکه 5G زمانی می‌تواند در صنایع عمودی، کاربردهای متنوع و نوینی را به ظهور برساند که کاربران نهایی و صنایع، سرویس‌های ارائه شده را برای اجرا بپذیرند. این کاربران که می‌توانند شرکت‌ها و نهادهای خصوصی با دولتی باشند باید به سرویس‌های شبکه ارتباطی از نظر مسوولیت کیفیت مناسب سرویس، رعایت اخلاق، حریم شخصی و امنیت سایبری اطمینان کامل داشته باشند. اطمینان از کیفیت بالای موارد فوق می‌تواند با حمایت مدیران ارشد و از طرف قانون‌گذاران تأمین شود.

۲. عدالت در استفاده از فرکانس: در اولین مرحله، وظیفه قانون‌گذار است که عدالت را در استفاده از فرکانس موجود برای همه اپراتورهای موبایل و کاربران دیگر (مانند رسانه‌ها و کاربردهای حیاتی و امنیتی) اجرا کند [۱] و [۶]. اگرچه در سطح یک کشور، غالباً قانون‌گذاران و تصمیم‌گیران در مقابل تغییر فناوری‌ها به صورت انفعالی واکنش نشان می‌دهند، اما به علت اینکه فرکانس، یک منبع بنیادی و مشترک برای استفاده‌های مختلف است باید در چگونگی تخصیص آن توسط سازمان رگولاتوری دقت لازم به عمل آید. در مجموع، سیاست‌های منعطف برای به اشتراک گذاری منابع منجر به استفاده بهینه و عادلانه از منابع محدود می‌گردد.

۳. عدم انحصار در ورود و گسترش اپراتورها: چالش مهم دیگر که از عوامل بازدارنده برون‌سازمانی است، نگرانی در مورد مسائل محرمانه در رابطه با امکان اطلاع یافتن طرف‌های زنجیره تأمین توسط رقبا می‌باشد. ارائه یک شبکه مخابراتی نوین (از جمله 5G) نباید فقط به صورت انحصاری در اختیار یک یا چند اپراتور خاص باشد، زیرا این امر کنترل شدیدی روی بازار ایجاد کرده و از خلاقیت‌های آینده جلوگیری می‌نماید. ایجاد یک بازار رقابتی و عادلانه به عنوان مسیر اصلی برای قانون‌گذار معرفی می‌شود که این امر در دو دهه گذشته، همواره توسط قانون‌گذارها مورد توجه قرار داشته است. سوال مهم برای تصمیم‌گیران ورود فناوری (Policy maker) این است که چگونه به اپراتورهای شبکه نوین 5G اطمینان دهند که مدل کسب و کار^۱ و بازگشت سرمایه با اطمینان انجام می‌شود؟ در این

¹ Business Model

خصوص، تصمیم‌گیران وظیفه دارند که شرایط یکسانی را برای ورود همه سرمایه‌گذاران و اپراتورها در شبکه 5G فراهم کنند.

۴. عدم انحصار در بازار صنایع: از آنجا که یکی از اهداف مهم شبکه نوین 5G ارائه سرویس به صنایع است، باید شرایط رقابت سالم برای اپراتورهای بزرگ مخابراتی و همچنین میکرواپراتورها فراهم گردد. به این ترتیب ارائه خدمات سرویس‌دهندگان به صنایع و به صورت خاص در بازار گسترده صنعت برق در شرایط یکسان و عادلانه صورت می‌گیرد.

۵. کاهش ریسک سرمایه‌گذاری: بررسی بازار شبکه‌های ارتباطی نشان می‌دهد که از اواخر دهه ۹۰ میلادی و برای بیش از ۳ دهه بازار تقاضای موبایل روند صعودی داشته است. اما ورود شبکه 5G علاوه بر مشتریان شبکه موبایل، هدف‌گذاری صنعتی نیز دارد. به این ترتیب، چالش مهم در این بخش این است که نیاز بازار صنعتی برای فناوری نوین 5G کاملاً مشخص نیست و لذا سرمایه‌گذاری در این حوزه با ریسک بالایی مواجه است. بخشی از این ریسک، با پشتیبانی دولت قابل جبران خواهد شد.

به عنوان نمونه، اپراتورهای موبایل در کشور چین توافق کردند که در بخشی از هزینه‌های ساخت شبکه 5G مشارکت داشته و از طریق استفاده مشترک از زیرساخت، ریسک مالی را کاهش دهند [۷].

۶. قانون‌گذاری بر اساس سرعت زیاد بازار صنعتی: برنامه‌ریزی راهبردها و اهداف بلندمدت یک صنعت، سازمان یا شرکت باید مبتنی بر سرعت بالای تحولات و فناوری‌های ارتباطی انجام شود. شبکه 5G برای تبادل داده (مخصوصاً حوزه چندرسانه^۱) سرویس‌های ارتباط پرسرعت را به مشتریان فردی ارائه می‌دهد هرچند که این بازار تقریباً به سطح اشباع رسیده است.

در نهایت نیز قانون‌گذار باید از اجرای موفقیت‌آمیز استانداردها در بازار و بخش‌های رقابتی اطمینان حاصل کند. پیچیدگی این تغییرات در بازار قانون‌گذار را ملزم می‌کند که ابعاد وسیع‌تری شامل فاکتورهای فرهنگی و اجتماعی را نیز مورد توجه قرار دهد. این نکته در بخش‌های بعدی مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۷. نظارت بر اجرای قوانین امنیتی: در ارتباطات داده و شبکه‌های مخابراتی، همواره احتمال خطرهای امنیتی وجود دارد. قانون‌های حفاظت از مالکیت داده‌ها در اروپا مدت‌هاست که در حال مطالعه و رشد است. این قوانین برای کاربردهای شبکه 5G و امنیت در تبادل داده‌های کاربران نهایی بسیار حائز اهمیت است [۶]. تبیین سیاست‌ها، استانداردها و مقررات امنیتی مناسب و سپس اطمینان از

¹ Multi-media

اجرای آن‌ها در استفاده از زیرساخت عمومی شبکه موبایل مخصوصاً در کاربردهای حساسی چون صنعت برق از اهمیت بسیاری برخوردار است. نظارت قانون‌گذار بر اجرای کامل قوانین امنیتی باعث می‌شود که کل سیستم غیرقابل نفوذ باشد. نکته قابل توجه این است که در برخی از کشورها، واحد قانون‌گذار فرکانس (رگولاتوری)، فرایندی را آغاز کرده‌اند که بر اساس آن طیف‌هایی از باندهای خاص برای استفاده محلی و به صورت مشترک تخصیص می‌یابند. این روند منجر به پیاده‌سازی شبکه 5G خصوصی می‌شود [۴].

۴-۲-۱- سازمان‌های تابعه زیرمجموعه وزارت نیرو

در دهه گذشته همواره کاربرد فناوری‌های نوین ارتباطی در هوشمندسازی شبکه برق مورد توجه سیاست‌گذاران و مدیران حوزه‌های مختلف برق و انرژی قرار داشته است. اما مقاومت در برابر تغییر همواره به علت نگرانی صنایع از سطح ریسک، نحوه ورود و بکارگیری شبکه نوین 5G و در ادامه آن تغییر سیستم در بخش‌های تجهیزات و ادوات وجود داشته است [۴].

در ادامه به تعدادی از چالش‌های مطرح از دیدگاه صنعت برق پرداخته می‌شود:

۱. تعیین سطح هوشمندی شبکه برق: سیاست‌گذاری در توسعه دیجیتالی شدن و هوشمندی صنعت برق، مستقیماً بر ضرورت و میزان نیاز استفاده از فناوری نوین مخابراتی تأثیر خواهند داشت. به صورت خاص در موضوع حاضر، سطح هوشمندی مورد نظر صنعت برق در تعیین مقیاس کاربرد شبکه 5G در زیرشاخه‌های آن تأثیرگذار می‌باشد.

۲. اولویت‌های هوشمندسازی در حوزه‌های صنعت برق: بر اساس سطح هوشمندی تعیین شده برای حوزه‌های صنعت برق و همچنین بر طبق سطح بلوغ فناوری‌های ارتباطی مورد استفاده در هر یک از آنها، سیاست‌گذاران باید هوشمندسازی در بخش‌های مختلف را اولویت‌دهی کنند. و این موضوع و تمرکز بر بخش‌های توزیع و مصرف می‌تواند منجر به توسعه استفاده از فناوری ارتباطی موبایل در بخش‌های مختلف صنعت برق شود.

۳. سیاست‌گذاری غیر همسو: این چالش بسیار مهم به علت تصمیم‌گیری‌های متفاوت در سطوح مدیریتی چندین نهاد مختلف در صنعت برق رخ می‌دهد. تصمیم‌های پراکنده و بر حسب نیاز در زمان‌های مختلف، تغییر موقتی در وضعیت موجود را با روندی کند حاصل می‌کند، در حالیکه بهبود بلند مدتی را به دنبال نخواهد داشت. به عنوان نمونه در ایران، شرکت مدیریت شبکه در صنعت برق تصمیماتی را اتخاذ می‌کند که می‌تواند با سیاست‌های نهادهای مدیریتی در سطح تولید (شرکت برق حرارتی) و در حوزه‌های انتقال و توزیع (شرکت‌های برق منطقه‌ای، فوق توزیع و توانیر) همسو نباشد.

در این خصوص، همکاری نزدیک این نهادها در تعیین استفاده از زیرساخت ارتباطی می‌تواند بسیار مفید واقع شود و از ائتلاف منابع نیز جلوگیری نماید. ارائه یک طرح جامع و نقشه راه ورود فناوری 5G می‌تواند فرایند، مسیر و نحوه گسترش آن را در بخش‌های یک صنعت مشخص کند [۸].

۴. تعیین الزامات اجرای نمونه آزمایشگاهی: یکی از روال‌های اصلی در سیاست‌گذاری‌های صنعتی، مطالعات و تعیین پیش‌نیازها در بکارگیری یک فناوری نوین است. استفاده از تجهیزات موبایل و ارزیابی تجهیزات در آزمایشگاه و همچنین روال‌های مربوط به صدور تاییدیه استفاده از تجهیزات در بخش‌های مختلف صنعت برق باید انجام شود که این امر به همکاری نزدیک اپراتورها با بخش‌های مرتبط صنعتی نیاز دارد.

۵. قوانین حقوقی و قراردادی: تصمیم و ابلاغ سیاست‌های لازم در خصوص نحوه انعقاد قرارداد توافقنامه در سطح سرویس (SLA¹) و شروط لازم و کافی برای اخذ خدمات از اپراتورهای موبایل برای صنعت گسترده‌ای چون صنعت برق بسیار اهمیت دارد. همچنین، حجم بالا و تنوع زیاد خدمات مورد نیاز در بخش‌ها و شرکت‌های مختلف برق و انرژی به قوانین و سیاست‌های مشخص در خصوص نحوه ارزیابی و پایش خدمات و سرویس‌های تحویل گرفته شده نیازمند است. ابلاغ قوانین و سیاست‌های فوق به شرکت‌های برق منطقه‌ای، شرکت‌های فوق توزیع و توزیع استانی به واضح شدن نیازمندی‌های قراردادهای هر بخش منجر خواهد شد.

در ادامه نیز با توجه به حساسیت برخی از کاربردهای صنعت برق، الزام و پایبندی به ارائه سرویس‌های معین شده در قرارداد از جانب هر دو طرف قرارداد ضروری است. لذا ساختاردهی و ابلاغ قوانین برای تعیین خسارات و جریمه‌های مرتبط با کیفیت نامناسب سرویس می‌تواند ضمانت اجرایی آن را تأمین نماید.

۲-۲-۴- چالش‌های مدیریتی

عناوین تعدادی از چالش‌های مدیریتی به شرح زیر استخراج شده و ارائه می‌شوند [۹]:

- آگاهی از سطح بلوغ و پیاده‌سازی علوم نوین: یکی از اولین ضرورت‌های مدیران اجرایی صنعت برق، کسب دانش و درک فناوری‌های نوظهور مرتبط با شبکه سلولی 5G در هر کشور و منطقه برای استفاده بهینه از آن‌ها در کاربردهای صنعت برق است. دنبال کردن پیشرفت‌ها و اشراف به سناریوهای مهاجرتی و سیاست‌های تکاملی اپراتورها در تصمیم‌گیری چگونگی بکارگیری سرویس‌های شبکه 5G در بخش‌های مختلف صنعت برق تأثیرگذار است.

¹ Service-Level Agreement

- احاطه بر چالش‌های صنعت: مدیران صنعت برق باید از چالش‌ها و مشکلات حوزه‌های مختلف شبکه برق آگاهی داشته و پیش‌بینی و ارزیابی از ورود فناوری در بازار را مورد مطالعه قرار دهند. ترسیم زنجیره ارزش فناوری 5G برای کاربرد مورد نظر در صنعت برق، شناسایی موانع پیش رو جهت توسعه فناوری موبایل در ایجاد زیرساخت ارتباطی بخش‌های مختلف و تغییر رویکرد ارتباطی و ساختار مخابراتی موجود به سرویس‌های شبکه 5G در راستای بهینه‌سازی عملکرد حوزه‌هایی از صنعت برق از جمله مواردی هستند که باید در تصمیم‌گیری مدیران جهت رفع چالش‌ها لحاظ شوند.
- انتخاب فناوری و سرویس مناسب: توجه به نیازمندی مخابراتی و چالش‌های موجود در کاربرد خاصی از صنعت برق برای انتخاب و بکارگیری یک فناوری نوین ضروری است. به علاوه، ایجاد هماهنگی استراتژیک و بلندمدت میان فعالیت‌های فعلی و عملکرد مبتنی بر سرویس فناوری نوین 5G در کاربرد باید مد نظر قرار داشته باشد.

برای استفاده از سرویس‌های برش شبکه 5G باید مهاجرت به صورت کامل انجام شده باشد تا پوشش کامل شبکه 5G، امکان عقد قرارداد و بهره‌برداری از مزایای موبایل نسل 5 را ایجاد نماید. در مورد شرایطی که پوشش 5G به صورت کامل در دسترس نیست سناریوهای تغییر دریافت خدمات از 4G یا 3G باید از جنبه اجرایی بررسی شده باشد. در این کاربردها که ترکیب استفاده از شبکه 5G با نسل‌های پیشین مطرح می‌شود، مطالعات فنی مانند چگونگی انتخاب تجهیزات (ترمینال و مودم) و همچنین هزینه تمام شده تجهیز باید مورد توجه قرار گیرد.

- تطابق با سیستم موجود: اولین سؤالی که ورود سرویس‌های نوین برای مدیران ایجاد می‌کند این است که آیا شبکه 5G با شبکه‌ها و نسل‌های قبل موبایل تطابق دارد و آیا فناوری‌ها و سرویس‌های نسل‌های پیشین را پشتیبانی می‌کند یا خیر؟ در مواردی از کاربردها، سرویس‌های موجود با سرویس‌های نوین جایگزین می‌شوند و در مواردی دیگر ممکن است این دو در کنار هم کار کنند. همچنین، این بحث در مورد تداخل امواج رادیویی سرویس‌های شبکه 5G با تجهیزات و دستگاه‌های موجود در کارخانه (که با امواج رادیویی کار می‌کنند) نیز حائز اهمیت است.
- شفافیت برنامه مهاجرت اپراتورها: صنعت برق به عنوان یک سرویس‌گیرنده نیاز دارد که نقشه اجرایی و روند تکاملی ورود شبکه 5G در کشور را در اختیار داشته باشد. با توجه به اینکه بسیاری از اپراتورهای مخابراتی دنیا، برنامه مهاجرتی بلندمدتی را برای تغییر زیرساخت‌ها و ارائه سرویس‌ها (مبتنی بر برش شبکه) در نظر گرفته‌اند لذا بخش‌های مختلف صنعت برق بر اساس هماهنگی با نقشه راه مهاجرت اپراتور، ممکن است متناسب با نیازمندی‌ها و گستره بکارگیری شبکه‌های ارتباطی، قسمتی از سرویس‌های مورد نیاز خود را از شبکه 4G و یا انواع دیگر شبکه‌های ارتباطی تأمین نمایند.

- تسهیل فرایند انتقال فناوری در سطح قانون‌گذاران دولتی: سیاست‌های رگولاتوری در بهره‌برداری از فناوری 5G در بخش‌های مختلف صنعت برق نقش مستقیمی دارد. اما در کنار این سیاست‌ها، برنامه‌های دولت در حمایت مالی و اجرایی و تضمین خرید محصول می‌تواند به اجرایی شدن این سرویس‌ها در شروع کار، کمک فراوانی کند و ریسک انتقال و تبدیل فناوری را کاهش دهد.
- تسهیل فرایند انتقال فناوری در سطح مدیران صنعتی: نمونه‌هایی از تصمیم‌ها و فعالیت‌های مدیریتی که منجر به تغییر استفاده از فناوری 5G در یک صنعت می‌شوند عبارتند از: لزوم تهیه نقشه راه اجرایی برای استفاده از فناوری نوین 5G و جایگزینی آن با فناوری‌های قدیمی در سطوح مختلف صنعت برق (به خصوص در حوزه‌های توزیع و مصرف)، تصمیم‌گیری در خصوص توسعه فناوری ترمینال و مودم 5G با رعایت استانداردهای مورد نیاز برای صنعت برق در کشور، ایجاد تشکلهای علمی و سندیکا برای توسعه ورود فناوری 5G، شناسایی بازیگران اصلی در زنجیره ارزش فناوری 5G در صنعت برق و تعیین میزان علاقمندی آن‌ها به توسعه این فناوری نوین، ایجاد و برقراری سازوکارهای مناسب از (و به) شرکت بهره‌بردار، خلق استراتژی‌های مناسب برای مدیریت و متخصصان فنی با توجه به فرهنگ سازمانی و همچنین با توجه به مفاهیم جدید اراکستراسیون سرویس و شبکه و توابع مجازی در شبکه موبایل نسل پنجم در شرکت‌های وابسته به صنعت برق، ترویج کارآفرینی و اتخاذ روش‌هایی برای تحرک خلاقیت و نوآوری در استفاده از فناوری نوین 5G.
- طراحی ساختار مناسب: اصلاح و بهبود ساختار سازمانی به منظور پاسخگویی مناسب به تغییرات فناورانه ضروری است. پشتیبانی از محیط کاری مناسب برای پرسنل، سلامت و ایمنی در بهره‌برداری بهینه از فناوری 5G در کاربردهای صنعت برق را تضمین می‌کند.
- انتخاب بهترین مدل کسب و کار: مدیریت در هر دو بخش اپراتورهای مخابراتی و حوزه صنایع، باید با مدل‌های متنوع کسب و کاری آشنایی داشته و به اهمیت آن‌ها واقف باشند. انتخاب بهترین مدل کسب و کار می‌تواند ساختار و فرایند تبادل سرویس برای طرفین را بهینه نماید. به جهت پوشش مباحث مرتبط، در این گزارش، به مدل‌های کسب و کار اشاره خواهد شد و سپس در گزارش مرحله بعد، این مباحث به صورت دقیق‌تر مورد مطالعه قرار خواهند گرفت.
- مدیریت دارایی‌ها: یکی از مسائل اصلی در حوزه‌های صنعت برق، مدیریت بهینه دارایی‌ها است. درک مسائل و شرایط سازمانی موجود منجر به برنامه‌ریزی اجرایی مناسبی در مدیریت دارایی‌های مادی و معنوی خواهد شد.
- قرارداد مناسب: یکی از وظایف مهم مدیران در ارتباطات برون سازمانی، عقد قرارداد مناسب و توافقنامه در سطح سرویس (SLA) برای دریافت و یا ارائه خدمات است. یک قرارداد محکم و معقول، باید به گونه‌ای تنظیم شود که در سایه امنیت حقوقی آن هیچ یک از طرفین دچار

تضییع حقوق نشوند و وزن مزایای داده و گرفته شده در یک طرف با وزن مزایای داده و گرفته شده توسط طرف مقابل برابر باشد.

آگاهی مدیران از قوانین حقوق عمومی و خصوصی، توجه به جزئیات حقوقی و تجاری، ذکر دقیق تعهدات و استفاده از دانش و تجربه مشاوران در تنظیم یک قرارداد می‌تواند از مشکلات متعدد آینده، خسارات و اتلاف منابع جلوگیری نماید.

- ثبات نگرش مدیریتی: به دلیل پیچیدگی‌ها و محدودیت‌های اجرای یک فناوری نوین مانند 5G، لازم است که مدیران صنعتی بر برنامه طراحی شده برای استفاده از سرویس‌های 5G تمرکز داشته باشند و از همه توان موجود در سازمان در نیل به اهداف تعیین شده، استفاده نمایند.
- کمبود نیروی متخصص: این چالش مخصوصاً در مورد شرکت‌های کوچک و با موقعیت مالی ضعیف دیده می‌شود. نیروی انسانی مشاور و ماهر برای ارائه ارزیابی درستی از مسائل اقتصادی، مالی و استراتژیک و همکاری در تصمیم‌گیری بهتر مدیران، نقش مهمی را ایفا می‌کند. لذا کمبود نیروی متخصص چه در مرحله سیاست‌گذاری بای شرکت و چه در مراحل مدیریتی و اجرایی می‌تواند بسیار تأثیرگذار باشد.

۳-۲-۴- چالش‌های بهره‌برداری و اجرایی

پیاده‌سازی و دستیابی عملی به شبکه 5G در یک بخش صنعتی به همکاری نزدیک بین همه زیرسیستم‌ها نیازمند است. این همکاری بر بستر اطلاعات مشترک در همه واحدها شکل می‌گیرد. در چند سال اخیر، بسیاری از صنایع و کارخانه‌ها در حوزه اتوماسیون و کنترل صنعتی سرمایه‌گذاری کرده‌اند اما در حال حاضر، توسعه و گسترش این سیستم‌ها و توانمند کردن آن‌ها بر اساس نتایج تحلیلی به در اختیار داشتن «سیستم ارتباطی پرسرعت» و دریافت «اطلاعات بلادرنگ» بستگی دارد. این دو بخش با در نظر داشتن نیاز به تحلیل همزمان گروه‌های مختلف اطلاعاتی (علاوه بر داده عملکرد سیستم و سخت‌افزارها) و تبادل بلادرنگ داده با منابع مختلف، اهمیت خود را نشان می‌دهد. به علاوه ارتباطات ماشین-به-ماشین نیز در اجرای سیستم‌های اتوماسیون صنعتی بخش مهمی را تشکیل می‌دهند.

در این راستا، اجرای عملی شبکه 5G و استفاده از سرویس‌های آن متناسب با نیازمندی‌های خاص هر حوزه از صنعت برق نیز مورد توجه قرار گرفته است. اگرچه بخش وسیعی از چالش‌های اجرا و پیاده‌سازی فناوری 5G در صنعت برق را مسائل فنی و تکنیکی تشکیل می‌دهند، اما در این راستا محدودیت‌ها و مشکلات مهمی از نظر بهره‌برداری و اجرایی وجود دارد که در ادامه به آن‌ها اشاره می‌شود:

۱. لزوم اجرای پایلوت برای صنعت برق توسط اپراتورها: بررسی سازگاری و تناسب سرویس انتخاب شده از شبکه 5G برای یک کاربرد خاص در صنعت برق از اهمیت زیادی برخوردار است. قبل از ابعاد

کلان، پیاده‌سازی یک نمونه در سطح مقدماتی نواقص و مشکلاتی که در اجرا وجود خواهد داشت را آشکار می‌کند تا بتوان با ارزیابی عملکرد، طرح مطالعه اصلی را تکمیل کرد. در صورت اجرای یک نمونه اولیه از آن سرویس در مقیاس کوچک، امکان‌پذیری طرح ارزیابی شده، قیود محدود کننده بررسی و یا نحوه اجرای طرح بهبود داده می‌شود.

۲. ارزیابی ریسک: تا کنون، مدل‌های مختلفی برای تجزیه و تحلیل خطر و ارزیابی ریسک ارائه شده‌اند که با هدف کاهش پیامدهای بالقوه ناشی از مشکلات احتمالی، سعی در بهینه‌سازی استفاده از منابع و سرمایه‌ها (مانند زمان، هزینه و کیفیت) دارند. تحلیل، شناسایی و اولویت‌بندی ریسک‌ها از جمله ریسک تجاری، ریسک حقوقی و قوانین، اقتصادی، سیاسی، فرهنگی-اجتماعی، ریسک مالی، زیرساختی، استراتژیک و ریسک مدیریتی به عنوان مراحل اصلی در این خصوص شناخته می‌شوند.

۳. ارزیابی کیفیت سرویس (QoS¹): بحث ارزیابی کیفیت خدمات و سرویس‌های ارائه شده از طرف یک اپراتور مخابراتی به حوزه‌های صنعت برق، از دو جنبه قابل بررسی است. جنبه اول، ارزیابی QoS توسط اپراتور مخابراتی است که خدمات را ارائه می‌دهد. اما جنبه دوم که در این خصوص مورد توجه است، کیفیت سرویسی است که از نگاه سرویس‌گیرنده و مشتری دریافت می‌شود. اپراتور موبایل باید یک زیرساخت یا سکو^۲ که نشان‌دهنده شاخص‌های تضمین‌شده کیفیت سرویس (مانند قابلیت اطمینان و نرخ خطای داده) است را به سرویس‌گیرنده تحویل دهد و به این ترتیب ادعای اپراتور در کیفیت خدمات ارائه شده، مورد سنجش قرار گیرد. وضع قوانین و الزامات از طرف قانون‌گذار به اپراتور مخابراتی نیز می‌تواند به ارائه سکو به مشتری و حمایت از بهبود خدمات منجر شود. (توضیحات تکمیلی در خصوص شاخص‌های کیفیت سرویس و ارزیابی آن در پیوست الف این گزارش ارائه شده است. همچنین توضیحات تکمیلی در مورد با کیفیت تجربه و شاخص‌های ارزیابی آن نیز در پیوست ب ارائه شده است).

۴. تعمیر و نگهداری: پشتیبانی فنی و ارائه خدمات تعمیر و نگهداری در توسعه کاربرد یک فناوری می‌تواند بسیار مؤثر باشد. این مطلب در خصوص سرویس‌های مخابراتی، که ممکن است با قطعی و خرابی‌های سخت‌افزاری و یا خرابکاری سایبری همراه باشد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

۴-۲-۳-۱- SLA برای قراردادهای با صنایع

با توجه به نکات بخش قبل، قرارداد منعقد شده مابین هریک از ارائه‌دهندگان و دریافت‌کنندگان یکی از سرویس‌های شبکه 5G باید به صورت یک SLA و با تعیین موارد هزینه‌ها باشد. اما جنبه اصلی در قراردادهای

¹ Quality of Service

² Platform

SLA مرتبط با شبکه ارتباطی 5G، توجه به استفاده مشترک از منابع است. زیرساخت‌های سخت‌افزاری به عنوان شناخته‌شده‌ترین منبع وجود دارند اما اشتراک و تخصیص این زیرساخت‌ها در برش شبکه 5G و قرارداد نوع سرویس تعریف می‌شود. لذا با توجه به تعریف ۳ دسته از سرویس‌های 5G، این منابع می‌توانند شامل فرکانس، اولویت و تأخیر زمانی باشند. اگرچه دو مورد آخر منجر به نحوه استفاده از طیف فرکانسی و زیرساخت‌های موجود می‌شوند اما می‌توان آن‌ها را در جایگاه مفهومی خود مورد بررسی قرار داد.

برخلاف شبکه‌های موبایل نسل‌های سوم و چهارم که تعرفه‌ها و هزینه‌ها بر اساس حجم و سرعت داده تعیین می‌شد، در شبکه نسل پنجم محاسبه و تعریف تعرفه‌ها کمی پیچیده‌تر است. علل اصلی این پیچیدگی عبارتند از:

- در استفاده از سرویس‌های 5G ممکن است یک مشتری فقط به حجم زیاد و سرعت بالای انتقال داده (در گروه eMBB) نیاز نداشته باشد، بلکه از سرویس‌های mMTC و یا URLLC استفاده نماید [۵]. لذا شاخص‌ها و نیازمندی‌های مختلف به قراردادهای مختلفی نیازمند هستند.
- شبکه 5G دربرگیرنده چندین شبکه مخابراتی و زیرساخت ارتباطی و محاسباتی می‌باشد. این مطلب مخصوصاً در شرایط مهاجرت اپراتورها از شبکه 4G به سمت شبکه 5G بسیار محتمل و رایج است. لذا یک قرارداد می‌تواند متناسب با پارامترها و سرویس‌های دریافتی از زیرساخت‌های مختلف، به چندین SLA نیاز داشته باشد [۱۰].
- سیاست تخصیص برش شبکه در سرویس‌های نرخ داده تضمین‌شده (GBR)^۱ باید علاوه بر تخصیص منابع، در سطح کنترل پذیرش^۲ نیز مورد توجه قرار داشته باشند. تأکید می‌شود که SLA باید به تخصیص بهینه منابع بین برش‌های شبکه تمرکز داشته باشد و نحوه استفاده از یک برش برای کاربران داخلی آن، موضوع این بخش نمی‌باشد [۱۱].
- با توجه به منابع و زیرساخت‌های گسترده و توزیع‌شده 5G، تعدادی SLA برای پایش و مکانیزم‌های نظارت بر خدمات، تعمیرات و نگهداری مورد نیاز است [۱۰].

۴-۲-۴- چالش‌های اقتصادی

پیش‌بینی می‌شود بکارگیری فناوری 5G و توسعه استفاده از آن، مزایای اقتصادی گسترده‌ای را در دنیا بوجود آورد [۱۲]. این مزایا در صنایع پیشرو از جمله حوزه‌های مختلف شبکه برق نیز مورد توجه قرار دارند. مباحث اقتصادی و مالی مخصوصاً از جنبه اثرگذاری در رشد و توسعه و میزان افزایش سوددهی، از یک طرف برای سرمایه‌گذاران و اپراتورهای شبکه موبایل و از طرف دیگر برای سرویس‌گیرندگان مانند حوزه‌های مختلف

¹ Guaranteed Bit Rate

² Admission-control

شبکه برق از اهمیت زیادی برخوردار هستند. در این خصوص تعدادی از چالش‌های اقتصادی و مالی به شرح زیر دسته‌بندی و ارائه می‌شوند [۹]:

۱. سودآوری: به صورت کلی، سرویس‌گیرندگان (مشتریان فردی و همچنین شرکت‌ها، کارخانجات و بخش‌های صنعتی) همواره در برنامه‌ریزی‌ها به دنبال روش‌هایی برای کاهش مجموع هزینه‌ها در کوتاه مدت و بلند مدت هستند. لذا اجرای فناوری‌های جدید در صورتی برای آن‌ها مورد قبول است که بررسی‌ها، بازدهی اثر روش‌های نوین در بازگشت سرمایه و افزایش سود را تضمین نماید. برای صناعی چون صنعت برق و انرژی، این بازگشت سرمایه می‌تواند از طریق بهبود کارایی سیستم حاصل شود.

اپراتورهای شبکه در سالیان قبل با صرف هزینه‌های فراوان شبکه نسل چهارم را پیاده سازی کرده اند که قابلیت‌ها و سرویس‌های مختلفی در اختیار مشترکان قرار داده است و با همه گیر شدن آن هم اکنون نیز در حال سودآوری است. آیا بازگشت سرمایه برای همه اپراتورهای نسل چهارم اتفاق افتاده است؟ با این حال صرف هزینه‌های فراوان برای مهاجرت به نسل پنجم برای اپراتورها توجیه اقتصادی دارد؟ با وجود این پرسش‌ها مهاجرت به نسل پنجم امری ضروری برای اپراتورها بنظر می‌رسد. از یک طرف قابلیت ارائه سرویس‌های نوین توسط شبکه نسل پنجم که بازارهای اقتصادی جدیدی برای سودآوری اپراتورها ایجاد می‌کند و از طرفی دیگر چرخه عمر فناوریهای مرتبط با نسل چهارم به زودی باعث افت سودآوری اپراتورها از این شبکه خواهد شد. در کشور ما بدلیل تحریم‌های اقتصادی و سیاسی، اپراتورهای شبکه با مسائل مضائقه مانند تأمین و تهیه تجهیزات نیز مواجه اند و این بر روی سرعت مهاجرت به نسل پنجم تاثیر خواهد گذاشت.

۲. تخصیص منابع: تخصیص منابع و هزینه برای فعالیت‌های تحقیق پایه‌ای و کاربردی در صنایع برق و انرژی، با هدف تلاش برای توسعه و بهبود عملکرد سیستم انجام می‌شود. منابع سرمایه‌ای و هزینه سرمایه‌گذاری از جمله ارزش زمانی پول و نرخ بازگشت را شامل می‌شود. در این خصوص باید توجه داشت که بسیاری از شرکت‌های کوچک و متوسط (SMEs)¹ ممکن است ظرفیت و بودجه برای خرید تجهیزات جدید شبکه 5G و آموزش نیروی انسانی را نداشته باشند. لذا سرعت ورود فناوری نوین به آن‌ها بسیار کمتر از صنایع بزرگ و پربازده می‌باشد.

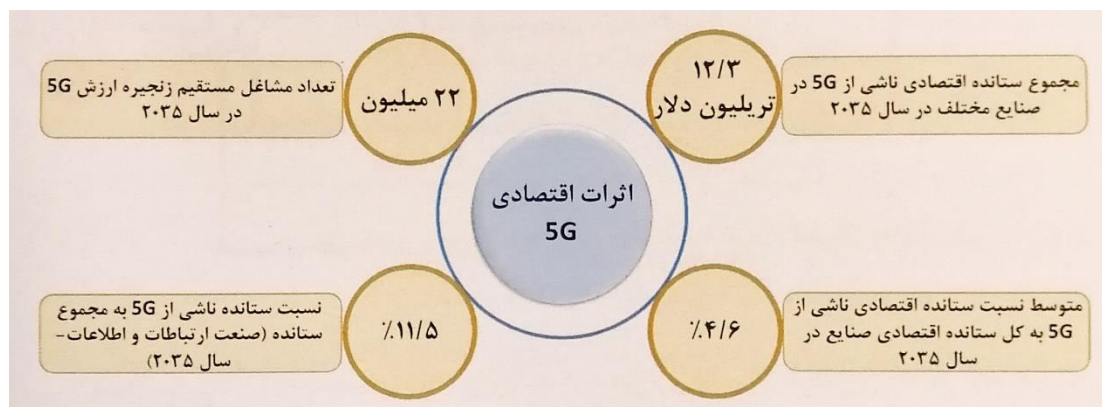
علاوه بر منابع سرمایه‌ای، مسئله تخصیص طیف فرکانسی و مدیریت منابع فرکانسی از چالش‌های دیگر موبایل نسل پنجم است. برای اپراتورهای شبکه ترکیب باندهای فرکانسی زیر 1GHz و بین 1-6GHz و بالاتر از 6GHz برای تأمین نیازمندی‌های شبکه، ناحیه تحت پوشش و ظرفیت شبکه

¹ Small and Medium Enterprises

لازم است. با این حال بدلیل کمبود منابع نیاز به مدیریت منابع فرکانسی و فناوری‌های نوین برای تخصیص این منابع به کاربران ضروری است. به‌علاوه بکارگیری باندهای فرکانسی بالا منجر به حساس شدن افکار عمومی نسبت به شبکه نسل پنجم خواهد شد. همانطور که اخیراً مرگ پرندگان در اروپا و شیوع ویروس کرونا به پیاده‌سازی‌های شبکه نسل پنجم نسبت داده شده است.

۳. مقاومت در برابر تغییر از دیدگاه اپراتور: این چالش مهمی است که از طرف سرمایه‌گذار و اپراتور شبکه موبایل موجود (MNO) در مقابل توسعه شبکه 5G وجود دارد. دو علت اصلی برای این مقاومت وجود دارد. علت اول این است که برای شبکه 4G، سرمایه‌گذاری و برنامه‌ریزی وسیعی انجام شده است و ورود سریع فناوری جدید می‌تواند فناوری موجود را کاملاً حذف کند. علت دوم این است که ممکن است در زمان ایجاد شبکه جدید 5G، شبکه موجود از کار بیافتد و عدم پاسخ‌گویی اپراتورها به تعهداتشان آن‌ها را متضرر نماید [۷].

پیش‌بینی می‌شود که متوسط نرخ سالانه افزایش درآمد اپراتورها تا سال ۲۰۲۶ از شبکه موبایل فعلی (بدون 5G) برابر با ۱.۵ درصد باشد و به مقدار ۱۷۳۶ میلیارد دلار برسد. این در حالیست که فرصت‌های رشد درآمد اپراتورها ناشی از ارائه سرویس‌های 5G به صنایع مبلغ ۶۱۹ میلیارد دلار را تا سال ۲۰۲۶ تجربه خواهد کرد [۱۲]. پیش‌بینی اثرات اقتصادی 5G تا سال ۲۰۳۵ در شکل ۱۷-۱ نشان داده شده است.



شکل ۱۷-۱ پیش‌بینی اثرات اقتصادی 5G تا سال ۲۰۳۵ [۱۲]

۴. مقاومت در برابر تغییر از دیدگاه صنایع: چالش اقتصادی دیگر برای بسیاری از صنایع از جمله صنعت برق، از زاویه نگاه جایگزینی فناوری قدیمی به جدید مطرح می‌شود. در یک نگاه کلی، حوزه‌های مختلف صنعت برق متناسب با نیازهای هر بخش، از راه‌حل‌های ارتباطاتی متنوعی بهره می‌برند و از شبکه‌های داخلی (مانند فیبر نوری) و یا قراردادهایی با اپراتورهای مخابراتی (بکارگیری GPRS و شبکه‌های سلولی 4G) استفاده می‌نمایند. انجام تحلیل سود-هزینه برای ورود فناوری نوین یا تحلیل برای توسعه فناوری با در نظر گرفتن TRL فناوری جزو مسایل پیش رو در این حوزه به شمار می‌رود.

۵. همزمانی استفاده از چند شبکه ارتباطی: دقت در چالش قبل نشان می‌دهد که در خصوص استفاده از سرویس‌های شبکه 5G در زمان مهاجرت به این فناوری، بکارگیری همزمان چند سناریوی مخابراتی در کاربردهای صنعت برق می‌تواند هزینه زیادی را برای نصب، راه‌اندازی و نگهداری شبکه به دنبال داشته باشد. به عنوان نمونه در زیرساخت‌های ارتباطی شبکه کنتورهای هوشمند مشتریان (AMI¹) که ادوات بسیار زیادی را شامل می‌شوند، قیمت زیاد ترمینال هر یک از شبکه‌های سلولی 4G یا 5G می‌تواند به توسعه کاربرد شبکه ارزان‌تر و حذف کامل رقیب منجر شود.
۶. مدل‌سازی اقتصادی مبتنی بر سرویس شبکه [۱۷]: برش‌بندی شبکه تنها یک فناوری مربوط به شبکه‌های مخابراتی نیست بلکه به یک مدل اقتصادی نیز شباهت دارد. این فناوری تعداد زیادی عامل و بازی‌گردان دارد که به سرویس‌رسانی به مشترکان خود مشغول‌اند. باید مدل اقتصادی نوینی برای برش‌بندی شبکه ارائه شود و همچنین باید این مدل از محصول محور به سرویس محور تبدیل شود. در این حالت باید مدل وفقی و منعطفی مبتنی بر سرویس شبکه و بر اساس تغییرات درخواست کاربران با زمان طراحی شود که سود اپراتورها را همراه با بهبود سرویس‌دهی افزایش دهد. این طرح نوین نیازمند توافقات مرحله سرویس یا SLA بین کاربران و ارائه‌دهندگان سرویس و ارائه‌دهندگان زیرساخت است. باین حال ایجاد و مدیریت و هماهنگی این توافقات کاری چالش‌برانگیز است. به نظر می‌رسد پاسخ به این چالش نیازمند رسیدن به اجماع بین بازیگران اصلی باشد.

۴-۲-۴-۱- مزایای اقتصادی

- مطالعه دقیق و اجرای صحیح سرویس‌های شبکه 5G در صنعت برق می‌تواند سودآوری بسیار زیادی را به همراه داشته باشد. در ادامه به تعدادی از نقاط مثبت و راهکارها از جنبه اقتصادی اشاره می‌شود:
۱. تعامل وسیع شبکه هوشمند برق با اپراتورهای مخابراتی: گسترش، هوشمندسازی و بهینه‌سازی عملکرد شبکه برق با کمک فناوری‌های ارتباطی نوین، از دو جنبه مستقیم و غیرمستقیم می‌تواند برای اپراتورهای مخابراتی حائز اهمیت باشد. از آنجا که صنعت برق دارای حوزه‌ها و زیرشاخه‌های گسترده فنی می‌باشد، به عنوان یکی از مشتریان اصلی سرویس‌های شبکه 5G شناخته می‌شود. لذا به صورت مستقیم، این vertical در تمامی بخش‌های تولید، توزیع، انتقال و مصرف، سرویس‌گیرنده بوده و به انواع متنوعی از قراردادها و سرویس‌های ارتباطی نیاز خواهد داشت.
- جنبه غیرمستقیم لزوم تعاملات اپراتورهای شبکه‌های موبایل با صنعت برق، به نقش انکارناپذیر زیرساختی و حیاتی انرژی الکتریکی در رونق و توسعه صنایع گوناگون بازمی‌گردد. در حقیقت افزایش

¹ Advanced Metering Infrastructure

تولید و بهینه‌سازی عملکرد شبکه برق همواره مورد اقبال دولتها و بخش‌های خصوصی و صنعتی قرار داشته است. در ادامه، توسعه صنعت برق منجر به رونق صنایع دیگر شده و پیشرفت آن‌ها منجر به افزایش قراردادهای ارتباطی با MNOها خواهد شد. این موضوع، به عنوان تأثیر غیرمستقیم رشد صنعت برق برای شکل‌دهی و گسترش بازار اپراتورهای مخابراتی برای توسعه سرویس‌های شبکه 5G شناخته می‌شود.

۲. بررسی راهکارها: روند جهانی برای توسعه بکارگیری فناوری 5G در صنعت برق باید همواره و به دقت مورد بررسی قرار داشته باشد. این روند جهانی، تأثیر مستقیم بر توسعه صنعت برق کشورها و چگونگی استفاده از سرویس‌های نوین 5G در بهبود عملکرد خواهند داشت. نگاه کلی بر مسیر توسعه شبکه هوشمند در دنیا نشان می‌دهد که:

- در حوزه تولید صنعت برق، استفاده از نیروگاه‌های تولید انرژی از منابع تجدیدپذیر به سرعت در حال گسترش است. تجمیع و اتصال به شبکه برق، مدیریت، پایش و نگهداری این نیروگاه‌ها به یک شبکه ارتباطی پرسرعت، با تأخیر بسیار کم و با قابلیت اطمینان بالا نیاز دارد.
- در حوزه انتقال، موضوعات کاهش تلفات و پایش و تعمیر خطوط انتقال برق با توجه به گستردگی جغرافیایی و قرار داشتن بخشی از خطوط در مناطق صعب‌العبور به شبکه‌های ارتباطی خاص نیاز دارند.
- در بخش‌های توزیع و مصرف: تعداد تجهیزات مخابراتی در بخش توزیع و مصرف بسیار بیشتر از بخش انتقال و تولید است و هزینه Capex تأمین تجهیزات در کنار هزینه‌های Opex و هزینه تأمین سرویس، جزء چالش‌های توسعه هوشمندی یا جایگزینی فناوری جدید با فناوری قبلی در این حوزه‌ها به حساب می‌آید. اما نکته قبل توجه این است که، الزام به هوشمندسازی برای یک شبکه با تعداد زیاد ادوات (مانند کنتورهای هوشمند و توسعه ارتباطات شبکه مشترکین در حوزه مصرف) همواره به عنوان یکی از موضوعات نیازمند به شبکه مخابراتی پرسرعت مطرح بوده است و ماهیت توزیع‌شدگی آن، منجر می‌شود که بکارگیری شبکه 5G به صرفه اقتصادی منجر شود.

۳. افزایش طول عمر تجهیزات صنعت برق: تعداد زیادی از تجهیزات و ادوات در صنعت برق با صرف هزینه بسیار زیادی ساخته شده و بیش از چند دهه کارایی دارند. اما شبکه ارتباطی بکاررفته با اهداف مختلف برای آن‌ها (از جمله پایش و عیب‌یابی) با سرعت زیادی تغییر می‌کنند. در صورتی که بهبود عملکرد این تجهیزات توسط سرویس‌های 5G اثبات شود، پیاده‌سازی این سرویس‌ها سودآوری عظیمی برای اپراتورها را به دنبال خواهد داشت.

۵-۲-۴- فرهنگ و عمومی

اطلاعات به عنوان یک نماد توسعه همه‌جانبه در یک جامعه، منجر به تغییر آن به سمت یک جامعه اطلاعاتی^۱ می‌شود. فناوری‌های ارتباطی می‌توانند در تمام سطوح اجتماعی تأثیرگذار باشند. در این بخش، به بحث درباره تعدادی از چالش‌های فرهنگی و عمومی پرداخته می‌شود:

۱. تأخر فرهنگی [۱۵]: این پدیده هنگامی رخ می‌دهد که در اثر تغییرات شدید و سریع در یک مسأله اجتماعی، عناصر مادی و معنوی فرهنگ با همدیگر هماهنگی نداشته باشد و یکی با سرعت بیشتر نسبت به دیگری حرکت و پیشرفت کند. غالباً به دلیل ریشه‌دارتر و عمیق‌تر بودن فرهنگ معنوی و گستردگی بیشتر آن نسبت به فرهنگ مادی، فرهنگ معنوی نمی‌تواند با سرعت فرهنگ مادی تغییر کند و لذا پدیده تأخر فرهنگی به صورت پس افتادگی فرهنگ معنوی از مادی دیده می‌شود. در کشورهای جهان سوم از جمله کشور ما، تأخر فرهنگی و عدم تناسب و ناهماهنگی عناصر فرهنگی، باعث می‌شود که بهره‌برداری بهینه از امکانات و فناوری‌ها میسر نباشد. درحالی‌که فناوری‌های نوین ارتباطی و شبکه‌های موبایل با سرعت بسیار زیادی پیشرفت و توسعه می‌یابند، معضلات فرهنگی چگونگی بهره‌گیری از آن‌ها همچنان باقی است.

۲. تضعیف فرهنگ سنتی [۱۵]: یکی از چالش‌های ورود فناوری‌های ارتباطی پرسرعت، تغییرات فرهنگ کشورها و همگرایی فرهنگ‌های آن‌ها می‌باشد. اگرچه پیشرفت فناوری‌ها و استفاده از آن‌ها در صنایع می‌تواند سطح رفاه جامعه را افزایش دهد اما کنترل فرایندهای جانبی آن‌ها مانند تمرکز بر مصرف-گرایی و تبلیغات گسترده، فضای ذهنی و فرهنگ سنتی را به سمت مادیات سوق می‌دهد. اثراتی چون کاهش رشد و بالندگی اخلاق، افزایش سودجویی و تحریف اطلاعات که در علوم اجتماعی در دنیا مورد بررسی قرار گرفته است، منجر به انواع چالش‌ها در فضای سایبری شده است.

۳. پذیرش فناوری نوین: در صورت وجود تجربیاتی از گذشته و وجود یک دانش روشن از عملکرد فناوری‌های مشابه، عموم جامعه آشنایی نسبی با آن فناوری داشته و سطوح جدید آن و بهبود سرویس‌های ارائه شده را بهتر درک می‌کنند و می‌پذیرند. در این راستا، موضوع فرهنگ‌سازی در اقبال به سمت استفاده از فناوری‌های نوین و بهره‌برداری از سرویس‌های آن در صنایع را می‌توان به تفکیک از دیدگاه سیاست‌گذار، بهره‌بردار و مشتریان بررسی کرد.

در صنعت برق، تشویق مدیران و بهره‌برداران در استفاده از یک زیرساخت عمومی مثل شبکه سراسری موبایل به جای زیرساخت اختصاصی در صنعت برق، مخصوصاً در کاربردهای گسترده‌ای چون هوشمندسازی کنترل ساختمان‌ها (تجهیزات سمت مشترکین) و برنامه‌های مدیریت بار برای

¹ Information Society

مشترکین می‌تواند مزایای زیادی را به همراه داشته و حرکت به سمت شهرهای هوشمند را تسریع نماید.

۴. نابرابری اجتماعی در دسترسی به امکانات نوین ارتباطی: اگرچه امروزه درصد بالایی از هر جامعه از امکانات شبکه‌های مخابراتی سلولی استفاده می‌کنند اما طبقاتی از جامعه به دلیل بهره‌مندی کمتر از تحصیلات، امکانات و موقعیت‌های اقتصادی، اجتماعی و جغرافیایی، دسترسی و بهره‌مندی کمتری از این امکانات دارند.

به علاوه، تجهیزات و ادوات ارتباطی و هزینه زیاد آن‌ها به سرعت در حال تغییر هستند. همراهی با سرعت بالای پیشرفت این ادوات (تلویزیون، کامپیوتر، گوشی‌های موبایل و ...) به توانایی مالی و قدرت خرید بالایی نیاز دارد. لذا حتی اگر صنایعی چون حوزه مشترکین صنعت برق بتوانند از زیرساخت شبکه 5G برای بهبود ارائه خدمات استفاده کنند، باز هم طبقات پایین جامعه نمی‌توانند از این خدمات استفاده کنند و متضرر خواهند شد.

بر اساس نظر کارن کومن، برابری در دسترسی به تکنولوژی‌های نوین ارتباطی و اطلاعاتی در حال تبدیل شدن به چالش عمده‌ای است که بر مسأله دسترسی به اطلاعات، تسهیلات آموزشی، منابع فرهنگی و نیز تمام فرصت‌ها و امتیازات حاصل از آن‌ها تأثیر خواهد گذاشت [۱۶].

۵. نابرابری اطلاعاتی: یک چالش مهم ناشی از بکارگیری ارتباطات پیشرفته و پرسرعت از جمله شبکه‌های موبایل نسل‌های چهارم و پنجم، ایجاد و تشدید نابرابری استفاده از اطلاعات لازم برای زندگی صنعتی در طبقات مختلف جامعه است. به عنوان نمونه، اگر قیمت فروش برق در فصول مختلف سال و بر اساس ساعات پیک مصرف تغییر کند، انتظار می‌رود که مصرف‌کنندگان بر طبق این اطلاعات برای استفاده بهینه از برق و کاهش هزینه‌های خود برنامه‌ریزی داشته باشند.

۶. یکی از چالش‌های اساسی که مخصوصاً در کشور ایران در مورد استفاده صنایع از یک فناوری نوین وجود دارد، عدم مشارکت ذینفعان در پذیرش یا استفاده از آن فناوری می‌باشد. این چالش زمانی حادث‌تر خواهد شد که فناوری یا فناوری‌های جایگزین دیگری که دسترسی به آنها آسان‌تر است (البته نه با آن کاربری فناوری نوین) نیز وجود داشته باشند.

۷. در صنعت برق ذینفعانی مانند مدیریت شبکه برق یا توانیر و زیرمجموعه‌های آن اقبال چندانی برای پذیرش فناوری‌های نوین از خود نشان نمی‌دهند. مخصوصاً اینکه به شبکه 5G به عنوان یک زیرساخت مخابراتی نگاه می‌کنند و فقط مساله پهنای باند یا نرخ ارسال بالا را برای آن متصور هستند و دیدگاه‌شان اینست که فناوری مانند فیبر نوری نیز در حال حاضر نیاز آنها را پوشش می‌دهد. بنابراین این کمبود دانش در مورد 5G و اولویت مشکلات دیگر در این مجموعه‌ها می‌تواند یکی از موانع جدی در بکارگیری 5G باشد. همانطور که اشاره شد این چالش به یک مساله اصلی و ریشه‌ای دیگر بر

می‌گردد و آن عدم وجود دانش در سطوح مدیریتی و تصمیم‌گیر است و همانطور که در چالش‌های عمومی بکارگیری 5G نیز اشاره شد پیامد آن جایگزینی فیبر نوری با 5G خواهد بود. بنابراین این نوع چالش‌ها باید به صورت ریشه‌ای و در قالب‌های فرهنگی، مدیریتی و نیروی انسانی حل شوند.

۶-۲-۴- نیروی انسانی

چالش‌های مرتبط با نیروی انسانی در سطح سیاست‌گذاران، تصمیم‌گیران کلان و مدیران صنایع از اهمیت زیادی برخوردار هستند. همچنین این چالش‌ها، به عنوان اصلی‌ترین عوامل بازدارنده درون‌سازمانی شناخته می‌شوند.

موضوع حائز اهمیت دیگر این است که، در بسیاری از حوزه‌های صنعت برق که دارای ادوات و تجهیزات گران‌قیمت هستند، بکارگیری فناوری‌های نوین علاوه بر بهبود کارایی سیستم منجر به عملکرد بهتر و طول عمر بیشتر این تجهیزات می‌شوند، لذا دیدگاه و گرایش نیروی انسانی در به روز رسانی سیستم‌ها اثرات مهمی خواهد داشت.

از آنجا که عملکرد نیروی انسانی به عوامل پویایی چون ایجاد انگیزه، آموزش و پشتیبانی بستگی دارد، در ادامه، به بررسی آن‌ها و تعدادی از چالش‌های مرتبط پرداخته می‌شود:

۱. آموزش نیروی انسانی: این چالش عموماً منجر می‌شود که افراد، در مورد مزایای استفاده از رویکردها و فناوری‌های نوین و چگونگی بکارگیری آنها، آگاهی کافی نداشته باشد. لذا این چالش در دو بخش زیر بروز می‌کند:

- فقدان دانش و آگاهی مدیران ارشد سازمان‌ها و صنایع نسبت به فناوری‌ها و سیستم‌های جدید و فواید بکارگیری آنها، منجر می‌شود که در برابر سرمایه‌گذاری‌های بیشتر برای ورود فناوری‌های نوین مقاومت داشته باشند [۸].

- کمبود کادر آموزش دیده و ماهر در کنار لزوم به روز نگاه داشتن دانش افراد در همه سازمان‌ها و شرکت‌ها منجر می‌شود که برنامه‌های آموزشی مستمر، به عنوان یک استراتژی اصلی مورد توجه قرار داشته باشد. البته محدودیت منابع در یک شرکت، غالباً منجر به کمبود آموزش لازم برای ارتقاء دانش منابع انسانی و مدیران سطوح میانی می‌شود. لذا بکارگیری درست یک فناوری نوین با مشکل مواجه خواهد شد.

۲. ایمنی و پشتیبانی: حمایت از نیروهای انسانی از طریق توجه و پشتیبانی فضای حضور در محل کار و ایمن‌سازی محیط مخصوصاً در شرایط کارخانه‌ها باعث افزایش مشارکت افراد و انگیزه کاری آن‌ها می‌شود.

تعداد بسیار زیاد ادوات متصل و افزایش ربات‌ها و دستگاه‌های خودکار، مباحث ایمنی افراد حاضر در محیط را با اهمیت‌تر ساخته است. از این جنبه، ممکن است یک کارخانه با پیچیدگی کم، با ورود فناوری‌های نوین مقابله کند. اما از طرف دیگر ورود شبکه پر سرعت 5G می‌تواند منجر به بهبود ارتباطات درون سیستم شده و ایمنی را افزایش دهد.

۴-۳- چالش‌های غیر فنی خاص بکارگیری شبکه 5G در صنعت برق

در مواردی که برای چالش‌های غیر فنی عمومی مطرح شد، بسیاری از نکات و مثال‌های خاص از شبکه 5G مطرح شد. اما بجز موارد فوق، چالش‌های غیر فنی خاص دیگری در بکارگیری شبکه 5G در شاخه‌های مختلف صنعت برق استخراج شده‌اند که در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرند:

۴-۳-۱- مصرف برق بالا و مساله کربن‌زدایی

در سال‌های اخیر، به دلیل نگرانی‌های زیست محیطی، علاقه زیادی به کاهش کربن از سوی کشورها نشان داده شده است. شبکه‌های سلولی در سراسر جهان تقریباً ۶۰ میلیارد کیلووات ساعت انرژی در سال مصرف می‌کنند که ۸۰ درصد برق مصرفی در آنها توسط ایستگاه‌های پایه (BTSS) مصرف می‌شود که به ازای آن بیش از صد میلیون تن دی اکسید کربن (CO₂) در سال ساطع می‌شود که اگر اقدامات پیشگیرانه‌ای برای کاهش مصرف انرژی صورت نگیرد، پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۲۰ این رقم دو برابر شود. علاوه بر این، بر اساس قیمت انرژی (در سایر کشورها) هزینه‌های انرژی شبکه‌های سلولی، بار مالی زیادی برای اپراتورها دارد، در نتیجه، شبکه 5G، با توجه به تعداد بسیار زیاد ایستگاه‌های پایه (طراحی مبتنی بر میکروسول و ماکروسول) به شدت نیازمند استحصال انرژی از منابع انرژی تجدیدپذیر مانند خورشید، باد و زمین گرمایی هستند. حال این سوال مطرح می‌شود که این چالش مربوط به اپراتورهاست و ربطی به شبکه برق ندارد ولی در یک نگاه عمیق‌تر می‌توان دریافت که در حال حاضر شبکه برق، در تامین برق همین تعداد مشترک با مشکل روبرو است و از سوی دیگر صنعت برق هنوز به صورت فراگیر، قابلیت استفاده از این مقدار انرژی تجدیدپذیر را فراهم نکرده است بنابراین این چالش می‌تواند به نوعی متوجه شبکه برق باشد که در مقابل فناوری‌هایی که شبکه فرسوده برق را دچار تنش کنند مانند خودرو برقی یا شبکه 5G یا ماینرها (استخراج‌کننده‌های ارزهای دیجیتال) و یا هر فناوری دیگر که مصرف انرژی را افزایش دهد، مقاومت کند. بجز مصرف بالا و کربن‌زدایی، مساله دیگر این است که حتی اگر مصرف‌کننده‌هایی مانند اپراتورهای مخابراتی بخواهند هزینه برق مصرفی خود را پرداخت کنند با توجه به قیمت پایین برق همچنان صنعت برق متضرر خواهد بود. بنابراین صنعت برق قبل از اینکه به 5G به چشم یک فناوری نوین نگاه کند آن را به عنوان یک تهدید برای شبکه برق تلقی

می‌کند. سیاستی که در قبال ماینرها و خودروهای برقی نیز قبل از آن مطرح شده‌اند و در نتیجه آن هیچ‌گاه این تهدیدات به فرصت‌ها تبدیل نشده‌اند.

۲-۳-۴-عدم آینده‌ثباتی فناوری (طول عمر فناوری)

یکی از چالش‌هایی که برای همگرایی IT¹ و OT² در صنعت برق همواره مطرح می‌شود، تفاوت طول عمر فناوری‌های اطلاعاتی و ارتباطی با فناوری‌های شبکه قدرت برق است. به طور متوسط طول عمر یک دارایی قدرت حدود ۱۵ سال تخمین زده می‌شود در صورتی که این عدد برای فناوری‌های ICT حدود ۵ سال می‌باشد. بنابراین یکی از نگرانی‌های صنعت برای بکارگیری این فناوری‌ها تغییر سریع فناوری‌ها در این حوزه است که احتمال می‌دهند پشتیبانی مطلوبی در آینده از سوی اپراتورها صورت نگیرد. البته این چالش شاید خاص 5G نباشد و سایر فناوری‌ها را نیز شامل شود ولی باید توجه داشت که با توجه به پتانسیل‌هایی که 5G برای هوشمندسازی و دیجیتال‌سازی شبکه برق فراهم خواهد نمود نباید صرفاً به آن به عنوان یک زیرساخت ارتباطی نگاه نمود و صنایع عمودی مخصوصاً شبکه هوشمند برق نمی‌توانند به سادگی از این قابلیت‌ها چشم‌پوشی کنند و باید برای استفاده از آن برنامه‌ریزی داشته باشند.

موضوع دیگری که در اینجا مطرح است مساله سیستم‌های قدیمی در صنعت برق است. به عنوان مثال تجهیزاتی در صنعت برق وجود دارند که مبنای عملکرد آنها هنوز آنالوگ است و اگر قرار باشد از یک فناوری مانند 5G استفاده شود لازم است که از یک تجهیز کمکی در کنار آن استفاده شود و یا آن تجهیز را با یک تجهیز دیجیتال تعویض نمود که با توجه به تعداد زیاد این دارایی‌ها در شبکه برق به لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نخواهد بود.

بنابراین این دو چالش نه صرفاً برای بکارگیری 5G بلکه به عنوان عوامل بسیار مهم در کنار مسائل امنیتی و سایر عوامل باعث شده که از شبکه سلولار (3G/4G) استقبال چندانی نشود. ولی ذکر این نکته دوباره قابل اهمیت است که شبکه 5G با 3G/4G به لحاظ ایجاد هوشمندی در شبکه برق بسیار متفاوت است و اگر سیاست‌گذاران تاکنون از این پتانسیل‌ها عبور کرده‌اند شاید در مورد 5G به اجبار نتوانند به سادگی عبور نمایند.

۳-۳-۴-مسائل سلامت و بهداشت

فناوری‌ها باید بر اساس زمینه‌های اجتماعی و فرهنگی در هر جامعه‌ای شکل بگیرد و گرنه محکوم به شکست هستند. مسلماً کاربران، هر فناوری را که موجب نقض پیامدهای سلامتی، هنجارهای اجتماعی، ارزش‌های

¹ -Information technology

² -Operation technology

فرهنگی و حریم خصوصی شوند را رد خواهند کرد. فناوری 5G با توجه به شایعاتی که پیرامون آن است نگرانی‌هایی را برای سلامت کاربران در خصوص تشعشعات ایستگاه‌های پایه (BTSS) رقم زده است. البته این چالش جنبه عمومی دارد ولی اگر قرار باشد که فرکانس‌های موج میلیمتری (بالای ۳۰ گیگاهرتز) و تعداد زیاد آنتن‌های BTS که در هر نقطه‌ای ممکن است نصب شوند برای سلامتی کاربران مضر باشند نه تنها استفاده عمومی از این فناوری را بلکه استفاده از آن در صنایع به عنوان بازیگران مهم در شکل‌گیری اکوسیستم این فناوری را نیز دستخوش تغییرات اساسی خواهد نمود. لذا اگر در آینده این فناوری از طرف مردم و مخصوصاً صنعت به لحاظ پیامدهای بهداشتی (در صورت اثبات) پذیرش نشود، باید مانند برخی از نمونه‌های قبلی کنار گذاشته شود.

۴-۳-۴- عدم شفافیت در مدل کسب و کار

با توجه به تعریف مدل کسب و کار، میزان سرمایه‌گذاری و زمان بازگشت سرمایه برای اپراتورهای مخابراتی هنوز کاملاً مشخص نیست و صنایع عمودی مانند صنعت برق نیز دقیقاً نمی‌دانند که برای استفاده از فناوری 5G چه مقدار باید هزینه کنند و به ازای آن چه میزان سود (فنی و اقتصادی) خواهند برد. لذا زمان زیادی طول خواهد کشید تا مدل همکاری اقتصادی برای طرفین به منظور ایجاد و بهره‌برداری از شبکه 5G استخراج گردد. هرچند انتظار می‌رود که شبکه 5G ضریب هوشمندی شبکه برق را افزایش دهد (اتفاقی که در نسل‌های 4G/3G نیفتاد) ولی با توجه به طول عمر (بیش از ۱۵ سال) و تعداد زیاد دارایی‌ها در شبکه قدرت، هرگونه افزایش قابل توجه هزینه‌های ارتباطی و اطلاعاتی برای شبکه برق قابل توجیه نیست. اپراتورهای مجازی خصوصی ($PVNO^1$) یا شبکه اختصاصی^۲ نمونه راه‌حلی‌هایی بودند که در نسل‌های قبلی از طرف اپراتورها برای صنایع عمودی مانند صنعت برق پیشنهاد شدند ولی در شبکه 5G با توجه به پیچیده‌تر شدن فضای عملکردی برای اپراتورهای مخابراتی و تغییر سریع الگوهای مصرف مشتریان، اپراتورها باید برای کسب ارزش، زنجیره‌های ارزشی متغیر در بازار را دنبال کنند که در این میان مدل‌های کسب و کار باید بر اساس سناریوهای جدید، تغییرات پویا و به روز داشته باشند.

اگرچه در مرحله پنجم این پروژه به تفصیل در مورد مدل‌های همکاری کسب و کار توضیح داده خواهد شد ولی قطعاً عدم شفافیت در این موضوع می‌تواند یکی از چالش‌های غیرفنی خاص بکارگیری 5G در صنعت برق قلمداد شود.

¹ - Private Virtual Network Operator

² - Private dedicated network

۴-۳-۱- مدل کسب و کار شناسایی مدل‌ها

مدل کسب و کار برای شبکه 5G متمرکز بر بازار صنایع عمودی و شاخه‌های گسترده آن از جمله ارتباطات خودروها در شبکه حمل و نقل، شهرهای هوشمند، کارخانه‌ها و شبکه هوشمند انرژی می‌باشد. استخراج یک مدل کسب و کار مناسب برای استفاده صنایع مختلف از سرویس‌های شبکه 5G یک چالش مهم محسوب می‌شود [۱۳].

یکی از نوآوری‌های شبکه 5G را می‌توان ارائه نمونه جدیدی از کسب و کار پلتفرم دانست. این مدل‌ها مبتنی بر اندازه و مقیاس^۱ و در راستای مدل‌های کسب و کار دیجیتال هستند که با مدل‌های موجود و موفق کسب و کار تفاوت‌هایی دارند. شرکت‌هایی مانند NTT مدل‌های B2B2X را ارائه کرده‌اند [۱۴].

نکته دیگر، بحث انتخاب و راه‌اندازی شبکه‌های 5G خصوصی در صنایع است. این شبکه‌ها که با نام شبکه ارتباطی محلی و یا شبکه خصوصی موبایل (MPN)^۲ نیز شناخته می‌شوند، باید همه خصوصیات شبکه عمومی 5G را داشته باشند. یک شبکه 5G خصوصی می‌تواند در آینده به عنوان زیرساخت ارتباطی یک کارخانه یا شرکت منظور شود و مزایای بسیاری را در اختیار سیستم قرار دهد. لذا چالش مهم در این قسمت و از دیدگاه کسب و کار این است که یکی از دو راه‌حل زیر انتخاب شوند [۴]:

۱. اتصال به شبکه 5G عمومی: سرویس‌های عمومی با پرداخت هزینه طیف فرکانسی دارای مجوز و استفاده از خدمات عمومی اپراتورها در اختیار شرکت‌ها قرار می‌گیرند.
۲. ساخت شبکه 5G خصوصی: نیازمندی‌ها و ضرورت‌های حفاظتی خاصی که در صنایعی چون صنعت برق وجود دارد می‌تواند آن‌ها را به سمت ساخت یک شبکه 5G خصوصی سوق دهد. در این نوع از شبکه که مستقل از شبکه عمومی ایجاد می‌شود، از فرکانس‌های بدون نیاز به مجوز استفاده می‌شود اما در مقابل، پرداخت هزینه برای تجهیزات زیرساختی و خدمات پشتیبانی شبکه مورد نیاز است.

۴-۳-۲- حوزه‌های کسب و کار

- راه‌اندازی شبکه 5G می‌تواند ۴ حوزه کسب و کار را فراهم سازد که عبارتند از [۵]:
۱. فراهم‌کنندگان زیرساخت: این گروه از سال‌ها قبل با عنوان اپراتور شبکه موبایل (MNO) شناخته می‌شوند. در شبکه 5G این گروه به دو قسمت تقسیم می‌شوند:
 - فراهم‌کنندگان زیرساخت شبکه رادیویی (RAN): مالک زیرساخت فیزیکی RAN از جمله سایت‌های آنتن و تجهیزات سخت‌افزاری.

¹ Scale

² Mobile Private Networks

• فراهم‌کنندگان زیرساخت ابری: مالک مرکز داده محلی و مرکزی و ارائه‌دهنده منابع مجازی در بخش‌های محاسباتی، ذخیره‌ساز و شبکه.

۲. فراهم‌کننده سرویس‌های موبایل: نهاد فراهم‌کننده سرویس‌های مختلف به کاربران نهایی. همچنین این سرویس‌ها به صورت برش شبکه ممکن است به اجاره‌کننده‌ها داده شود. اگر این فراهم‌کننده سرویس‌های موبایل نهادی مجزا از اپراتور شبکه موبایل باشند، باید منابع مجازی و فیزیکی را از یک اپراتور شبکه موبایل اجاره کنند تا یک شبکه موبایل کامل و انتها-به-انتها را در اختیار داشته باشند.

۳. اجاره‌کننده‌ها: یک واحد کسب و کار که یک ارتباط 5G ارائه شده توسط فراهم‌کننده سرویس موبایل را اجاره می‌کند. این واحد می‌تواند یک برش شبکه را اجاره کند و به صورت یک شبکه ارتباطی و یا سرویس‌های کسب و کار ارائه دهد. سرویس شبکه خصوصی 5G نیز در این بخش عرضه می‌شود.

۴. کاربران نهایی: تعریف این کاربران بر اساس مدل کسب و کار معین می‌شود.

۳-۴-۳-۴- هزینه‌ها

یک مدل عملی از کسب و کار باید هزینه‌ها را در دو بخش پوشش دهد:

۱. هزینه طیف فرکانسی: طیف فرکانسی 5G در دو بازه کمتر از ۶ گیگاهرتز و بیشتر از آن تعریف شده است. با توجه به ویژگی‌های متفاوت باندهای فرکانسی شبکه 5G، اختصاص بخشی از باندها متناسب با نوع و نیاز یک شرکت از سرویس‌های شبکه خواهد بود.

هزینه گسترش شبکه: پیاده‌سازی اولیه و موفق شبکه 5G گسترش آن را در باندهای موج میلیمتری به دنبال خواهد داشت و به این ترتیب نیازهای رو به رشد برای ظرفیت بیشتر ارسال داده پاسخ داده خواهد شد.

۴-۴-۴- جمع‌بندی

در حالیکه کاربرد اصلی شبکه‌های نسل سوم و چهارم موبایل، ارتباطات بین انسان‌ها بوده است؛ شبکه نسل پنجم به عنوان یک نوآوری تحول‌آفرین و با کاربردهای نوین، یک بازار برای مشترکین صنعتی را فراهم می‌آورد. 5G در کنار مسائل چالش‌برانگیز، مزایای بسیار زیادی برای صنایع مختلف خواهد داشت. نکته اساسی که باید بدان توجه داشت این است که استفاده از مزایای 5G در طول زنجیره تأمین میسر نخواهد شد مگر اینکه از این فناوری، در لایه‌های مختلف اعم از درون و برون سازمان استفاده شود. بنابراین در صورت توسعه زیرساخت‌های این فناوری در لایه‌های فوق می‌توان به میزان زیادی هزینه‌ها را کاهش داد و به یکپارچگی و هماهنگی در زنجیره تأمین کمک نمود.

شبکه هوشمند به عنوان یکی از صنایع مهم، گسترده و پیشرو، یکی از مشتریان اصلی سرویس‌های شبکه 5G خواهد بود. با توجه به اهمیت خاص مسایل امنیتی در ارتباطات شبکه هوشمند، فقدان اعتماد سطوح مدیریتی

صنعت برق به امنیت ارتباطات در شبکه‌های نوین مخابراتی، باعث ایجاد مشکلات در برنامه‌ریزی، طراحی و پیاده‌سازی این سیستم‌ها شده است.

در کشور ما اگرچه صنعت برق همواره با مطالعات و اجرای پروژه‌های نوین، در استفاده از علوم ارتباطی در سطح مطلوبی قرار داشته است اما مشکلات ناشی از مسائل اقتصادی، سیاسی و تحریم بر دسته‌های فوق افزوده شده و پیچیدگی کار را بیشتر کرده‌اند.

در یک نگاه کلی، تغییر و جایگزینی یک سیستم موجود با یک فناوری نوین و یا استقرار سرویس‌های نوظهور همواره با چالش‌هایی همراه است که در این میان، برخی از چالش‌های غیرفنی (که ممکن است اهمیت آن‌ها از نگاه برنامه‌ریزان در سطوح خرد و کلان دور بماند) می‌توانند بسیار تأثیرگذار و مهم باشند.

در این گزارش، به مطالعه و شناسایی چالش‌های غیرفنی بکارگیری 5G در شبکه هوشمند و دسته‌بندی آن‌ها از دیدگاه مسائل مشترک پرداخته شده است. این دسته‌بندی‌ها در دو گروه چالش‌های غیرفنی عمومی و یا مخصوص بکارگیری 5G ارائه شده‌اند. چالش‌های غیرفنی عمومی در ۶ گروه طبقه‌بندی شده‌اند که عبارتند از: چالش‌های سیاستی و قانون‌گذاری، مدیریتی، بهره‌برداری و اجرایی، اقتصادی، فرهنگی و عمومی و چالش‌های مرتبط با نیروی انسانی.

به عنوان یک جمع‌بندی از چالش‌های غیرفنی استخراج شده برای کاربرد شبکه 5G در شبکه هوشمند در این گزارش، جدول ۵-۱ چالش‌ها و زیرشاخه‌های هریک را نشان می‌دهد.

جدول ۵-۱ چالش‌های غیرفنی و موارد استخراج شده برای کاربرد شبکه 5G در شبکه هوشمند

عمومی	سیاستی و قانون گذاری	• عدم اطمینان قانون گذار از کاربردهای نوظهور • عدالت در استفاده از فرکانس • عدم انحصار در ورود و گسترش اپراتورها • عدم انحصار در بازار صنایع • کاهش ریسک سرمایه گذاری • قانون گذاری بر اساس سرعت زیاد بازار صنعتی • نظارت بر اجرای قوانین امنیتی • تعیین سطح هوشمندی شبکه برق • اولویت‌های هوشمندسازی در حوزه‌های صنعت برق • سیاست گذاری غیر همسو • تعیین الزامات اجرای نمونه آزمایشگاهی • قوانین حقوقی و قراردادی
	مدیریتی	• آگاهی از سطح بلوغ و پیاده سازی علوم نوین • احاطه بر چالش‌های صنعت • انتخاب فناوری و سرویس مناسب • تطابق با سیستم موجود • شفافیت برنامه مهاجرت اپراتورها • تسهیل فرایند انتقال فناوری در سطح قانون گذاران دولتی • تسهیل فرایند انتقال فناوری در سطح مدیران صنعتی • طراحی ساختار مناسب • انتخاب بهترین مدل کسب و کار • مدیریت دارایی‌ها • قرارداد مناسب • ثبات نگرش مدیریتی • کمبود نیروی متخصص



مصرف برق بالا و مساله کربن‌زدایی

- تعدد بیشمار ایستگاه‌های پایه و مصرف بالای برق توسط ایستگاه‌های پایه
- افزایش مشکل تامین برق و نیازمند استحصال انرژی از منابع انرژی تجدیدپذیر

عدم آینده‌ثباتی فناوری (طول عمر فناوری)

- طول عمر طولانی تر فناوری های شبکه برق نسبت به فناوری مخابراتی
- وابستگی بالای شبکه هوشمند آتی به فناوری های نوین مخابراتی من جمله 5G

مسائل سلامت و بهداشت

- استفاده از امواج میلی متری در 5G و تبعات آن برای سلامت بشر
- تعداد بالای ایستگاه‌های پایه در شبکه 5G و اثرات الکترومغناطیسی بر سلامتی

عدم شفافیت در مدل کسب و کار

- مدل کسب و کار شناسایی مدل‌ها
- حوزه‌های متفاوت کسب و کار

۵-۴- ملاحظات و پیشنهادات

از دید ملاحظات به کارگیری فناوری‌های نوین ارتباطی در صنعت برق کشورهای در حال توسعه لازم به ذکر است که در یک کشور در حال توسعه، زیرساخت‌های لازم برای ورود و یا گسترش بسیاری از فناوری‌های نوین توسعه پیدا نکرده و این امر باعث محدودیت و کاهش سرعت پیاده‌سازی آن‌ها می‌شود. فقدان زیرساخت فناوری و حمایتی دولتی و همچنین فقدان استانداردهای ملی در این زمینه و از عوامل بازدارنده برون‌سازمانی است. از این رو به منظور بکارگیری و اجرای شبکه نوین 5G در کشورهای با سطح درآمد کم و یا متوسط، باید به نکات زیر توجه داشت [۷]:

۱. تصمیم‌گیری در سطح کلان این کشورها با توجه به قابلیت زیاد توسعه‌پذیری بازار و همچنین عدم شفافیت‌های مالی و قراردادی، بسیار پیچیده‌تر است.

۲. اطمینان از بازگشت سرمایه بسیار کم است. در حقیقت ریسک بالای سرمایه‌گذاری و انجام پروژه‌های کلان باعث می‌شود که متقاضیان کمی برای شروع این فعالیت‌ها اقدام نمایند. لذا انحصار در ورود به این حوزه‌ها نیز می‌تواند مشکلات متعدد دیگری را به دنبال داشته باشد.

۳. درس‌هایی که از تجربه سرمایه‌گذاری کشورهای پیشرفته و نحوه اجرا و توسعه شبکه 5G وجود دارد می‌تواند بسیار مفید باشد.

۴. در کشورهای در حال توسعه، سرمایه‌گذاری و ورود به فعالیت‌های گسترده‌ای چون اجرا و بهره‌برداری از شبکه 5G نیاز دارد که پارامترهای ناشناخته‌ای مورد مطالعه قرار گیرند از جمله: سطح تقاضا برای شبکه 5G، تخمین هزینه‌ها، چالش‌های فنی و پیچیدگی‌های اجرایی.

در مجموع، موارد فوق نه تنها برای اجرای شبکه 5G در این کشورها بازدارنده نیستند بلکه برعکس، می‌توانند به عنوان عوامل پیشرو منجر به پیاده‌سازی موفق این فناوری شده و رشد اقتصادی را به همراه داشته باشند. با رعایت ملاحظات مذکور، و همان‌طور که در بخش چالش‌های سیاستی و قانون‌گذاری مطرح شد، برنامه‌ریزی یک صنعت در بکارگیری فناوری‌های نوین ارتباطی به یک طرح جامع نیاز دارد. بر اساس بررسی‌های انجام شده در این گزارش و مراجعی مانند [۸]، پیشنهاد می‌شود که در انتهای این پروژه، نقشه راه اجرایی بکارگیری شبکه 5G در صنعت برق کشور، در چهار فاز تدوین گردد. فازهای اجرای طرح عبارتند از:

فاز اول: شناخت وضع موجود

شناخت وضعیت و شرایط موجود در قالب تهیه مجموعه مناسبی است که وضعیت موجود حوزه‌های صنعت برق را اعم از فرایندهای بکار رفته تا زیرساخت‌های فناوری توصیف و مستند می‌سازد تا زمینه لازم برای حرکت به سمت یک هدف و اندازه‌گیری میزان پیشرفت را فراهم نماید.

فاز دوم: ترسیم وضعیت مطلوب

بررسی‌های این فاز باید چشم‌اندازی از آینده عملیات کاری و فناوری‌های حمایت‌کننده از آن‌ها را ارائه نماید. در واقع هر صنعت پیشرو، به یک نگاه درازمدت و همسو با برنامه‌ریزی راهبرد مأموریتی سازمان یا حوزه صنعتی نیازمند است. به منظور آگاهی از بهترین تجربیات موجود در سطح جهان نیز لازم است وضعیت صنایع مشابه از حیث چگونگی بهره‌برداری از فناوری 5G مطالعه شود.

فاز سوم: تهیه برنامه انتقال از وضعیت موجود به وضعیت مطلوب

برنامه انتقال، سندی است که راهبرد و برنامه زمانی لازم برای انتقال سازمان به وضع مطلوب را نشان می‌دهد. به عبارت دیگر این برنامه، یک فرایند توسعه بر اساس پتانسیل‌های سازمان اعم از نیروی انسانی، فنی، مالی و پشتیبانی را تعریف می‌کند.

فاز چهارم: تدوین برنامه عملیاتی و اجرایی

با تهیه درخواست برای ارائه پیشنهاد (RFP) پروژه‌های اولویت‌دار، یکپارچگی، هماهنگی و انسجام اطلاعاتی در زیربخش‌های صنعت برق دنبال می‌شود و پس از آن هر سازمان بر اساس محدودیت‌های خود به پیاده‌سازی و اجرای پروژه اقدام می‌کند. پس از اقدامات اولیه، اجرای فناوری وارد چرخه بازنگری، تصحیح و اخذ تأیید نهایی شده و در نهایت به تأیید و تصویب آن می‌انجامد.

۴-۶- مراجع فصل چهارم

ADDIN ZOTERO_BIBL {"uncited":[],"omitted":[],"custom":[]} CSL_BIBLIOGRAPHY
 [1]M. Suryanegara, "5G as Disruptive Innovation: Standard and regulatory challenges at a country level," *Int. J. Technol.*, vol. 7, no. 4, pp. 635–642, 2016.

[۲] "نواوری تحول آفرین یا اساسی چگونه ایجاد می‌شود؟"، پدیده فکر مهتر، ۱۳۹۴.

<https://cstland.com/disruptive-innovation-نوآوری-تحول-آفرین-و-اساسی/>.

[3]S. Palekar, K. Weerasinghe, and D. Sedera, "Disruptive innovation of mobile communication apps," *Proc. 24th Australas. Conf. Inf. Syst.*, Jan. 2013.

[4]E. O'Connell, D. Moore, and T. Newe, "Challenges Associated with Implementing 5G in Manufacturing," *Telecom*, vol. 1, no. 1, Art. No. 1, Jun. 2020, doi: 10.3390/telecom1010005.

[5]"5G Demand and Future Business Models towards a Feasible 5G Deployment," *Malta Communications Authority*, May 31, 2019. <https://www.mca.org.mt/consultations-decisions/5g-demand-and-future-business-models-towards-feasible-5g-deployment>.

[6]A. Y. Ding and M. Janssen, "Opportunities for applications using 5G networks: requirements, challenges, and outlook," Oct. 2018, pp. 27–34, doi: 10.1145/3278161.3278166.

[7]S. Forge and K. Vu, "Forming a 5G strategy for developing countries: A note for policy makers," *Telecommun. Policy*, vol. 44, no. 7, p. 101975, Aug. 2020, doi: 10.1016/j.telpol.2020.101975.

[۸] "چالش‌ها و موانع اجرای طرح‌های جامع فناوری اطلاعات و ارتباطات در سازمان‌ها"، پرتال جامع علوم

انسانی

<http://ensani.ir/fa/article/369217/>

[9]T. Khalil, *Management of Technology*. Tata McGraw Hill Education Private Limited, 2009.

[10]I. Mesogiti *et al.*, "Network Services SLAs over 5G Infrastructure Converging Disaggregated Network and Compute Resources," in *2018 IEEE 23rd International Workshop on Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD)*, Sep. 2018, pp. 1–5, doi: 10.1109/CAMAD.2018.8514989.

[11]N. Yarkina, Y. Gaidamaka, L. M. Correia, and K. Samouylov, "An Analytical Model for 5G Network Resource Sharing with Flexible SLA-Oriented Slice Isolation," *Mathematics*, vol. 8, no. 7, Art. No. 7, Jul. 2020, doi: 10.3390/math8071177.

[۱۲] "نسل پنجم شبکه‌های ارتباطی: الزامات و فرصت‌های پیش رو"، وحید عابدی فر، رقیه جدا، نشر عقل

سرخ، ۱۳۹۸.

"5G Business Models: Evolving Mobile Network Operator Roles in New Ecosystems - [13] IEEE Conference Publication." <https://ieeexplore.ieee.org/document/8894822>.

[14]"5G Platform Business is not only a technology challenge," *TM Forum Inform*, Jun. 30, 2017. <https://inform.tmforum.org/sponsored-feature/2017/06/5g-platform-business-not-technology-challenge/>.

[۱۵] ق. ز. آذر and خ. زهرا، "چالش‌های فرهنگی فناوریهای نوین ارتباطی"، همایش ملی صنایع فرهنگی

نقش آن در توسعه پایدار، ۱۳۹۰.

[Online] Available: https://www.civilica.com/Paper-NCCIRSD01-NCCIRSD01_067.html. چالش‌های فرهنگی-فناوریهای-نوین-ارتباطی=

[۱۶] "نتایج پژوهشی چالش‌های فرهنگی اجتماعی فناوری‌های جدید ارتباطی، معیار برابری اجتماعی چیست؟"، همشهری آنلاین، ۱۳۹۸.

نتایج-پژوهشی-چالش-های-فرهنگی-اجتماعی-<https://www.hamshahrionline.ir/news/448874/>-فناوری-های-جدید-ارتباطی.

[17] L. U. Khan, I. Yaqoob, N. H. Tran, Z. Han and C. S. Hong, "Network Slicing: Recent Advances, Taxonomy, Requirements, and Open Research Challenges," IEEE Access

پیوست‌های فاز چهارم

پیوست الف – کیفیت سرویس و شاخص ارزیابی آن

ساختار و معماری مشخص شده در استاندارد 3GPP برای کیفیت سرویس شبکه نسل چهارم با شبکه نسل پنجم متفاوت هست. در نسل چهارم، کیفیت سرویس مبتنی بر bearer هست که در آن نگاشت یک‌به‌یک بین EPS bearer، bearer رادیو، bearer واسط S1 (واسط بین eNB و S-GW) برقرار می‌شود (سمت چپ شکل الف-۱). لکن در شبکه نسل پنجم، کیفیت سرویس مبتنی بر flow هست. QoS flow ریزترین واحد برای اعمال سیاست‌گذاری و قوانین شارژ هست.

در استاندارد LTE (موبایل نسل چهارم 3GPP) EPS bearer با شناسه EBI¹ شناسایی می‌شوند. در شبکه نسل پنجم، هر QoS flow با یک شناسه QFI تعیین می‌شود. این شناسه، تجهیزات شبکه را از Flow نگاشت شده به جریان داده سرویس مطلع می‌سازد. در جدول الف-۱ تفاوت واژه‌نگاری پارامترهای کیفیت سرویس در 4G و 5G ارائه شده است [۱]. تفاوت دیگری که در موبایل نسل پنجم نسبت به نسل چهارم وجود دارد معرفی مفهوم جدید کیفیت سرویس انعکاسی^۲ در کنار مفاهیم قدیمی تر flow با نرخ بیت ضمانت شده^۳ (GBR) و flow بدون ضمانت نرخ بیت^۴ (non-GBR) هست.

جدول الف-۶ تفاوت واژه‌نگاری پارامترهای کیفیت سرویس در 4G و 5G

پارامتر	5G	4G LTE
IP flow: فلوی ارتباط ترمینال یا گوشی به واحد UPF/P-GW	QoS flow	EPS Bearer
شناسه Flow یا Beare	QFI	EBI
شناسه کیفیت سرویس	5QI	QCI
شناسه کیفیت سرویس انعکاسی	RQI	-

زمانی که یک ترمینال یا گوشی هوشمند تلاش می‌کند تا با یک شبکه داده ارتباط برقرار کند ابتدا یک نشست PDU تنظیم می‌شود. ترمینال یا گوشی ممکن است بخواهد در این ارتباط ایمیل چک کند یا از browser

¹ EPS bearer Identifier

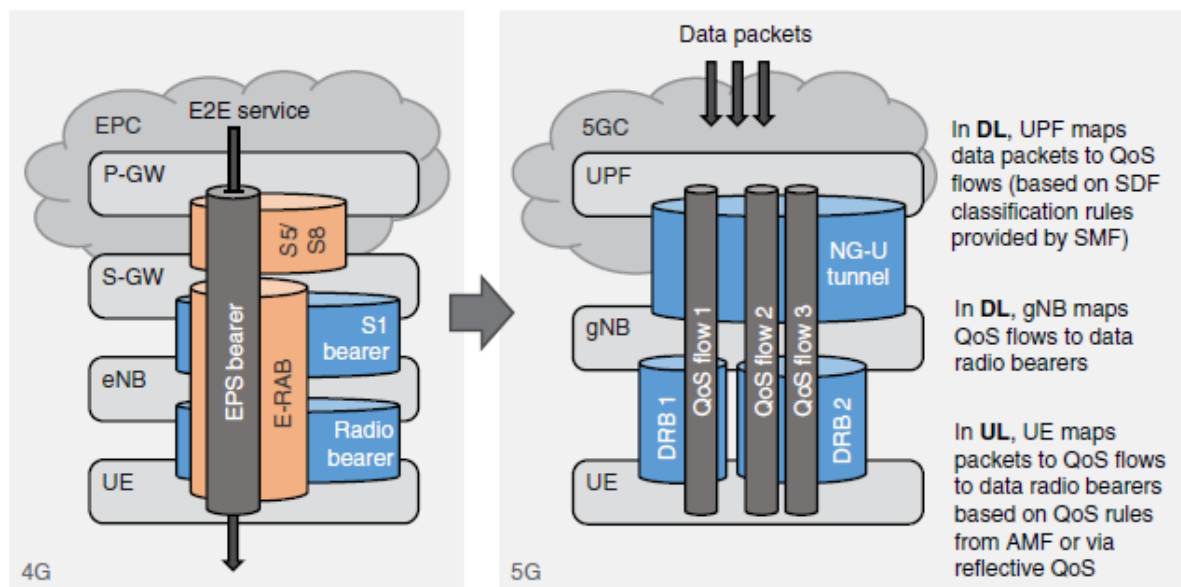
² Reflective QoS

³ Guaranteed Bit Rate Flow

⁴ Non-Guaranteed Bit Rate Flow

استفاده کند یا اپلیکیشن دیگری را چک نماید در هر حال تمام این ارتباط‌ها از طریق همان نشستی که در ابتدا تنظیم شده است برقرار خواهد شد. لکن هر تبادلات داده به یک flow داده انتها به انتها احتیاج خواهد داشت که جریان داده سرویس^۱ (SDFها) نامیده می‌شود. جریان‌های داده سرویس در صورتی که قوانین شارژ و سیاست‌گذاری‌های یکسانی را دنبال کنند می‌توانند به سطح یکسانی از QoS flow نگاشته شوند و با هر نوع ترافیکی که دارای سطح QoS flow مشابه باشند در شبکه به‌طور یکسان رفتار خواهد شد.

برای هر نشست PDU، بین ایستگاه Node-B و تابع سطح کاربری که واسط N3 نامیده می‌شود، یک تونل NG-U (پروتکل GTP-U در پشته پروتکلی واسط N3) تشکیل می‌شود. چندین فلوی کیفیت سرویس می‌توانند به یک تونل نگاشته شوند. به‌عنوان مثال در سمت راست شکل الف-۱، سه فلوی کیفیت سرویس به یک تونل در واسط N3 نگاشته شده‌اند و این سه فلو به دو DRB در واسط رادیویی نگاشته شده‌اند. لازم به ذکر است که در نسل پنجم در پشته پروتکلی واسط هوایی 3GPP در سطح کاربری، بالای پروتکل PDCP، پروتکل جدید تطابق داده سرویس (SDAP) معرفی شده است تا فلوهای QoS را به bearer رادیویی نگاشت می‌کند و فلوهای QoS را در packet‌های فراسو و فروسو نشانه‌گذاری می‌کند [۲].



شکل الف-۱ معماری ارائه شده در استاندارد 3GPP برای کیفیت سرویس شبکه نسل چهارم با شبکه نسل پنجم

در شبکه نسل پنجم، هر QoS flow ای توسط یک پروفایل کیفیت سرویس و قوانین کیفیت سرویس مشخص می‌شود؛ پروفایل کیفیت سرویس برای ارتباطات بین شبکه هسته و شبکه دسترسی ایجاد می‌شود و برای ارتباطات بین شبکه هسته و ترمینال یا گوشی موبایل، قوانین کیفیت سرویس ایجاد می‌شود و هر QoS flow در ترمینال یا در ایستگاه Node-B با توجه به قوانین کیفیت سرویس به DRB ها نگاشته می‌شود. این DRB ها رفتار واسط رادیویی با بسته داده را تعریف می‌کنند.

¹ Service Data Flows

این پروفایل، ویژگی‌ها و خصوصیات کیفیت سرویس را با شناسه 5QI¹ و پارامتر اولویت و نگهداری ARP² تعیین می‌کند [۳].

پارامتر کیفیت سرویس در استاندارد موبایل نسل پنجم دارای مقادیر متنوعی می‌باشد؛ جدول الف-۲، ویژگی‌های کیفیت سرویس که توسط شناسه 5QI تعیین شده مطابق استاندارد 3GPP TS 23.501 ارائه شده است؛ در مقایسه با نسل‌های پیشین، تعدد شناسه‌های کیفیت سرویس در شبکه نسل پنجم به‌طور قابل توجهی افزایش یافته است. همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد علاوه بر پارامتر 5QI، پارامتر ARP نیز در پروفایل کیفیت سرویس تأثیرگذار است؛ این پارامتر، سطح اولویت را نشان می‌دهد و اینکه آیا flow کیفیت سرویس موردنظر می‌تواند بر فلوهای دیگر پیش‌دستی کند و یا اینکه توسط فلوهای دیگر عقب رانده شود. همچنین این پارامتر برای کنترل پذیرش فلو به کار گرفته می‌شود.

برای اطمینان از کیفیت سرویس برای موارد مصرف در معماری شبکه موبایل نسل پنجم، برش شبکه انتها به انتها تعریف شده است، برش شبکه، ایجاد شبکه مجازی را فعال می‌سازد تا بتوان منابع مجازی انتها به انتها را به‌طور پویا اختصاص داده و به عملکرد مشخص برای سرویس دست‌یافت. سرویس‌هایی که از برش شبکه با اولویت بالاتر استفاده می‌کنند نسبت به سایر سرویس‌ها از اولویت بالاتری برخوردار خواهند بود و در شرایطی که منابع محدود می‌باشد نسبت به سایرین حق تقدم خواهند داشت. بنابراین به‌طور تئوری می‌توان از کیفیت سرویس بالاتر اطمینان یافت. لازم به ذکر است که ریزدانگی هر برش شبکه در نسل پنجم در سطح نشست PDU می‌باشد؛ بنابراین پروفایل‌های کیفیت سرویس متفاوتی می‌توانند در یک برش به کاربرده شوند؛ همچنین هر گوشی یا ترمینال می‌تواند نشست‌های PDU منطبق بر حداکثر ۸ برش مختلف داشته باشد درحالی‌که تنها یک ارتباط سیگنالینگ واحد (با RRC مرتبط) به آن اختصاص داده می‌شود. برش‌های مختلف به توابع UPF و SMF مختلف نگاشته می‌شوند و فقط یک تابع AMF برای گوشی یا ترمینال انتخاب می‌شود. انتخاب تابع AMF بر اساس اطلاعات کمکی انتخاب برش شبکه (NSSAI) می‌باشد و بر اساس تعاملات تابع انتخاب برش شبکه (NSSF) و NSSAI می‌تواند تغییر داده شود.

شناسه NSSAI از دو بخش تشکیل شده است: بخش نوع سرویس/ برش (SST) که نشان‌دهنده نوع سرویس می‌باشد؛ سرویس eMBB، URRLC و MIoT در این بخش معلوم می‌شوند. بخش دوم جداسازی برش‌های شبکه را با شناسه SD انجام می‌دهد و بنابراین برش‌های با نوع یکسان از یکدیگر قابل تمایز می‌باشند.

سیاست‌گذاری مدیریت منابع رادیویی بر روی برش‌های شبکه اعمال می‌شود؛ ایزولاسیون و جداسازی منابع بر روی برش‌های شبکه اعمال می‌شود به‌نحوی که نقصانی در یک برش بر روی برش‌های دیگر تأثیری نداشته باشد.

¹ 5G QoS Identifier

² Allocation and Retention Priority

توجه به این نکته ضروری است که برخی از برش‌های شبکه ممکن است فقط در یک بخشی از شبکه در دسترس باشند که این می‌تواند در به‌کارگیری سرویس برای موارد مصرف صنعت برق لحاظ شود. جداسازی ترافیک در شبکه نسل پنجم بر اساس شناسه 5QI، شناسه NSSAI و شبکه موبایل PLMN انجام می‌شود[۴].

از لحاظ عملکرد توابع شبکه در شبکه نسل پنجم، تابع SMF مدیریت نشست PDU و flowهای کیفیت سرویس را بر عهده دارد و بر اساس اطلاعاتی که از تابع کنترل سیاست‌گذاری PCF به دست می‌آورد برای هر فلو، پروفایل کیفیت سرویس و شناسه QFI تخصیص می‌دهد. تابع مدیریت نشست SMF سپس قوانین آشکارسازی بسته‌های داده (PDR) را برای تابع UPF ایجاد می‌سازد تا جریان داده سرویس به درستی به flow کیفیت سرویس نگاشته شود. همچنین تابع SMF، پروفایل کیفیت سرویس را به ایستگاه بعدی Node-B (یا همان gNB) ارسال می‌کند تا flow کیفیت سرویس 5G در واسطه رادیو به Bearer رادیویی داده (DRB) نگاشته شود. تابع مدیریت دسترسی و تحرک پذیری (AMF) نیز قوانین کیفیت سرویس را به ترمینال منتقل می‌کند تا در نگاشت جریان داده سرویس به flow کیفیت سرویس و DRB مؤثر باشد. در مجموع می‌توان گفت که در شبکه نسل پنجم موبایل، چگونگی تعیین کیفیت سرویس و اعمال آن ارتقا یافته است و توابع کنترل سیاست‌گذاری (PCF)، مدیریت سرویس (SMF)، مدیریت دسترسی و تحرک‌پذیری (AMF)، تابع سطح کاربری (UPF) و ترمینال یا گوشی موبایل همگی در اعمال الزامات کیفیت سرویس مشارکت دارند و باهم کار می‌کنند[۳].

کیفیت سرویس با پایش شاخص‌های عملکرد کلیدی (KPIها) که در شبکه اندازه‌گیری می‌شوند ارزیابی می‌شود[۵]؛ مجموعه‌ای از مهم‌ترین پارامترهای اجرای سیستم مخابراتی یا زیرسیستم‌ها به‌عنوان KPI شناخته می‌شود. در حالت کلی مجموعه KPIها می‌توانند بسیار متعدد باشد لکن اپراتورهای مخابراتی، همواره برای نحوه استفاده از آن‌ها و نگه‌داشتن مطابقت خود با این معیارها ممارست می‌نمایند. استفاده از KPI در اپراتورها به مقاصد زیر می‌باشد:

- نیازمندی برای تعریف و پیاده‌سازی سیستم
- بررسی عملکرد مناسب زیرسیستم/سیستم یا زیرشبکه/شبکه
- تعریف نیازمندی مشتریان و تعهدات تأمین‌کننده سرویس به‌عنوان بخشی از قرارداد سطح سرویس (SLA)

- مقایسه عملکرد سازنده یا تکنولوژی مشخص

در مواردی که یک سیستم از زیرسیستم‌های متعددی تشکیل شده باشد عملی شدن KPIهای برای زیرسیستم‌ها می‌تواند در عملی کردن KPI کل سیستم مؤثر باشد. KPIهای انتها به انتها عموماً باکیفیت تجربه (QoE) در ارتباط می‌باشد. برخی از KPIها استاندارد شده می‌باشند درحالی‌که برخی دیگر خاص اپراتور

هستند؛ در کل استاندارد شدن KPI ها بسیار مطلوب هست و نهادهای توسعه استاندارد زیادی مانند ITU-T، ETSI، 3GPP و GSMA برای برخی از موارد، KPI مرجع معرفی نموده‌اند.

در شبکه مخابراتی، KPI ها ممکن است برای بخش‌های مختلف شبکه، لایه‌ها و مکانیزم‌های مختلف، فعالیت‌ها یا سرویس‌ها به کار گرفته شود. در شبکه موبایل، KPI می‌تواند مرتبط باکیفیت شبکه انتقال، front-haul، شبکه رادیویی، عملیات سطح کنترل (مانند زمان اجرای handover یا زمان اتصال کاربر)، بازدهی سطح کاربری باشد.

شاخص KPI عموماً توسط سیستم‌های پایش شبکه یا سرویس محاسبه می‌شوند ولی در برخی موارد سیستم مدیریت ممکن است توانایی ضمانت KPI خاص را داشته باشد. بنابراین برخی از KPI ها ممکن است توسط سیستم مدیریت شبکه معرفی شود؛ زمان رسیدگی به خطا در سیستم یکی از این موارد است.

جدول الف-۷ نگاشت ویژگی‌های کیفیت سرویس در شناسه 5QI

5QI Value	Resource Type	Default Priority Level	Packet Delay Budget	Packet Error Rate	Default Maximum Data Burst Volume (NOTE 2)	Default Averaging Window	Example Services
1	GBR NOTE 1	20	100 ms	10^{-2}	N/A	2000 ms	Conversational Voice
2		40	150 ms	10^{-3}	N/A	2000 ms	Conversational Video (Live Streaming)
3		30	50 ms	10^{-3}	N/A	2000 ms	Real Time Gaming, V2X messages Electricity distribution – medium voltage, Process automation - monitoring
4		50	300 ms	10^{-6}	N/A	2000 ms	Non-Conversational Video (Buffered Streaming)
65		7	75 ms	10^{-2}	N/A	2000 ms	Mission Critical user plane Push To Talk voice (e.g., MCPTT)
66		20	100 ms	10^{-2}	N/A	2000 ms	Non-Mission-Critical user plane Push To Talk voice
67		15	100 ms	10^{-3}	N/A	2000 ms	Mission Critical Video user plane
75		25	50 ms	10^{-2}	N/A	2000 ms	V2X messages
5	Non-GBR NOTE 1	10	100 ms	10^{-6}	N/A	N/A	IMS Signalling
6		60	300 ms	10^{-6}	N/A	N/A	Video (Buffered Streaming) TCP-based (e.g., www, e-mail, chat, ftp, p2p file sharing, progressive video, etc.)
9		90					
69		5	60 ms	10^{-6}	N/A	N/A	Mission Critical delay sensitive signalling (e.g., MC-PTT signalling)
70		55	200 ms	10^{-6}	N/A	N/A	Mission Critical Data (e.g. example services are the same as QCI 6/8/9)
79		65	50 ms	10^{-2}	N/A	N/A	V2X messages
80		68	10 ms	10^{-6}	N/A	N/A	Low Latency eMBB applications Augmented Reality
81	Delay Critical GBR	11	5 ms	10^{-5}	160 B	2000 ms	Remote control (see TS 22.261 [2])
82		12	10 ms NOTE 5	10^{-5}	320 B	2000 ms	Intelligent transport systems
83		13	20 ms	10^{-5}	640 B	2000 ms	Intelligent Transport Systems
84		19	10 ms	10^{-4}	255 B	2000 ms	Discrete Automation
85		22	10 ms	10^{-4}	1358 B NOTE 3	2000 ms	Discrete Automation

نکته قابل توجه این است که KPI می‌تواند مبتنی بر شبکه یا مبتنی بر کاربر باشد. در راستای به کارگیری شبکه موبایل در کاربردها و موارد مصرف صنعت برق، اطلاع از شاخص‌های ارزیابی انتها به انتهای شبکه و سرویس که مبتنی بر کاربر می‌باشند اهمیت می‌یابد. از این رو، در ادامه، آن دسته از شاخص‌های ارزیابی شبکه که برای این منظور استاندارد شده یا توسط اپراتورها تعریف شده‌اند مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

همچنین در مدل‌های کسب و کار نوین مطرح شده در شبکه موبایل نسل پنجم، ممکن است صنایع به عنوان تأمین کننده شبکه مخابراتی اقدام به اجاره زیرساخت از مالک زیرساخت شبکه نمایند که در این صورت، شاخص‌های ارزیابی مبتنی بر شبکه که برای ارزیابی زیرسیستم‌ها و توابع شبکه تعریف یا استاندارد شده‌اند باید مورد بررسی قرار گیرند.

در گزارش مرجعی که توسط GSMA منتشر شده است [۶] با تجمیع استانداردهای مرتبط در ITU-T, ETSI و 3GPP، قالب کاری برای ارزیابی سرویس نسل‌های دوم/ سوم و چهارم در چهار لایه ارائه شده است:

- در دسترس بودن شبکه
- دسترس پذیری شبکه
- لایه سرویس عمومی شامل دسترس پذیری سرویس، یکپارچگی سرویس و قابلیت نگهداری سرویس
- لایه سرویس خاص شامل گروهی از پارامترهایی که برای سرویس‌های مخابراتی متفاوت (مثل پیامک، تماس صوتی، وبگردی)، متداول هستند

برای تعیین ملاک‌های ارزیابی شبکه و کیفیت سرویس نسل پنجم تلاش‌های زیادی در جریان است. روش‌های موجود عمدتاً فقط با بخشی از سیستم کلی در ارتباط هستند. روش‌های ارزیابی سرویس عموماً بر نیازمندی‌ها و ویژگی‌ها شبکه موبایل نسل پنجم که توسط ITU-T تعریف شده متمرکز هست.

NGMN [۲] اخیراً توصیه‌هایی را برای شاخص‌های KPI در شبکه نسل پنجم منتشر کرده که این شاخص‌ها برای شبکه دسترسی رادیویی طرح شده است؛ مواردی از قبیل پهنای باند، مقیاس پذیری پهنای باند، تأخیر سطح کنترلی، تأخیر سطح کاربر، حداکثر نرخ داده، حداکثر بازدهی طیفی، جزو این موارد هست. همچنین 3GPP در سند 3GPP TS 28.554، برای شاخص‌های KPI که مرتبط با برش شبکه می‌باشد موارد ذیل را مشخص نموده است [۳]:

- KPI‌های دسترس پذیری شامل مشترکین ثبت شده و نرخ موفقیت ثبت در هر نمونه برش شبکه
- یکپارچگی KPI ها شامل تأخیر انتها به انتهای در شبکه موبایل نسل پنجم، نرخ گذردهی (throughput) لینک فراسو و فروسو برای هر نمونه برش شبکه و برای واسط N3 (بین ایستگاه gNodeB و تابع سطح کاربری)، شبکه دسترسی رادیویی و نرخ گذردهی تجهیز کاربر (گوشی یا مودم)
- KPI‌های مصرف و استفاده شبکه شامل تعداد متوسط نشست‌های PDU برای هر برش شبکه و میزان استفاده از منابع مجازی شده در هر برش شبکه

همچنین 3GPP در سند TS28.552 3GPP به موضوع اندازه‌گیری کارایی 5G در توابع به‌طور جداگانه پرداخته است. برش شبکه، اندازه‌گیری کارایی شبکه دسترسی رادیویی و شبکه هسته جزو محدوده این سند هست. مشخصات شامل اندازه‌گیری کارایی توابع شبکه به‌طور جداگانه مانند gNodeB، تابع مدیریت تحرک و دسترسی (AMF)، تابع مدیریت نشست (SMF)، تابع کنترل سیاست‌گذاری (PCF) و مدیریت داده یکپارچه (UDM) هست.

همچنین KPIهای مرتبط با تحرک پذیری، قابلیت نگهداری و در دسترس بودن قرار است در اسناد بعدی طرح شوند.

در ارتباط با برش شبکه، یکی از این مشخصات، مدیریت کارایی رایج برای توابع شبکه می‌باشد که مرتبط با مدیریت کارایی منابع مجازی شده هست و پارامترهایی چون میزان استفاده از حافظه/ پردازشگر مجازی را پایش می‌کند.

در ادامه این فعالیت‌ها، گروه مشخصات صنعتی فناوری مجازی‌سازی توابع شبکه در ETSI، در زمینهٔ برش شبکه در قالب کاری مجازی‌سازی توابع شبکه موضوع پایش کارایی را دنبال می‌کنند. همچنین پروژه‌های تحقیقاتی متعددی بر روی موضوع KPI شبکه متمرکز هست که در جدول الف-۳ لیست شده‌اند [۷].

شاخص‌های KPI در شبکه، پایش عملکرد را به تفکیک برش، سرویس، کاربرد، کاربر یا ترمینال انجام نمی‌دهند درحالی‌که این موارد در ارزیابی و بهینه کردن کیفیت تجربه کاربر انتهایی تأثیرگذار هست. توابع پیشرفته آشکارساز ترافیک^۱ (TDF) یا بررسی عمیق بسته^۲ (DPI) می‌تواند به اپراتورها کمک کند تا بر این چالش غلبه کنند. در بخش بعدی در مورد کیفیت تجربه، شاخص KQI و پارامترها و ارزیابی کیفیت تجربه توضیحات لازم ارائه خواهد شد [۵].

در شبکه نسل پنجم، کیفیت سرویس انتها به انتها مطرح است که تمامی بخش‌های دسترسی رادیویی، بک هال، هسته شبکه و ارتباط شبکه به شبکه را در برمی‌گیرد.

¹ Traffic Detection function

² Deep packet inspection

جدول الف-۸ پروژه‌های تحقیقاتی متمرکز بر روی موضوع KPI شبکه

نام پروژه	محدوده کاری KPI
5GENESIS	- سرویس مانند نرخ داده، قابلیت اطمینان، تأخیر - کاربرد مانند امنیت و کیفیت سرویس - شبکه مانند پوشش دهی و تراکم - مدیریت چرخه عمر شبکه
ONE5G	- شبکه دسترسی رادیویی
5G-MoNArch	- برش شبکه - مدیریت بین دامنه‌ای (cross domain) - بهینه‌سازی زمان اجرا
5GCHAMPION	- مبتنی بر سرویس
5GCAR	- مبتنی بر سرویس - شبکه دسترسی رادیویی
TRIANGLE	- ارزیابی سرویس - ارزیابی کاربرد - ارزیابی ترمینال

پیوست ب – کیفیت تجربه و شاخص‌های ارزیابی آن

در سالیان اخیر، خدمات ارتباطی و برنامه‌های کاربردی آن‌ها رو به رشد بوده است و مشترکین که از یک محصول یا خدمات استفاده می‌کند نیاز به کیفیت خوب و مرتبط با نرخ مناسب دارند. نگرانی‌ها در خصوص ارائه سرویس‌های باکیفیت بیشتر به مشترکین به مفهوم کیفیت تجربه (QoE) منجر شد؛ این مفهوم برای ارائه‌دهندگان خدمات بسیار مفید است، زیرا اطلاعات کیفی می‌تواند به بهبود رضایت کاربر و بنابراین وفاداری و ادامه استفاده از خدمات توسط کاربر کمک کند. از این رو ارائه‌دهندگان خدمات ارتباطی، به‌ویژه در محیط‌های بی‌سیم، می‌توانند روش‌های ارزیابی QoE را در نظرگیرند. در سال‌های اخیر، محققان سعی کرده‌اند برای ارزیابی خدمات ارتباطی، روش‌های کیفیت خدمات (QoS) موجود را به‌منظور ارائه یک رویکرد جامع‌تر برای ارزیابی رضایت کاربر، به کار بگیرند. لکن مفهوم QoS بیشتر مربوط به جنبه‌های فن‌آوری، مانند عملکرد شبکه، ظرفیت کانال انتقال، و غیره است. به‌طور کلی QoS با جنبه‌های عملکرد سیستم‌های فیزیکی مرتبط است؛ درحالی‌که مفهوم QoE نه‌تنها جنبه‌های فنی، اقتصادی و اجتماعی را پوشش می‌دهد، بلکه مرتبط با جنبه‌های انسانی، مانند ضرورت‌ها و ترجیحات آن‌ها است. بنابراین برای تعیین QoE کاربر، ادراک کیفیت سیگنال چندرسانه‌ای باید با معیارهای دیگر مرتبط با پردازش حسی، فرآیند شناختی و رویکردهای روان‌شناختی تکمیل شود.

در کل، مفهوم QoE در زمینه‌های مختلف تحقیقاتی محبوبیت پیدا کرده است که یکی از مهم‌ترین آن‌ها خدمات مخابراتی است. بنابراین QoE توسط IEEE در استاندارد 3333.1، به‌عنوان درجه خوشنودی و یا ناراحتی کاربر از یک برنامه یا سرویس ناشی از تحقق انتظارات خود در رابطه با سودمندی و لذت بردن از برنامه یا سرویس تعریف شده است.

زمینه‌های کاربردی مفهوم QoE بسیار بزرگ است که شامل خدمات ارتباطی و چندرسانه‌ای، راه‌حل‌های آموزشی، برنامه‌های پزشکی، مدل‌های کسب‌وکار، خدمات تفریحی و غیره هست. در بررسی پیش رو مفهوم QoE و کاربرد آن در خدمات مختلف مخابراتی جزو محدوده کاری است.

مفهوم ادراک و تجربه برای تعریف مفهوم QoE تعریف شده است.

فرآیند ادراک با بروز محرک‌های مربوطه برای یک یا چند اندام حسی انسان آغاز می‌شود. ادراک یک پردازش آگاهانه از اطلاعات حسی است که انسان‌ها در معرض آن قرار می‌گیرند و شامل دو مرحله می‌شود:

- تبدیل محرک‌ها از یک ارگان حسی به یک سیگنال عصبی.
 - پردازش و انتقال سیگنال‌های عصبی در سیستم عصبی مرکزی به قشر.
- ادراک تحت تأثیر وقایع ذخیره‌شده در حافظه می‌باشد. در نتیجه، ویژگی‌های عصبی که متعلق به یک شیء هستند، مرتبط هستند. سطوح مختلفی از حافظه شناسایی شده است:

حافظه حسی: حافظه جانبی که حافظه کوتاه‌مدت بین ۱۵۰ میلی‌ثانیه تا ۲ ثانیه را ذخیره می‌کند.

- حافظه کاری: اطلاعاتی را که بیش از ۱۰ ثانیه طول می‌کشد را ذخیره می‌کند. همچنین به‌عنوان حافظه کوتاه‌مدت شناخته شده است.

- حافظه بلندمدت: اطلاعات را برای مدت‌زمان طولانی حتی سال‌ها یا عمر ذخیره می‌کند.

اما اصطلاح کیفیت به احساسات ادراک فردی، ادراک حسی و مفاهیمی که در یک وضعیت خاص رخ می‌دهد، اشاره می‌کند، مانند زمانی که یک فرد خدمات چندرسانه‌ای را تجربه می‌کند.

تعریف کیفیت بر اساس استانداردهایی همچون سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO) در استاندارد ISO 9000:2000، به‌صورت زیر می‌باشد:

"کیفیت توانایی مجموعه‌ای از ویژگی‌های محصول، سیستم یا فرایند برای برآوردن نیازهای مشتری خاص، مصرف‌کنندگان و سایر سهامداران است"

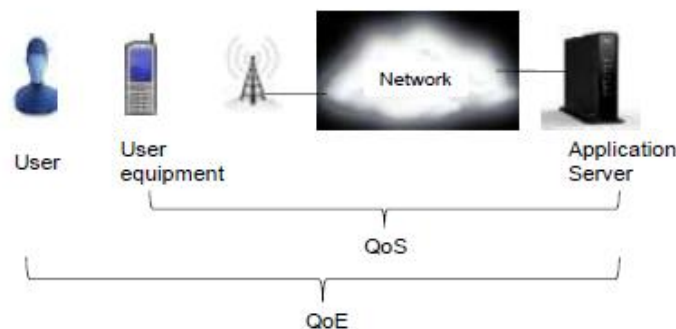
تعریف با پذیرش بیشتر در مورد مفهوم QoE، بیان شده توسط ITU-T on P.10 بیان می‌کند: "QoE پذیرش عمومی یک برنامه یا سرویس است، به‌عنوان ذهنی درک شده توسط کاربر نهایی". از این تعریف می‌توان دو نکته را دریافت:

- (۱) شامل کارایی کامل سیستم انتها به انتها می‌باشد.
 - (۲) می‌تواند تحت تأثیر انتظارات و زمینه‌های کاربر قرار گیرد.
- در سال‌های اخیر، برخی از انتقادات در مورد تعریف QoE وجود دارد. اصطلاح "پذیرش پذیری" به‌عنوان پایه‌ای برای QoE گنجانده نشده است؛ زیرا پذیرش نتیجه تصمیم است که تا حدودی بر اساس کیفیت تجربه است.

اگر دیدگاه خدمات‌گرای بیشتری در نظر گرفته شود، استدلال می‌کند که کیفیت براساس مقایسه ادراکات با انتظارات می‌باشد. با توجه به نقش شخص به‌عنوان مشتری، معیارهای انتظار باید به شیوه‌ای جامع‌تر درزمینه تحقیقات بازار موردتوجه قرار گیرد. ادراک می‌تواند در طول جلسه با سرویس و مفهوم QoS مربوط به یک شرکت خاص از نظر رضایت یا نارضایتی از مشتریان به ادراک مربوط باشد. یکی دیگر از نویسندگان، QoE را "ویژگی‌ها احساسات، درک و دیدگاه افراد در مورد یک سرویس یا محصول خاص می‌داند؛ این ویژگی‌ها می‌تواند خوب، منصفانه یا بد باشد". همچنین باید توجه داشت که برای تعیین QoE کاربر، کیفیت درک شده سیگنال چندرسانه‌ای باید با سایر معیارهای مرتبط با پردازش حسی، فرآیند شناختی و رویکرد روان‌شناسی تکمیل شود.

تفاوت بین مفاهیم QoS و QoE را می‌توان در شکل ب-۱ دید، که طبق آن QoS باید توسط ارائه‌دهندگان شبکه، با مدیریت برخی از پارامترها مانند تأخیر، تکان دادن، پهنای باند و میزان تلفات بسته، تضمین شود؛ این پارامترها باید به‌منظور اطمینان بهتر خدمات ارائه شوند. درحالی‌که QoS بیشتر مربوط به جنبه‌های فنی

است، QoE در مورد خدمات مشتری هست؛ بنابراین QoS می‌تواند بخشی از تعریف QoE باشد. همچنین در تعریف QoE، دیگر ویژگی‌ها باید در نظر گرفته شود، مانند ترجیح کاربر و هزینه‌های خدمات [۸].



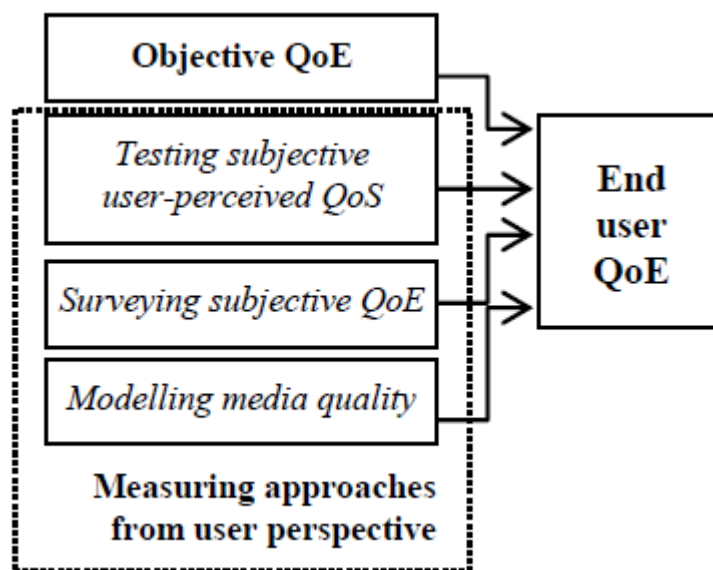
شکل ب-۱ مقایسه QoS و QoE [۸]

همان‌طور که اشاره شد پارامترهای QoS به‌اندازه گیری‌های فنی وابسته است درحالی که QoE به تجربه کاربر از سرویس دریافتی بستگی دارد و هیچ‌گونه ارتباط خطی بین اندازه‌گیری‌های فنی و تجربه کاربر از سرویس وجود ندارد. به همین دلیل برای ارزیابی QoE نیاز به نگاهی از پارامترهای QoS به QoE است هرچند ارتباط بین KPI و QoE غیرخطی است و مدلی ریاضی برای آن در دسترس نیست. بررسی ارتباط بین این دو مفهوم نیازمند راهکارهایی برای آگاهی از تأثیرگذاری پارامترهای QoS بر روی مقادیر QoE است. درواقع به دنبال یافتن نگاهی از مقادیر QoE بر روی پارامترهای QoS و ایجاد مدل QoE آگاه از QoS هستیم.

در شبکه نسل پنجم مقادیر مرتبط با QoE و ارزیابی عملکرد به نوع سرویس درخواستی وابسته‌اند. به‌طور کلی دو شیوه ارزیابی کیفیت به نام‌های Subjective و Objective وجود دارد. شناسایی معیارهای QoE مربوط به سرویس و نحوه تأثیر آن‌ها در پارامترهای QoS از اهمیت بالایی برخوردار است. معیارهای QoE شامل تجربه کاربران در سطوح مختلف می‌شوند که به دسته‌های سرویس و محتوا قابل تقسیم هستند که ترکیب آن‌ها کیفیت دریافتی کاربر را به‌صورت subjective تعیین می‌کند. روشی که برای ارزیابی کیفیت به روش subjective بکار می‌رود، میانگین نظرات^۱ نامیده می‌شود.

در روش objective از روش‌های ریاضی و منطقی برای ایجاد مقادیر عددی از کیفیت سرویس استفاده می‌شود. در کنار روش objective سه شیوه برای اندازه‌گیری کیفیت دریافتی کاربر موجود است: آزمودن مقادیر QoS مانند روش میانگین نظرات، ارائه پرسشنامه برای مقادیر QoE و مدل‌سازی کیفیت رسانه مانند بررسی کیفیت گفتار. به‌کارگیری این سه شیوه برای اندازه‌گیری کیفیت دریافتی کاربر در کنار روش‌های ریاضی برای ایجاد مقادیر عددی از کیفیت سرویس می‌تواند مقادیر QoE را مشخص کند.

¹ Mean opinion score



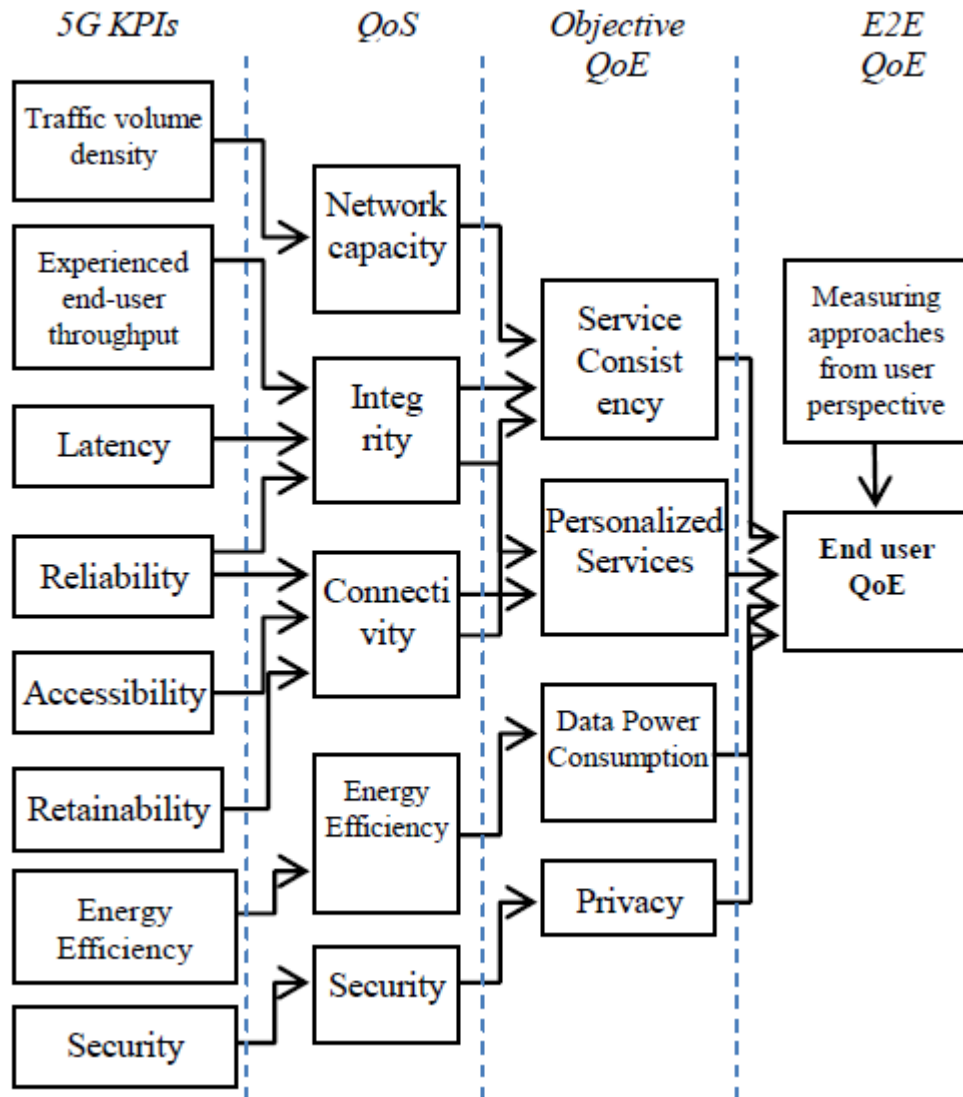
شکل ب-۲ اندازه‌گیری مقادیر QoE [60]

در ارائه پرسشنامه برای مقادیر QoE استراتژی‌های مختلفی برای تعیین معیارهای مناسب برای اندازه‌گیری با تعامل با مشتریان وجود دارد. متداول‌ترین معیارهایی که توسط اپراتورهای مخابراتی استفاده می‌شود عبارت‌اند از CSAT^۱ که مستقیماً رضایتمندی مشتریان را مورد پرسش قرار می‌دهد و CES^۲ که حل مشکلات سرویس را از نظر کاربر بررسی می‌کند.

در شکل ب-۲ طرح نگاشت QoS و QoE در شبکه نسل پنجم نشان داده شده است. بر اساس این طرح این نگاشت در دو مرحله مدل‌سازی می‌شود. در مرحله اول معیارهای QoS به معیارهای QoE نگاشت می‌شود و در مرحله بعد ترکیب معیارهای QoE کیفیت تجربه نهایی کاربر را معین می‌کند. به‌طور دقیق‌تر، مجموعه‌ای از KPIهای شبکه نسل پنجم معیارهای QoS را مشخص می‌کنند و سپس این معیارها به معیارهای objective کیفیت تجربه ترجمه می‌شوند و در نهایت ترکیب معیارهای objective با اندازه‌گیری‌های کیفیت دریافتی کاربر به سه شیوه اشاره‌شده کیفیت تجربه نهایی را تعیین می‌کند.

^۱ Customer satisfaction

^۲ Customer effort score



شکل ب-۲ نگاشت معیارهای QoS و QoE [60]

چالش‌های مربوط به ارزیابی کیفیت تجربه مربوط به جمع‌آوری اطلاعات و انتخاب و تحلیل معیارهای مرتبط است. برای پاسخ به این چالش‌ها فن‌های تحلیل داده و یادگیری ماشین بکار گرفته می‌شوند. همچنین با نوآوری در طراحی کارکردها و توابع مدیریتی و کنترلی در شبکه نسل پنجم، رضایتمندی کاربر به‌عنوان یکی از اهداف این واحدها مشخص شده است.

همچنین SLA بین اپراتورها و مشترکان نیاز به بررسی مجدد دارند زیرا SLAهای معمول که با شرایط QoS توصیف می‌شدند ارتباط مستقیمی با سطح رضایت کاربران و QoE ندارند. مدیریت تجربه مشترکان^۱ نیازمند به‌کارگیری توابعی در سرتاسر شبکه و همه لایه‌های مخابراتی است. توابعی مانند توابع تخصیص منابع شبکه،

¹ Customer experience management

تشکیل نشست و نگاشت QoS همگی در تعیین کیفیت تجربه کاربر تأثیرگذارند. در نتیجه اینکه رسیدن از شبکه‌ای مبتنی بر معیارهای QoS به شبکه‌ای مبتنی بر QoE موردنظر است [۹].

مراجع پیوست

- [1] <https://www.awardsolutions.com/portal/shareables/what-is-5G/5G-Training-Online/learn-about-qos-5g-networks-paul-shepherd-0>
- [2] <https://forum.huawei.com/enterprise/en/comparison-between-the-lte-and-5g-qos-architecture/thread/561935-100305>
- [3] <https://www.awardsolutions.com/portal/shareables/what-is-5G/5G-Training-Online/quality-service-model-5g-prasad-govindarajan>
- [4] https://www.5g-ks.org/pdf/Network_Slicing_in_5GS-E2E_View-Nokia.pdf
- [5] <https://www.allot.com/blog/5g-shaping-quality-of-experience-qoe/>
- [6] <https://www.cnn.com/advertorial/huawei-launches-full-range-of-5g-end-to-end-product-solutions/>
- [7] S. Kukliński and L. Tomaszewski, "Key Performance Indicators for 5G network slicing," *2019 IEEE Conference on Network Softwarization (NetSoft)*, Paris, France, 2019, pp. 464-471
- [8] Demóstenes Z. Rodriguez, Renata L. Rosa, Rodrigo D. Nunes and Emmanuel T. Affonso, "Assessment of Quality-of-Experience in Telecommunication Services", *The Free Library*. 2016
The Society of Digital Information and Wireless Communications 28 Nov. 2020
- [9] "Mapping of QoS/QoE in 5G Networks", N.Banović-Ćurguz, D.Ilišević

فهرست مطالب فاز پنجم با عنوان

"بررسی فرصت‌ها و مدل‌های کسب‌وکار موجود در بخش استفاده از 5G در شبکه هوشمند"

صفحه	عنوان
۱.....	مقدمه
۳.....	فصل ۱- مطالعات تطبیقی مدل‌های توسعه کسب‌وکار اپراتورهای 5G
۳.....	۱-۱- مقدمه
۳.....	۱-۲- زیست‌بوم مدل کسب‌وکار MNOها
۵.....	۱-۲-۱- مسائل و چالش‌های عمومی مدل کسب‌وکار MNOها
۷.....	۱-۳- تأثیر 5G بر مدل‌های رایج کسب‌وکار اپراتورها
۸.....	۱-۳-۱- فرصت‌های جدید ایجادشده توسط 5G
۸.....	۱-۳-۲- الزامات اپراتورها در پشتیبانی از شبکه 5G
۹.....	۱-۳-۳- چالش‌های اپراتورهای مخابراتی در مواجهه با 5G
۹.....	۱-۴- لزوم نوآوری در مدل‌های کسب‌وکار اپراتورها با ظهور 5G
۹.....	۱-۴-۱- روند تکامل مدل کسب‌وکار اپراتورها
۱۰.....	۱-۴-۲- نیازسنجی نوآوری در مدل کسب‌وکار اپراتورها
۱۱.....	۱-۴-۳- پتانسیل‌های نوآوری در مدل کسب‌وکار برای 5G
۱۱.....	۱-۵- بازیگران و ذینفعان در مدل‌های نوین کسب‌وکار 5G
۱۳.....	۱-۶- مدل‌های کسب‌وکار اپراتورهای مخابراتی در 5G
۱۴.....	۱-۶-۱- مدل کسب‌وکار - اپراتور به‌عنوان فراهم‌کننده اتصالات
۱۴.....	۱-۶-۲- مدل کسب‌وکار - مشارکتی
۱۵.....	۱-۶-۳- مدل کسب‌وکار - اپراتور به‌عنوان ارائه‌دهنده خدمات دیجیتال
۱۵.....	۱-۶-۳-۱- ارائه خدمات دیجیتال توسط یک اپراتور
۱۶.....	۱-۶-۳-۲- تأثیر 5G بر مدل کسب‌وکار ارائه خدمات دیجیتال
۱۶.....	۱-۷- جمع‌بندی
۱۷.....	فصل ۲- بررسی فرصت‌های کسب‌وکاری نهفته در زیرساخت 5G برای شبکه هوشمند
۱۷.....	۲-۱- مقدمه
۱۷.....	۲-۲- بازگشت سرمایه (ROI) اپراتورهای 5G

۱۹.....	۲-۳	مدل‌های کسب‌وکاری در شبکه هوشمند در حضور 5G
۲۲.....	۲-۴	تحلیل مدل‌های کسب‌وکاری B2C و B2B در شبکه هوشمند
۲۲.....	۲-۴-۱	مدل کسب‌وکار تولید پراکنده (Distributed Generation)
۲۵.....	۲-۴-۲	مدل کسب‌وکار مدیریت تقاضا (Demand Management)
۲۸.....	۲-۴-۳	مدل کسب‌وکار در سیستم‌های مجتمع و یکپارچه منطقه‌ای
۳۱.....	2-4-4-	مدل کسب‌وکار خودروهای برقی
۳۲.....	۲-۴-۵	مدل کسب‌وکار ذخیره ساز انرژی
۳۳.....	۲-۴-۶	بررسی عوامل موفقیت برای مدل‌های کسب‌وکاری در شبکه هوشمند
۳۴.....	۲-۵	مدل‌های کسب‌وکاری B2B2C در شبکه هوشمند و 5G
۳۵.....	۲-۵-۱	مدل کسب‌وکار تولید پراکنده (Distributed Generation)
۳۵.....	۲-۵-۲	مدل کسب‌وکار مدیریت تقاضا (Demand Management)
۳۶.....	۲-۵-۳	مدل کسب‌وکار در سیستم‌های مجتمع و یکپارچه منطقه‌ای
۳۶.....	۲-۶	مدل‌های کسب‌وکاری B2B2B در شبکه هوشمند و 5G
۳۹.....	۲-۶-۱	مدل کسب‌وکار خودروهای برقی
۴۱.....	۲-۶-۲	مدل کسب‌وکار ذخیره‌ساز انرژی
۴۳.....	۲-۷	جمع‌بندی
۴۶.....		مراجع

فهرست شکل‌های فاز پنجم پروژه

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱: مدل مفهومی کسب‌وکار با ۴ لایه	۴
شکل ۱-۲: مدل 4-V برای MNOs [۳]	۵
شکل ۱-۳: نمونه مسائل و چالش‌های پیرامون مدل کسب‌وکار MNOs	۶
شکل ۲-۱: تجزیه و تحلیل بازگشت سرمایه (ROI) برای یک اپراتور [۷]	۱۸
شکل ۲-۲: مقایسه هزینه TCO برای سه فناوری برش شبکه، LTE و فیبر نوری	۱۹
شکل ۲-۳: بازگشت سرمایه در یک بازه ۱۰ ساله در صورت استفاده از برش شبکه 5G	۱۹
شکل ۲-۴: مدل‌های مختلف بهره‌برداری از برش شبکه و ایجاد کسب‌وکار با صنایع عمودی در 5G [۹]	۲۰
شکل ۲-۵: نمونه‌هایی از کسب‌وکارهای شکل گرفته در 5G بر اساس برش شبکه (SN) [۹]	۲۰
شکل ۲-۶: مدل کسب‌وکار مبتنی بر (الف) خدمات لیزینگ و (ب) توافق‌نامه خرید برق برای تولید پراکنده [۱۰]	۲۴
شکل ۲-۷: مدل کسب‌وکار اجاره فضا (RTS) [۱۰]	۲۵
شکل ۲-۸: مدل کسب‌وکار خانه هوشمند [۱۰]	۲۶
شکل ۲-۹: مدل کسب‌وکاری خانه هوشمند مبتنی بر توصیه‌های مصرفی یک خرده‌فروش برق [۱۰]	۲۷
شکل ۲-۱۰: مدل کسب‌وکار مبتنی بر خدمات پاسخگویی به تقاضا [۱۰]	۲۸
شکل ۲-۱۱: مدل کسب‌وکار نیروگاه‌های مجازی	۳۰
شکل ۲-۱۲: توسعه مدل‌های کسب‌وکار انرژی هوشمند در ایالات متحده، انگلستان، آلمان و برزیل	۳۱
شکل ۲-۱۳: عوامل کلیدی موفقیت مدل‌های کسب‌وکار در شبکه هوشمند	۳۴
شکل ۲-۱۴: مثالی از تعاملات واحدها در شبکه ارزش حوزه انرژی	۳۷
شکل ۲-۱۵: تعامل واحدهای سرویس‌گیرنده از 5G در مدل B2B2B	۳۸
شکل ۲-۱۶: ساختار سیستم ارتباطی خودروهای برقی و شبکه برق [۱۱]	۳۹
شکل ۲-۱۷: ساختار ارتباط خودروهای برقی با تجمیع‌کننده و اپراتور [۱۱]	۳۹
شکل ۲-۱۸: ارتباط سه کسب‌وکار در مدل B2B2X	۴۳

فهرست جدول‌های فاز پنجم پروژه

صفحه

عنوان

۱۲	جدول ۱-۱: نقش‌ها و تعاملات ذینفعان در 5G
۲۱	جدول ۲-۱: نمونه کسب‌وکارهای شکل گرفته در شبکه هوشمند در حضور 5G
۳۸	جدول ۲-۲: مدل‌های B2B2B با تمرکز بر کاربردهای 5G در شبکه هوشمند
۴۰	جدول ۲-۳: مدل کسب‌وکاری ایستگاه‌های شارژ خودروهای برقی [۱۴]
۴۲	جدول ۲-۴: مدل کسب‌وکار تجمیع واحدهای ذخیره‌ساز انرژی [۱۴]
۴۴	جدول ۲-۵: جمع‌بندی مدل‌های کسب و کار در شبکه هوشمند در حضور 5G

مقدمه فاز پنجم

مدل کسب‌وکار، برنامه یک شرکت در مورد نحوه تولید درآمد و سودآوری است. در این برنامه شرکت باید مشخص کند چه محصول یا خدمتی را چگونه، چه زمانی و با چه هزینه‌ای به بازار ارائه کند تا هم برای خود و هم برای مشتریان خلق ارزش کند. ارزش به این مفهوم است که محصول یا خدمتی که برای مشتریان ارائه می‌شود بتواند شرکت را در بازار از سایر رقبا متمایز کند. یک مدل کسب‌وکار همچنین باید شامل قابلیت پیش‌بینی هزینه‌ها و درآمدها، تأمین منابع مالی، مشتری محور و دارای استراتژی بازاریابی و رقابت باشد [۱].

در چرخه کسب‌وکار، سازمان‌ها از جنبه‌های مختلف به یکدیگر وابسته هستند. محصولات و خدمات توسط نهادها و سازمان‌ها به صورت‌های مستقیم و یا غیرمستقیم به ذینفعان دیگر ارائه می‌شوند. نقطه قوت شبکه 5G در شکل‌گیری مدل‌های کسب‌وکاری است که با شرکت‌ها و صنایعی مانند انرژی، حمل‌ونقل و یا سلامت و بر اساس فناوری‌های نوین دیجیتال ایجاد خواهد شد.

در مجموع می‌توان گفت در نسل‌های پیشین موبایل، عمده ارزش افزوده از ارائه خدمات به مشترکین کسب شده است لکن در طراحی نسل پنجم موبایل توجه ویژه‌ای به ارائه خدمات ارتباطی به مشاغل ($2B^1$) شده است. حال سهم این درآمد در بازار 5G چه میزان است و چه مدل‌هایی برای صنایع قابل ارائه است موضوعاتی است که در این گزارش به آن پرداخته خواهد شد.

از آنجایی که در میان صنایع مختلف، صنعت برق و شبکه هوشمند انرژی در این پروژه مد نظر می‌باشد نیاز بوده است که مدل‌های کسب و کار شبکه هوشمند بررسی شود و این موضوع که شبکه 5G و فناوری‌هایی که برای آن متصور هستیم چگونه می‌تواند بر این مدل‌های کسب‌وکار تأثیر بگذارد و اصطلاحاً این مدل‌های کسب‌وکار را انعطاف‌پذیرتر و مقیاس‌پذیرتر ارائه دهند مورد مطالعه قرار گیرد.

گزارش حاضر با عنوان "بررسی فرصت‌ها و مدل‌های کسب و کار موجود در بخش استفاده از 5G در شبکه هوشمند"، گزارش مرحله پنجم پروژه "شناسایی فناوری 5G و بررسی چالش‌ها و فرصت‌های به‌کارگیری آن در صنعت برق کشور" می‌باشد که در دو فصل ارائه می‌شود.

در فصل اول، مطالعات تطبیقی مدل‌های توسعه کسب و کار در زیرساخت 5G مورد بررسی قرار گرفته است. زیست‌بوم مدل کسب و کار MNOها در مدل‌های چندلایه مطالعه شده و سپس نمونه‌های مهمی از چالش‌های عمومی مدل کسب و کار MNOها بررسی شده‌اند. در ادامه تأثیر 5G بر مدل‌های رایج کسب و کار اپراتورها از نظر فرصت‌های جدید، الزامات و چالش‌ها مطالعه و ارائه شده‌اند. روند تکامل مدل‌های کسب و کار برای اپراتورها و مطالعه امکان نوآوری و پتانسیل‌های موجود نیز بررسی شده‌اند. در دو بخش پایانی این فصل، ذینفعان و نقش آنها در مدل‌های کسب و کار و در نهایت رویکردهای مختلفی که یک اپراتور می‌تواند انتخاب کند ارائه شده‌اند.

¹ To Business

فصل دوم این گزارش به بررسی فرصت‌های کسب و کاری نهفته در زیرساخت 5G برای شبکه هوشمند اختصاص یافته است. صنعت برق با یک شبکه گسترده همواره به عنوان مشتری مهم خدمات و سرویس‌های مخابراتی مطرح بوده است. لذا در این فصل ابتدا به بررسی بازگشت سرمایه برای اپراتورهای 5G و از طرف دیگر کاهش هزینه‌ها در شبکه هوشمند برق در صورت استفاده از شبکه 5G پرداخته شده است. سپس به بحث مدل‌های کسب و کاری در شبکه هوشمند در حضور 5G تمرکز شده است. در ادامه، نمونه کسب و کارهای شکل گرفته در شبکه هوشمند در حضور 5G استخراج شده و نمونه‌هایی از کسب و کارهای دیجیتالی B2C/B2B/B2B2B/B2B2C که در شبکه هوشمند برق شکل می‌گیرد بررسی شده‌اند.

فصل ۱- مطالعات تطبیقی مدل‌های توسعه کسب‌وکار اپراتورهای 5G

۱-۱- مقدمه

انواع مختلفی از مدل‌های کسب‌وکاری سنتی تاکنون شناخته شده‌اند که شامل فروش مستقیم، مدل فرانشیز، فروش ارزش افزوده (VAR)^۱، مدل مبتنی بر تبلیغات و غیره هستند. اما با رشد تجارت الکترونیکی و استفاده گسترده از اینترنت، مدل‌های کسب‌وکاری به سمت فروش آنلاین مستقیم و ترکیب ساختارهای فیزیکی و آنلاین سوق داده شده است. یکی از بخش‌هایی که نیاز است مدل‌های کسب‌وکار منسجم و نوآور داشته باشد، بخش ارتباطات و اپراتورهای مخابراتی هستند. چراکه در این حوزه تغییرات سریع فناوری، ضرورت ایجاد و بهبود مدل‌های کسب‌وکار را دوچندان کرده است. همچنین مسئله مهم دیگر، خدماتی است که OTT^۲ها بر روی بستر اینترنت ارائه می‌دهند و باعث کاهش درآمدهای سنتی اپراتورها از فروش ترافیک (صوت و پیام) شده است.

لذا با توجه به پیچیده‌تر شدن فضای عملکردی برای اپراتورهای مخابراتی و تغییر سریع الگوهای مصرف مشتریان، اپراتورها باید برای کسب ارزش، زنجیره‌های ارزشی متغیر در بازار را دنبال کنند که در این میان مدل‌های کسب‌وکار باید بر اساس سناریوهای جدید، تغییرات پویا و به‌روز داشته باشند.

در این فصل از گزارش، مدل‌های توسعه کسب‌وکار در سمت اپراتورها به‌ویژه برای فناوری‌های شبکه 5G مورد مطالعه قرار خواهد گرفت. در ابتدا زیست‌بوم مدل کسب و کار MNOها مطالعه شده و سپس نمونه‌هایی از مسائل و چالش‌های عمومی مدل کسب و کار MNOها بررسی شده‌اند. مدل‌های رایج کسب و کار اپراتورها با ورود 5G دستخوش تغییراتی می‌شوند که در ادامه، این موضوع از نظر فرصت‌های جدید، الزامات و چالش‌ها مطالعه شده‌اند. مدل‌های کسب و کار اپراتورها برای استفاده در قراردادهای 5G نیازمند نوآوری هستند که در بخش بعد بررسی شده‌اند. در دو بخش پایانی این فصل، دینفعان و نقش آنها در مدل‌های کسب و کار و رویکردهای مختلف مدل‌های کسب و کار 5G برای اپراتورها استخراج و ارائه شده‌اند.

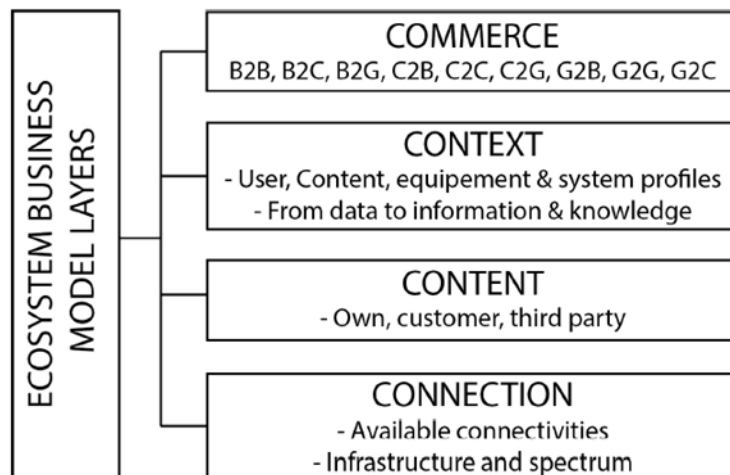
۱-۲- زیست‌بوم مدل کسب‌وکار MNO^۳ها

زیست‌بوم مدل کسب‌وکار به صورت ۴ لایه مطابق شکل ۱-۱ تعریف می‌شود. این لایه‌ها، بخش‌هایی از زیست‌بوم هستند که ارزش در آنها خلق می‌شود. البته یک اپراتور می‌تواند در یک یا چند لایه فعال باشد. این مدل، ساختار و تعامل در زیست‌بوم را از دیدگاه کسب‌وکار نشان می‌دهد. در ادامه توضیح بیشتری برای این لایه‌ها ارائه شده است [۲].

^۱ Value Added Reseller

^۲ Over-The-Top

^۳ Mobile Network Operators

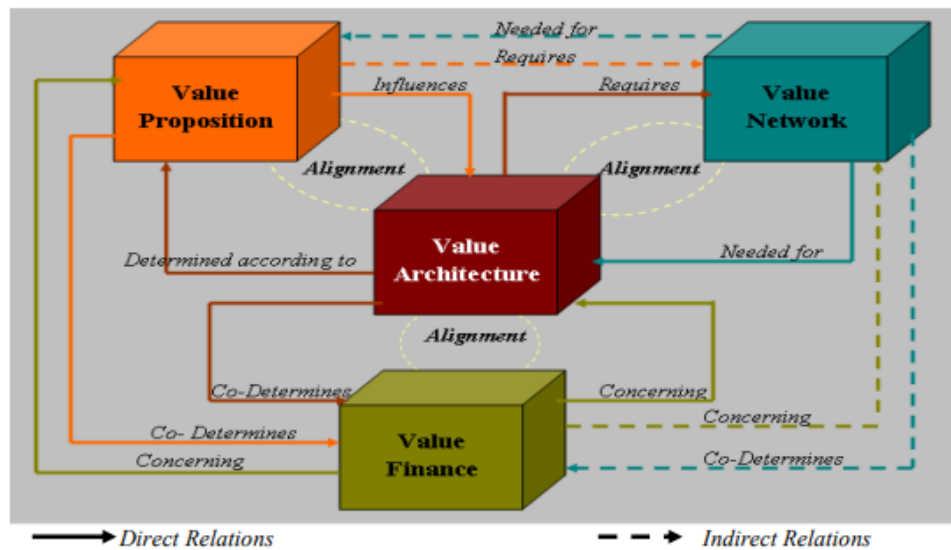


the 4-c model

شکل ۱-۱: مدل مفهومی کسب‌وکار با ۴ لایه

- اتصال (Connection): لایه اول به اتصالات و سرویس‌های فراهم‌کننده آن تمرکز دارد.
 - محتوا (Content): لایه دوم، کسب سود از محتوا را مورد بررسی قرار می‌دهد. تمام سرویس‌های برخط محتوا (مانند پخش ویدیو) در این لایه مطالعه و دسته‌بندی می‌شوند و بر اساس علاقه برای کاربران نهایی قابل دسترسی می‌باشند. شناخت مالکیت اطلاعات و سطوح دسترسی به آن‌ها در این لایه از اهمیت بالایی برخوردار است.
 - موقعیت/زمینه (Context): لایه سوم به ایجاد و کسب سود از بخش‌های مختلف همچون کاربران، محتوا، ادوات و تجهیزات می‌پردازد. تبدیل داده به اطلاعات معنی‌دار و در ادامه تجمیع، طبقه‌بندی و ساختاردهی اطلاعات موجود برای خلق سرویس در این لایه مورد توجه قرار می‌گیرد. این لایه به کاربران کمک می‌کند تا محتوای مورد نیاز خود را بهتر به دست آورده و بازار شفاف‌تری شکل بگیرد.
 - تجارت (Commerce): لایه چهارم توانایی کسب سود از منابع و فعالیت‌های سه لایه بالایی را بر عهده دارد. انواع ارتباطات کسب‌وکارها (B^1)، مشتریان (C^2) و بخش‌های عمومی/دولتی (G^3) در این لایه قابل شناسایی هستند. لذا، کسب سود از هر نوع شکل‌گیری کسب‌وکاری مانند B2B، B2C، B2G و غیره در این بخش می‌تواند بررسی شود.
- وقتی مدل 4-C را در مقیاس اپراتورهای تلفن همراه (MNOs) در نظر بگیریم این مدل به صورت 4-V معرفی می‌شود که در شکل ۱-۲ نشان داده شده است که در ادامه به بررسی لایه‌های آن پرداخته شده است.

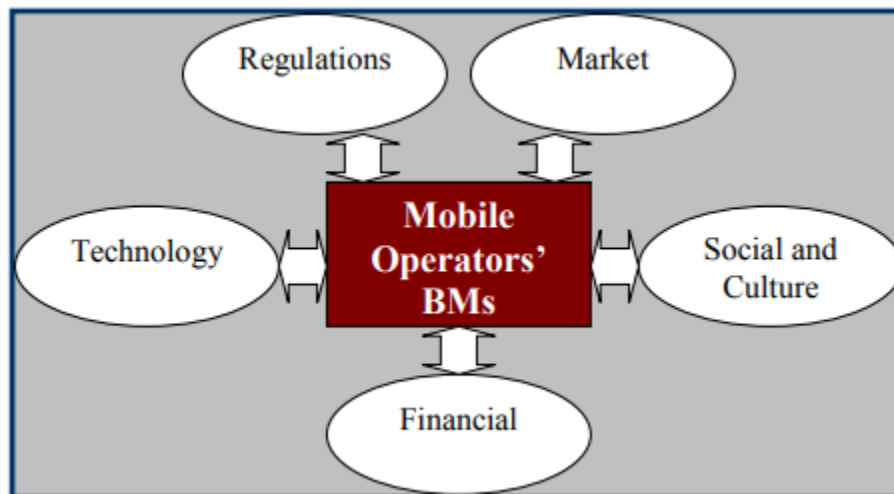
¹ Business² Customer³ Government



- گزاره ارزش (Value Proposition): این لایه، شامل خدمات و محصولات می‌دهد که در آن ماهیت مشتری‌ها (شخصی یا تجاری) به همراه علایق، خواسته‌ها و نیازهای آن‌ها نیز گنجانده شده است.
- شبکه ارزش (Value Network): این لایه، ارتباط و همکاری موردنیاز MNOها با سایر ذینفعان در زنجیره ارزش از جمله تأمین‌کنندگان، اشخاص ثالث، مشتریان، واسطه‌ها و غیره را نشان می‌دهد.
- معماری ارزش (Value Architecture): این لایه به‌عنوان لایه اصلی است که سایر لایه‌ها با آن در ارتباط هستند. این لایه یک طرح گسترده است که علاوه بر معماری فنی، آرایش‌های سازمانی و قابلیت‌های ساختاری MNOها را مشخص می‌کند.
- مالی ارزش (Value Finance): در این لایه مدل‌های درآمدی، تصمیمات سرمایه‌گذاری، تقسیمات درآمدی و غیره در سه دسته هزینه کل مالکیت (TCO^1)، روش‌های قیمت‌گذاری و ساختار درآمدی طبقه‌بندی می‌شوند.

با توجه به فضای رقابتی صنعت ارتباطات تلفن همراه، عوامل خارجی زیادی وجود دارند که مدل‌های کسب‌وکاری را تحت تأثیر قرار می‌دهند. در شکل ۱-۳ نمونه‌هایی از این مسائل نشان داده شده که در ادامه به بررسی آن‌ها خواهیم پرداخت.

¹ Total Cost of Ownership



شکل ۳-۱: نمونه مسائل و چالش‌های پیرامون مدل کسب‌وکار MNOs

- **بازار رقابتی:** همراه با پیامدهای انقلاب ارتباطات که در بین‌المللی شدن مرزهای بازار اتفاق افتاده است، موضوعات مرتبط با آزادسازی، خصوصی‌سازی و مقررات زدایی، بازار را متحول کرده است. مشخصه بارز این تغییرات، رقابت شدید بین اپراتورهای مختلف تلفن همراه است که با نامشخص بودن مرزهای بازار، مسلماً تعریف فضای رقابتی دشوارتر شده است. با این وجود، سطح رقابت به تعداد اپراتورهای رقیب در بازار و ماهیت ساختار بازار نیز بستگی دارد. بازار رقابتی مهم‌ترین عامل برای نوآوری و توسعه محصولات و خدمات ارائه‌شده توسط MNO تلقی می‌شود. اما فضای خشن این بازار منجر به رقابتی شده است که صرفاً بر اساس قیمت تمام شده است. این نشان می‌دهد، MNOها مجبور هستند تا از حاشیه سود خود به خاطر رقابت‌پذیری کاسته و متعاقباً بودجه کمتری را به تحقیق و توسعه اختصاص دهند و تلاش کنند که مشتریان خود را حفظ کنند. بنابراین چنین رقابتی بیشتر به سود کاربران تلفن همراه خواهد بود، چراکه این امکان را دارند تا خدمات باکیفیت و با قیمت‌های رقابتی دریافت کنند، درحالی‌که سود MNOها به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد.
- **مسائل مالی:** علاوه بر هزینه‌های نگهداری شبکه تلفن همراه، هزینه‌های سرمایه‌گذاری برای یک اپراتور تلفن همراه بسیار هنگفت است. هزینه‌های ایجاد زیرساخت‌های ارتباطی، مجوزهای طیف فرکانسی و جذب مشتری، از منابع اصلی هزینه است که باید از طریق درآمد اپراتورها پرداخت شوند به گونه‌ای که بازده بازگشت سرمایه (RoI^1) آنها مثبت شود.
- **فناوری‌های اخلاص گر^۲:** اپراتورهای تلفن همراه تصور می‌کنند که خدماتی که از طریق شبکه سلولار 3G، 4G و غیره ارائه می‌دهند رشد اقتصادی آنها را تأمین می‌کند. اما ظهور فناوری‌های اخلاص گر مانند شبکه‌های WLAN خود سازمان‌یافته^۳ و ad-hoc یک تهدید برای شبکه تلفن همراه محسوب می‌شود. این شبکه‌های

¹ Return on Investments

² Disruptive Technologies

³ Self-Organized

اخلال گر می‌توانند از نقاط داغ شبکه WiFi (802.11) استفاده کنند، که نقاط دسترسی به اینترنت در مکان‌های عمومی هستند و امکان پوشش جهانی دارند. درحالی‌که این شبکه‌های WLAN هم سرعت بیشتر (تا حدود ۷۰ مگابیت در ثانیه) و هم ظرفیت بیشتری نسبت به شبکه سلولار 3G خواهند داشت.

- **رگولاتوری (قانون‌گذاری):** نقش رگولاتوری در شکل‌گیری ساختار صنعت مخابرات به‌طور قابل‌توجهی در حال افزایش است. مقررات‌زدایی و بین‌المللی‌سازی، صنعت مخابرات را کاملاً تغییر داده است. از سوی دیگر، مقررات قیمت‌گذاری در ارائه خدمات، بر سود مخابرات تأثیرگذار بوده است. بنابراین، رگولاتوری می‌تواند نقشی دو جهته ایفا کند، از یک‌سو، آزادسازی، امکان گسترش بازار رقابتی را فراهم می‌کند و از سوی دیگر وضع قوانین دقیق می‌تواند منجر به تسلط بر بازار شود. لذا سیاست‌ها، مقررات (و مقررات زدایی) دولت‌ها معمولاً به کاهش سلطه بر بازار و اطمینان از تکامل ساختار بازار رقابتی منجر خواهد شد.
- **عوامل فرهنگی و اجتماعی:** فناوری‌ها باید بر اساس زمینه‌های اجتماعی، فرهنگی و کاربرپسند شکل بگیرد و گرنه محکوم به شکست هستند. مسلماً کاربران تلفن همراه هر فناوری را که موجب نقض پیامدهای سلامتی، هنجارهای اجتماعی، ارزش‌های فرهنگی و حریم خصوصی شوند را رد خواهند کرد. به‌عنوان مثال، نگرانی‌های سلامتی کاربران در خصوص تشعشعات ایستگاه‌های پایه (BTSS) تلفن همراه منجر به کاهش دادن آنتن‌های BTS خواهد شد که در عمل، میزان پوشش‌دهی را کاهش خواهد داد یا استفاده از دوربین‌های جاسازی شده در تلفن‌های همراه باعث هنجارشکنی‌های فرهنگی می‌شود.

۳-۱- تأثیر 5G بر مدل‌های رایج کسب‌وکار اپراتورها

- اگرچه بسیاری از اپراتورهای مخابراتی در دنیا پس از مطالعات گسترده در زمینه 5G، مراحل نخست پیاده‌سازی این شبکه را آغاز کرده‌اند، اما هنوز مدل‌های کسب‌وکاری 5G برایشان مشخص نشده است. درواقع، نگرانی این اپراتورها از چگونگی سرمایه‌گذاری (در سطح گسترده) و میزان دریافت سود و بازگشت سرمایه می‌باشد. لذا بسیاری از صنایع و شرکت‌ها نیز در مورد چگونگی قرارداد با MNOها برای دریافت سرویس‌های نوین ابهام دارند [۴].
- در کنار طراحی ساختار ارائه سرویس به صنایع و شرکت‌ها، MNOها باید در ارائه یک اکوسیستم تاب‌آور و مؤثر 5G به دو نکته مهم دیگر نیز توجه داشته باشند: نکته اول، نحوه تعامل خود با OTTها را به‌صورت واضح مشخص نمایند و نکته دوم، رقابت با اپراتورهای دیگر در ارائه خدمات و سرویس‌ها را در مدل کسب‌وکار خود لحاظ نمایند.
- درمجموع، طراحی و تنظیم یک مدل کسب‌وکار سودآور برای یک فناوری نوآورانه و همه‌منظوره و درعین‌حال تأثیرگذار در اقتصاد جامعه، موضوعی پیچیده و چالش‌برانگیز است، مخصوصاً که آن فناوری مانند 5G بسیاری از نوآوری‌های دیگر را در حوزه‌های مختلف به دنبال خواهد داشت. MNOها در 5G علاوه بر طراحی یک اکوسیستم تاب‌آور و مؤثر و ارائه سرویس به صنایع و شرکت‌ها، باید پاسخگوی سؤالات زیر نیز باشند:
- چرا فناوری‌های جدید شبکه 5G مدل‌های کسب‌وکار فعلی را ناکارآمد خواهد کرد و نیاز به نوآوری در این زمینه احساس می‌گردد؟

- با ظهور شبکه 5G، اپراتورهای مخابراتی چه مدل کسب‌وکاری را باید در نظر بگیرند؟ و در آینده چه فرصت‌ها و تهدیداتی برای آن‌ها وجود خواهد داشت؟
 - تأثیر بازیگران OTT بر روی مدل‌های کسب‌وکار اتخاذ شده توسط اپراتورها چگونه است؟ و اپراتورها چه سیاستی را باید در ارتباط با آن اتخاذ نمایند؟
- برای پاسخ به این سؤالات، ابتدا باید مدل کسب‌وکار را به صورت یک ساختار در نظر گرفت که نشان می‌دهد چگونه یک ارزش در کل اکوسیستم خلق شده، به گردش درمی‌آید و در اختیار ذینفعان قرار می‌گیرد. لذا تحلیل اثر شبکه 5G بر ارزش شبکه آینده از نظر معماری، تعاملات، سلسله‌مراتب عملکردی، مدل‌های مالی و ارزش ارائه شده به کاربران باید مورد توجه قرار گیرد. در ادامه در سه بخش فرصت‌ها، الزامات و چالش‌های پیش‌روی اپراتورها در مواجهه با 5G و تأثیراتی که بر مدل‌های کسب و کاری خواهند داشت توضیحات مختصری ارائه خواهد شد.

۱-۳-۱ - فرصت‌های جدید ایجاد شده توسط 5G

فناوری 5G، می‌تواند نیازهای خاص بسیاری از صنایع را برآورده کند و به عنوان یک شبکه با فناوری‌های نوظهوری مانند واقعیت افزوده و مجازی (AR/VR)، اینترنت اشیا (IoT) و غیره برای کاربرد در خانه‌های هوشمند، نسل چهارم صنایع (Industrial 4.0)، حمل و نقل هوشمند و سلامت الکترونیکی سازگار شود. بنابراین 5G فرصت‌های جدیدی را در بخش‌های جدید ایجاد خواهد کرد که تاکنون توسط اپراتورهای مخابراتی نادیده گرفته شده است. uRLLC، mMTC و eMBB سناریوهایی هستند که در کاربردهای ذکر شده عوامل اصلی برای طراحی مدل‌های جدید کسب‌وکار از سمت اپراتورها خواهند بود.

۱-۳-۲ - الزامات اپراتورها در پشتیبانی از شبکه 5G

- فرض بر این است که اپراتورها برای رفاه اقتصادی و اجتماعی، همواره بتوانند خدماتی را به کاربران ارائه دهند که در این صورت باید برای پشتیبانی از شبکه 5G باید الزامات زیر در نظر گرفته شوند :
- ارتباطات و محتوا در هر مکان و زمان و بدون تأخیر قابل ارائه باشد.
 - خدمات باید در چندین دستگاه برای کاربر قابل دسترسی باشد.
 - باید از چندین نوع تعامل در فضای ابری پشتیبانی شود.
 - پشتیبانی از فناوری‌ها (متحرک یا ثابت) به صورت یکپارچه انجام شود.
 - امنیت و حریم خصوصی کاملاً پشتیبانی شود.
 - شبکه اجرایشده قابل اعتماد و مقاوم باشد.
 - ارتباطات ارائه شده پاسخگو و زمان واقعی باشد.
 - شبکه مقیاس پذیر و انعطاف پذیری باشد.
 - اپراتورها باید فناوری‌های مانند راننش لبه و شبکه دسترسی رادیویی مبتنی بر ابر (RAN) را پیاده سازی کنند.

- اپراتورها برای پشتیبانی از برش شبکه، باید فناوری‌های مجازی‌سازی عملکرد شبکه (NFV) و شبکه مبتنی بر نرم‌افزار (SDN) را پیاده‌سازی کنند.
- اپراتورها باید حداکثر ظرفیت برای تأمین نیازهای مختلف ترافیکی، سیستم‌عامل‌های مشترک سازگار با هر برنامه مبتنی بر ابر و در نهایت تجزیه و تحلیل پیشرفته برای کنترل و مدیریت کل شبکه را ارائه دهند.

۳-۱-۳ چالش‌های اپراتورهای مخابراتی در مواجهه با 5G

- اینترنت اشیا اتصال میلیاردها دستگاه در شبکه است که لزوماً مبتنی بر سیم‌کارت نیست لذا اپراتورهای مخابراتی مجبورند روش‌هایی را برای تأیید اعتبار چنین دستگاه‌هایی ایجاد کنند که شامل تغییرات بزرگ عملیاتی می‌شود.
- مدل‌های کسب‌وکاری در 5G، ممکن است نیاز به حمایت از صنایع عمودی داشته باشد و این مستلزم مشارکت مجموعه جدید از بازیگران مختلف در اکوسیستم خواهد بود.
- تغییرات و به‌روزرسانی شبکه شامل سرمایه‌گذاری‌های عظیم مالی و فنی است.
- استانداردسازی 5G هنوز در جریان است و قبل از نهایی شدن، نیازمند آزمایش‌های گسترده توسط اپراتورهاست.
- افزایش چشم‌گیر در ترافیک داده‌ها وجود دارد و درآمد نیز در حال کاهش است و یا با رشد تقاضا همراه نیست.
- وضوح دقیق درآمدی وجود ندارد بنابراین تجزیه و تحلیل بازگشت سرمایه بسیار دشوار است و ممکن است افزایش سرمایه موردنیاز برای راه‌اندازی شبکه را به تأخیر بیندازد.

۴-۱-۱ لزوم نوآوری در مدل‌های کسب‌وکار اپراتورها با ظهور 5G

در این بخش، به تکامل مدل‌های کسب‌وکار اپراتورهای مخابراتی در طی یک دوره زمانی، روندهای فعلی که نوآوری برای آن‌ها ضرورت دارد و تأثیر فناوری‌های 5G در شکل دادن این مدل‌ها می‌پردازیم.

۱-۴-۱ روند تکامل مدل کسب‌وکار اپراتورها

سیر تکاملی مدل‌های کسب‌وکار اپراتورها از ارائه سرویس‌های صوتی آغاز شد و به سرویس‌های سه‌گانه صوت-ویدیو-داده و در ادامه به گسترش این سرویس‌ها در بازار ادامه یافته است.

– **مدل کسب‌وکار پهن باند:** همان‌طور که اشاره شد اپراتورها از ارائه سرویس‌های برقراری مکالمات صوتی کار خود را آغاز کردند و در ادامه به تجمیع سرویس‌های سه‌گانه صدا-ویدیو-داده رسیدند. مدل کسب‌وکار پهن باند، مدلی بود که سرویس‌های داده پرسرعت در کنار سرویس‌های صوتی به مشتریان عرضه شد و هدف اصلی آن، افزایش هرچه بیشتر تعداد کاربران بود. این مدل، توسعه یافته مدل dial-up است و مشتریان سنتی صوت را به استفاده از داده تشویق می‌کرد. این مدل، از مدل تعرفه یکسان^۱ شروع شد، تبدیل به ارائه داده با سرعت‌های متغیر^۲ شد و در نهایت به برنامه‌های

^۱ Flat rate

^۲ Iteration of speed

داده نامحدود^۱ منجر شد. درواقع، موفقیت این مدل از سرویس‌های OTT ناشی شده بود و برای هر دو سرویس ثابت و موبایل به کار گرفته شد و تا گسترش فناوری 3G بسیار موردتوجه بود.

– **مدل توسعه هدف:** هدف در این مدل پیشنهاد سرویس و یا محصولات، حوزه‌های مشتریان و بازارها می‌باشد، چراکه این موارد، گزاره ارزش را برای یک اپراتور مخابراتی تشکیل می‌دهند. در این ساختار، اپراتورها به توسعه انواع سرویس‌ها پرداخته و به حوزه‌های کاملاً جدید وارد می‌شوند. قیمت‌گذاری در این مدل‌ها از مدل تعرفه یکسان فراتر رفته و به سمت سطوح مختلف قیمت‌گذاری^۲ بر اساس میزان داندلود و یا پهنای باند رفته است.

– **مدل برون‌سپاری سرویس‌ها:** در این مدل، اپراتورهای مخابراتی بخش‌های مهمی از عملکرد شبکه را برون‌سپاری می‌کنند که این امر مستقیماً هزینه‌های پایه‌ای را بر فروشندگان تجهیزات اعمال می‌کند. حتی بخشی از سیستم‌های پشتیبانی عملکرد به فروشندگان محصولات و خدمات IT (مانند شرکت IBM) سپرده شده بود. مزیت اصلی این مدل برای اپراتورها این است که دیگر نگران تغییرات فناوری، به‌روزرسانی شبکه و توسعه برنامه‌های کاربردی نرم‌افزاری نیستند. بلکه اپراتورها فقط بر بازار و پیشنهادهای جذب مشتریان تمرکز داشتند.

– **مدل اپراتورهای مجازی شبکه (VNO):** اپراتورهای مجازی شبکه به‌عنوان شاخه‌ای از اپراتورهای مخابراتی هستند که سرویس‌هایی را به مشترکین خود ارائه می‌دهند. VNOها مالک طیف فرکانسی نیستند و به زیرساخت‌های شبکه دسترسی ندارند، اما با خرید ظرفیت از اپراتورهای شبکه، سرویس‌های مخابراتی را ارائه می‌دهند. آن‌ها با خرید عمده یک سرویس (مانند مکالمه) و فروش جزئی آن به مشتریان با قیمت مناسب، نقش مهمی در بازار ایفا می‌کنند. VNOها یک پلتفرم ارائه سرویس برای خود ایجاد کرده و به مدیریت سرویس‌ها، قبوض مشتریان و سرویس‌های ارزش‌افزوده می‌پردازند. مزایای این مدل برای اپراتورهای مخابراتی این است که آن‌ها می‌توانند بخشی از کسب‌وکار عمده خود را بدون نگرانی از چگونگی استفاده مشتریان، پیشنهاد انواع سرویس‌ها و یا مدیریت فروش به مشتریان بفروشند. به این ترتیب، چندین VNO می‌توانند هم‌زمان به فعالیت بپردازند.

۲-۴-۱- نیازسنجی نوآوری در مدل کسب‌وکار اپراتورها

محیط عملیاتی اپراتورهای مخابراتی به‌طور فزاینده‌ای پیچیده شده است. اپراتورهای مخابراتی که در پشت سرویس‌های صوت و داده به‌صورت سنتی رشد کرده‌اند، متوجه شده‌اند که با تغییر الگوی مصرف کاربران، نه تنها خلق ارزش به سایر مراحل زنجیره ارزش بلکه به بازارهای کاملاً متفاوتی منتقل شده است. متعاقباً، مدل‌های کسب‌وکار قدیمی تحت فشار فزاینده‌ای قرار گرفته و به نظر می‌رسد دیگر پاسخ‌گو نیستند. مسلماً اپراتورهای مخابراتی در آینده با خدمات سنتی که ارائه می‌دهند در سودآوری مشکل خواهند داشت. روند جهانی در کسب‌وکار اپراتورهای مخابراتی و همچنین خدماتی که OTTها ارائه می‌دهند کسب‌وکار آن‌ها را تحت تأثیر قرار داده است. لذا برای کسب درآمد از فرصت‌های جدید وعده داده‌شده در 5G، اپراتورها مجبورند به حوزه‌های جدیدی ورود پیدا کنند که لزوم تغییر روش‌های سنتی کسب‌وکاری

¹ unlimited

² tiered pricing

آن‌ها را منطبق با الزامات جدید می‌کند و تمرکز اصلی آن‌ها بر روی مدلی است که نوآورانه و انعطاف‌پذیر برای موفقیت باشد.

۳-۴-۱- پتانسیل‌های نوآوری در مدل کسب‌وکار برای 5G

برخی از عوامل مهم محرک نوآوری در مدل کسب‌وکار برای 5G عبارت‌اند از:

- کسب و کار پهن باند تلفن همراه در حال اشباع است و درآمد ناشی از آن در حال کم شدن است. در 5G بازار از حالت B2C به سمت B2B گسترش می‌یابد و مشاغل مختلفی را به بازی خواهد گرفت.
- برش شبکه یک عامل اصلی برای ایجاد برش‌هایی از شبکه از طریق فناوری‌های نرم‌افزاری و مجازی‌سازی متناسب با نیازهای هر صنعت اعم از حمل‌ونقل، سلامت، تدارکات و انرژی استفاده کنند. این فرصت جدیدی برای نوآوری در مدل‌های کسب‌وکار اپراتورها ایجاد می‌کند.
- در 5G خدماتی مانند مکان‌یابی، چندپخش، واقعیت افزوده و مجازی یا ترکیب آن‌ها یک پتانسیل عظیم برای ایجاد اهداف جدید فراهم می‌کند.
- 5G یک فناوری تکامل‌یافته برای نسل چهارم صنایع (Industrial 4.0) است که به اپراتورها کمک خواهد کرد تا مدل‌های کسب‌وکاری جدیدی ایجاد کنند تا بتوانند به درآمدی پایدار دست یابند.

۵-۱- بازیگران و ذینفعان در مدل‌های نوین کسب‌وکار 5G

اکوسیستم 5G زنجیره ارزشی جدیدی را ایجاد می‌کند و مدل‌های سرویس‌دهی آن، از پویایی و انعطاف‌پذیری بسیار بیشتری از آنچه امروز رایج است، برخوردار خواهد بود. لذا ارتباطات کسب‌وکاری آن نیز بسیار گسترده خواهد بود. جدول ۱-۱، نقش ذینفعان اصلی را به همراه تعاملات کسب‌وکار آن‌ها تشریح می‌کند. ۱۰ بازیگر اصلی در این زنجیره ارزش عبارت‌اند از [۵]:

۱. تولیدکنندگان تجهیزات سخت‌افزاری/نرم‌افزاری فناوری اطلاعات
۲. تولیدکنندگان زیرساخت شبکه
۳. تأمین‌کنندگان توابع نرم‌افزاری شبکه^۱
۴. تولیدکنندگان دستگاه‌ها^۲
۵. ارائه‌کنندگان خدمات فناوری اطلاعات
۶. ارائه‌کنندگان خدمات شبکه (NSP^۳)

¹ Software network function providers

² Device manufacturers

³ Network Service Providers

۷. ارائه‌کنندگان خدمات ارتباطی (CSP¹)۸. ارائه‌کنندگان خدمات برخط (OSP²)۹. کارگزاران^۳

۱۰. مشتریان نهایی

جدول ۱-۱: نقش‌ها و تعاملات ذینفعان در 5G

ردیف	عنوان	نقش‌ها و تعاملات
۱	تولیدکنندگان تجهیزات سخت‌افزاری / نرم‌افزاری IT برای فراهم‌کنندگان سرویس IT (۵)، سازندگان زیرساخت شبکه (۲)، فراهم‌کنندگان سرویس شبکه (۶) و فراهم‌کنندگان سرویس آنلاین (۸)	ارائه‌دهنده تجهیزات سخت‌افزاری / نرم‌افزاری IT برای فراهم‌کنندگان سرویس IT (۵)، سازندگان زیرساخت شبکه (۲)، فراهم‌کنندگان سرویس شبکه (۶) و فراهم‌کنندگان سرویس آنلاین (۸)
۲	تولیدکنندگان زیرساخت شبکه	تهیه زیرساخت برای ارائه‌کنندگان خدمات شبکه (۶)
۳	تأمین‌کنندگان توابع نرم‌افزاری شبکه	تأمین توابع نرم‌افزاری شبکه برای ارائه‌کنندگان خدمات شبکه (۶) برای ارائه‌کنندگان خدمات ارتباطی (۷) و برای ارائه‌کنندگان خدمات برخط (۸)
۴	تهیه‌کنندگان دستگاه‌ها	تهیه دستگاه‌ها برای ارائه‌کنندگان خدمات شبکه (۶) برای ارائه‌کنندگان خدمات برخط (۸) و برای مشتریان نهایی (۱۰)
۵	ارائه‌کنندگان خدمات فناوری اطلاعات	ارائه خدمات فناوری اطلاعات به ارائه‌کنندگان خدمات شبکه (۶) به ارائه‌کنندگان خدمات ارتباطی (۷) و به ارائه‌کنندگان خدمات برخط (۸)
۶	ارائه‌کنندگان خدمات شبکه	ارائه خدمات شبکه به ارائه‌کنندگان خدمات ارتباطی (۷) به ارائه‌کنندگان خدمات برخط (۸) از طریق کارگزاران (۹) به ارائه‌کنندگان خدمات فناوری اطلاعات (۵) به سایر ارائه‌کنندگان خدمات شبکه و به مشتریان نهایی (۱۰)
۷	ارائه‌کنندگان خدمات ارتباطی	ارائه خدمات ارتباطی به ارائه‌کنندگان خدمات برخط (۸) و به مشتریان نهایی (۱۰)
۸	ارائه‌کنندگان خدمات برخط	ارائه خدمات برخط به مشتریان نهایی و امکان دریافت محتوا از آن‌ها (ذینفعان صنایع عمودی همچون صنعت خودرو، انرژی، تولید، سلامت، رسانه و سرگرمی، می‌توانند این نقش را بر عهده گیرند).
۹	کارگزاران	واسطه بین ارائه‌کنندگان خدمات برخط (۸) و ارائه‌کنندگان خدمات شبکه (۶) و همچنین بین خود ارائه‌کنندگان خدمات شبکه در جهت استقرار پویا و بهینه راه‌حل‌های ارتباطی
۱۰	مشتریان نهایی	کسب‌وکار به مشتری، کسب‌وکار به کسب‌وکار، کسب‌وکار به حکومت

علاوه بر بازیگران عمومی فوق‌الذکر، بازیگران دیگری در مستندات علمی موردبررسی و واکاوی قرار گرفته است که در ادامه به توصیف هر یک از آن‌ها پرداخته خواهد شد.

¹ Communication Service Providers² Online Service Providers³ Brokers

الف) واسطه‌ها: تحولات زیست‌بوم و رگولاتوری فوق، نقش‌های جدیدی از جمله واسطه‌ها^۱ در کسب و کارهای نوین ایجاد شده است. یک واسطه، به صورت میانجی مابین OSPها (شامل صنایع عمودی) و NSPها و یا مابین چند NSP قرار می‌گیرد و به ارائه سرویس‌هایی برای کمک به تأثیرگذاری بیشتر مشتریان می‌پردازد. همچنین، واسطه‌ها ممکن است بین مشتریان و کاربران نهایی از طرفی و NSP/OSPها که سرویس‌ها با ویژگی‌های مشابه با بازار ارائه می‌دهند از طرف دیگر، قرار گیرند [5].

در میان این واسطه‌ها می‌توان به دو نمونه زیر اشاره کرد:

- واسطه فرانسی: که به اشتراک‌گذاری طیف مابین NSPها کمک می‌کند.
 - واسطه اتصالات/پردازش: مدیریت تبادل اتصالات و منابع پردازشی مابین NSPها و فراهم‌کنندگان سرویس-های ابری جهت اجرای سرویس‌های انتها به انتها با SLA تضمین‌شده را انجام می‌دهد.
- ب) OTTها: OTTها سرویس‌ها و کاربردهایی را ارائه می‌دهند که بر روی بستر اینترنت و شبکه‌های اپراتورهای مخابراتی (ارائه دهنده سرویس‌های اینترنتی) قابل دسترسی و استفاده هستند. نمونه‌های معروف OTTها عبارتند از WhatsApp، Skype، Facebook و سایت‌های تجاری چون Amazon. در این ساختار، محتوای اینترنت و برقراری ارتباطات از هم جدا هستند. این امر باعث می‌شود OTTها به طور مستقیم، فقط با کاربران نهایی تعامل داشته باشند و از طرف دیگر اپراتورهای مخابراتی کنترل روی محتوا و یا برنامه‌های کاربردی ندارند. معماری کاملاً مبتنی بر IP در 5G و LTE نیز این تفکیک در تحویل سرویس از زیرساخت شبکه را افزایش می‌دهد [1]. به این ترتیب، OTTها کسب و کارهای نوینی را آغاز کرده و گسترش می‌دهند که به نوبه خود، تقاضا برای سرعت بیشتر انتقال داده و در نتیجه سرمایه‌گذاری بیشتر در زیرساخت‌های شبکه توسط اپراتور را افزایش می‌دهد. به علاوه، سیستم‌های پشتیبانی اپراتورها نیز برای پشتیبانی از سرویس‌های مخابراتی انتها-به-انتها تحت تأثیر قرار می‌گیرند.

۶-۱- مدل‌های کسب‌وکار اپراتورهای مخابراتی در 5G

در این بخش، مدل‌های مختلف کسب‌وکار که یک اپراتور مخابراتی در 5G می‌تواند بکار گیرد را مورد بحث قرار می‌دهیم. برای یک اپراتور، دو انتخاب ساختاری وجود دارد:

- ادامه روال عملکردی موجود
 - تنوع‌بخشی به سرویس‌های دیجیتال و تغییر ساختار به سمت تحول دیجیتال
- در ادامه، به رویکردهای مختلفی که یک اپراتور می‌تواند انتخاب کند خواهیم پرداخت:

¹ Brokers

۱-۶-۱- مدل کسب‌وکار – اپراتور به‌عنوان فراهم‌کننده اتصالات^۱

در این مدل، تمرکز بر اتصالات به‌عنوان پایه کسب‌وکار یک اپراتور است. فاکتورهای اصلی در این خصوص عبارت‌اند از: رشد تعداد مشترکین، رشد متوسط درآمد از هر کاربر ($ARPU^2$) تقسیم بر اتصالات در کاربردهای IoT و غیره. در مدل مبتنی بر اتصالات، اپراتور به‌عنوان فراهم‌کننده اتصالات نقش دارد و بر اساس دیدگاه سنتی بر بازار مشتریان (صدا/داده/پیام) تمرکز دارد. همچنین اپراتور به OTT‌ها اجازه می‌دهد که سرویس‌های دیجیتال خود را ارائه دهند اما سود اپراتور، به‌صورت غیرمستقیم از افزایش درآمد داده و افزایش ARPU (به علت فعالیت OTT‌ها) حاصل می‌شود. درواقع مدل فوق، برای هر نوع فروش تجاری اعم از خرده یا عمده‌فروشی به کار می‌رود. در این مدل فرض می‌شود که فراهم‌کننده سرویس و مشتری در زیرساخت‌های فیزیکی از هم جدا هستند.

در این مدل، اپراتورهای مخابراتی هیچ‌گونه کنترل یا حقی بر محتوای برنامه‌های کاربردی ندارند؛ این مدل‌های کسب‌وکار نوین اپراتورها، توسط بازیگران OTT تحت تأثیر قرار خواهند گرفت. درمجموع، OTT‌ها بدون اینکه در ساخت شبکه‌ها سرمایه‌گذاری کرده باشند با اپراتورها رقابت می‌کنند.

با ورود 5G، مدل کسب‌وکار مبتنی بر اتصالات باید توسعه یابد و اتصالات IP با الزامات QoS و نیازمندی‌هایی چون تأخیر را مدنظر قرار دهد. شبکه 5G باید بازدهی این مدل را افزایش دهد به‌این‌ترتیب که اپراتور بتواند جریان داده را پیکربندی کرده و فقط توابع ضروری و موردنیاز، به‌صورت برنامه‌ریزی‌شده در شبکه مورد استفاده قرار گیرند. این امر به معماری شبکه ماژولار نیاز دارد.

۱-۶-۲- مدل کسب‌وکار – مشارکتی^۳

در این مدل، انواع مختلف همکاری با یک شرکت دیگر مورد بحث قرار می‌گیرد. شرکت همکار می‌تواند یک اپراتور مجازی شبکه یا یک شرکت سوم به عنوان OTT باشد که به ارائه محتوا می‌پردازد.

در مدل مشارکتی با یک اپراتور مجازی، بخشی از زیرساخت به اپراتور مجازی شبکه اجاره داده می‌شود. مزیت این مدل برای اپراتورهای مخابراتی در این است که می‌توانند بخشی از کسب‌وکار عمده خود را یکجا و بدون نگرانی بفروشند. میکرواپراتورها یک مثال از این نوع مشارکت هستند که برای استفاده از طیف فرکانسی به MNO وابسته هستند. میکرواپراتورها در همکاری با اپراتورهای اصلی می‌توانند به تعداد زیادی کاربر در یک منطقه مانند بیمارستان یا دانشگاه خدمات ارائه نمایند یا برای اهداف خاص مانند ارائه خدمات به دولت (B2G) از قبیل بندرگاه، فرودگاه یا نیروگاه‌های تولید انرژی بسیار مناسب خواهند بود.

اما در همکاری با یک شرکت سوم مخصوصاً OTT‌ها، باید توجه داشت که آن شرکت همکار می‌تواند مستقیماً به کاربران نهایی سرویس‌هایی را پیشنهاد دهد که بر پایه شبکه اپراتور یا توانایی‌های خلق ارزش دیگری بنا شده‌اند. ادوات پوشیدنی

¹ Telecom Operator as Connectivity Provider

² Average Revenue Per User

³ Partnership

هوشمند با سیستم پایش سلامت از راه دور یک مثال از این مورد همکاری است که در آن، ویژگی و خدمات پایش سلامت توسط شرکت سوم ارائه می‌شود در حالی که این سیستم بر اساس شبکه ارتباطی اپراتور به فعالیت می‌پردازد. در تعریف مدل‌های کسب‌وکار جدید برای همکاری با OTTها، باید سود بیشینه برای هر سه بازیگر (اپراتور، OTT و مشتریان) در نظر گرفته شود. در این راستا، هزینه تأمین پهنای باند کافی و سرعت بالای انتقال داده توسط اپراتور باید لحاظ شود. در آینده، اپراتورهای مخابراتی می‌توانند با هر یک از OTTها توافقی برای ارائه QoS خاص برای اطمینان از کسب سود لازم از شبکه داشته باشند. در این مدل‌ها، اپراتور می‌تواند علاوه بر توافق با مشتریان برای دسترسی به منابع، با تولیدکنندگان محتوا مدل‌های کسب‌وکار مختلفی را به اجرا درآورند.

۱-۶-۳- مدل کسب‌وکار – اپراتور به‌عنوان ارائه‌دهنده خدمات دیجیتال^۱

اپراتور در این مدل کسب‌وکار فراتر از ارائه خدمات اصلی مانند اتصال و انتقال، خدمات دیجیتال مانند محتوای تلویزیون و فیلم، خدمات مالی و خدمات خانه‌های هوشمند را ارائه می‌دهد. هرچند دوره بازگشت سرمایه در این مدل طولانی است ولی مزایایی دارد که در ادامه به آن می‌پردازیم:

- اپراتورها با ایجاد جریان درآمدی جدید از سرویس‌های دیجیتال، مستقیماً درآمد کسب خواهند کرد.
- اپراتورها به‌عنوان یک ارائه‌دهنده خدمات "دیجیتال" که با تغییر رفتار کاربران مرتبط است، موقعیت خود در بازار رقابتی را مجدداً بازخواهند یافت.
- بسیاری از خدمات جدید حاشیه کمتری نسبت به مدل کسب‌وکار اصلی (ارائه‌دهنده اتصالات) دارند و برنامه‌های سرمایه‌گذاری این را تشخیص داده‌اند. کما اینکه با توجه به مقیاس اصلی کسب‌وکار، هر چیزی که تنها ۵٪ به درآمد اضافه کند باید یک موفقیت تلقی شود.
- خدمات جدید منجر به منافع غیرمستقیم برای مدل کسب‌وکار اصلی اپراتورها هستند چراکه باعث می‌شوند از ریزش مشتریان کاسته شود و در برابر رقبای OTT مقاوم شوند.

۱-۶-۳-۱- ارائه خدمات دیجیتال توسط یک اپراتور

سرویس‌های ارائه‌شده توسط OTTها شامل سرویس‌های ویدئویی و پیام‌رسان هستند که به‌صورت زیر می‌تواند توسط اپراتور ارائه شود:

- برنامه‌ها را خود بسازد،
 - با یک ارائه‌دهنده OTT شریک شود.
- در مدل ساخت برنامه توسط اپراتور، باید درباره مشتریان هدف تصمیم‌گیری شود، به این مفهوم که آیا اپراتورها فقط به مشتریان خود خدمت‌رسانی کنند یا از طریق سایر اپراتورها به دیگر مشتریان نیز دسترسی دارند؟ اگر تصمیم این باشد که فقط به مشتریان خود خدمت ارائه دهند مسلماً بازار هدف محدود است و اپراتور می‌تواند خدمات متفاوتی را به

¹ Telecom Operator as a Digital Services provider

مشتریان خود ارائه دهد. ولی در مدل مشارکت با یک ارائه‌دهنده OTT، زمان بازاریابی و سرمایه‌گذاری کمتر است. اما در مقایسه با درآمد کسب‌شده توسط ارائه‌دهنده OTT، درآمد بسیار کمتری نصیب اپراتورها خواهد شد. بنابراین به‌عنوان نتیجه‌گیری می‌توان گفت اگر اپراتور برنامه را خود بسازد و به مشتریان بیشتری دسترسی داشته باشد درازمدت مدل کسب‌وکاری بهتری خواهد داشت، چون که بازار هدف بزرگ‌تری داشته و می‌تواند درآمد بیشتری کسب کند. اما این نیاز به سرمایه‌گذاری کلان، تغییر در فرهنگ‌سازمانی و زمان طولانی برای حضور در بازار دارد. بااین‌حال، اپراتورها نیاز به تغییر تدریجی مدل کسب‌وکار دارند. در طول سال‌ها، آن‌ها به سازمان‌های پیچیده با چندین لایه تبدیل شده‌اند که این می‌تواند موانعی برای نوآوری ایجاد کند.

۱-۶-۲- تأثیر 5G بر مدل کسب‌وکار ارائه خدمات دیجیتال

تمام ویژگی‌های ارائه‌شده توسط 5G می‌تواند محرکی برای مدل کسب‌وکار "ارائه خدمات دیجیتال" باشد. چراکه دنیایی از فرصت‌های جدید در بازارهای عمودی گشوده خواهد شد. معماری ماژولار شبکه 5G قابلیت برنامه‌ریزی و انعطاف‌پذیری برای توابع شبکه را فراهم می‌کند تا سرویس موردنظر پیکربندی و مدیریت شود و اپراتورها آزادی مدیریت و توسعه شبکه را داشته باشند. برش شبکه ارائه‌شده در 5G اپراتورها را قادر می‌سازد تا برش‌هایی از شبکه خود را از طریق فناوری مجازی‌سازی ایجاد کنند که می‌تواند متناسب با نیازهای صنایع عمودی مانند حمل‌ونقل، سلامت، تدارکات، انرژی و غیره باشد. این امر باعث خواهد شد که اپراتورها در تمام بخش‌های صنایع عمودی در ارائه خدمات دیجیتال نقش داشته باشند. واقعیت افزوده و مجازی یک پتانسیل بزرگ برای ایجاد اهداف جدید با توجه به خلق ارزش در بازارهای عمودی به‌منظور کشف، پیاده‌سازی و ارائه مجموعه خدمات دیجیتالی خواهد بود. همچنین ارتباطات با تأخیر کم و قابلیت اطمینان فوق‌العاده (uRLLC) و ارتباطات نوع ماشین حجیم (mMTC)، فرصتی طلایی برای توسعه بازار در بخش‌های صنایع نسل چهارم (Industrial 4.0) شهرهای هوشمند، خانه‌های هوشمند، بهداشت، خدمات درمانی، خرده‌فروشی، سرگرمی و غیره توسط اپراتورها خواهد بود.

۱-۷- جمع‌بندی

شرکت‌های مخابراتی و ارائه‌دهندگان خدمات باید شبکه‌های خود را برای ارائه راه‌حل‌های مقرون‌به‌صرفه، مقیاس‌پذیر و انعطاف‌پذیر به‌منظور پشتیبانی از افزایش تصاعدی تقاضای شبکه، تعداد زیاد دستگاه‌ها و برنامه‌ها، نرخ داده بالاتر، تأخیر کمتر و بازده انرژی بیشتر آماده کنند. مسلماً کل زنجیره تأمین، تحت تأثیر تحول 5G قرار خواهد گرفت و مدل‌های کسب‌وکار کلاسیک مانند مدل پهن باند با مدل‌های جدید در 5G تکمیل خواهد شد. نوآوری در مدل کسب‌وکار شاید بزرگ‌ترین نوآوری باشد که 5G به بازار خواهد آورد و پیشرفت‌های فناورانه همراه با پیوند خوردن با صنایع اقتصاد شبکه مخابراتی را متحول خواهد کرد. مدل‌های کسب‌وکاری نوین این پیام را به اپراتورها می‌دهد که باید از ارائه‌دهندگان صرفاً اتصالات به ارائه‌دهندگان خدمات دیجیتال مانند ویدئو و داده تبدیل شوند و ضمن حفظ بازارهای فعلی از مدل‌های B2C به مدل‌های B2B و B2B2C مهاجرت نمایند.

فصل ۲- بررسی فرصت‌های کسب‌وکاری نهفته در زیرساخت 5G برای شبکه هوشمند

۲-۱- مقدمه

پیش‌بینی می‌شود که درآمد اپراتورها در 5G از مدل‌های کسب‌وکاری 5G2C، 5G2B و 5G2B2C حاصل شود، این در حالی است که سهم درآمدی 2B در نسل‌های 2G/3G/4G بسیار ناچیز یا عملاً صفر بود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که نقطه قوت 5G در شکل‌گیری مدل‌های کسب‌وکاری است که با شرکت‌ها و صنایعی مانند انرژی، حمل‌ونقل و یا سلامت و بر اساس فناوری‌های نوین دیجیتال شکل خواهد گرفت. حال سهم این درآمد در بازار 5G چه میزان است و چه مدل‌هایی مثلاً در شبکه هوشمند برق قابل‌ارائه است موضوعاتی است که در این بخش از گزارش به آن پرداخته شده است و سعی شده به معماری این کسب‌وکارها و همچنین خدمات و منافعی که عاید صنعت برق خواهد شد، بپردازیم.

۲-۲- بازگشت سرمایه (ROI¹) اپراتورهای 5G

اگر بخواهیم مروری سریع بر نحوه بازگشت سرمایه یک اپراتور (مانند ZTE) در مورد درآمدها و هزینه‌ها در 5G داشته باشیم باید به شکل ۱-۲ رجوع کنیم. همان‌طور که در این شکل مشخص شده است بخش درآمدها شامل درآمدهای ناشی از کسب‌وکارهای 5G2C و 5G2B می‌شود که زیرمجموعه 5G2B منابع درآمدی مانند هوشمند سازی کارخانه‌ها، انرژی، حمل‌ونقل، رسانه‌های جدید و سایر موارد تعریف شده است. اما هزینه‌ها شامل هزینه‌های سرمایه‌گذاری (CAPEX) و هزینه‌های پشتیبانی و تعمیر و نگهداری (OPEX) است که مجموع هزینه‌ها CAPEX و OPEX هزینه کل (TCO²) را تشکیل می‌دهد. نکاتی که در مورد این درآمدها و هزینه‌ها قابل‌تأمل است این است که :

- اولاً در بخش سرمایه‌گذاری (CAPEX) حدود ۷۰ تا ۸۰ درصد از این سرمایه‌گذاری مربوط به شبکه رادیویی مبتنی بر ابر (RAN³)، حدود ۱۵ درصد مربوط به شبکه حامل (BN⁴) و ۵ درصد مربوط به هسته شبکه (CN⁵) خواهد بود.
- دوماً در بخش هزینه‌های پشتیبانی (OPEX)، هزینه‌های تعمیر و نگهداری (O&M) شبکه، هزینه بازاریابی و هزینه‌های عمومی-اداری بیشترین سهم را خواهند داشت.
- سوماً در بخش درآمدها پیش‌بینی می‌شود که درآمد حاصل از 5G2C بیش از ۸۰ درصد کل درآمد را تشکیل دهد، درحالی‌که درآمد حاصل از 5G2B در سه سال اول نسبتاً کم است و پس از سال پنجم به‌تدریج به بیش از ۲۰ درصد می‌رسد که در بلندمدت این درآمد می‌تواند به بیش از یک‌سوم کل درآمد اپراتورها ارتقاء یابد که تا حد زیادی به توسعه اقتصادی کشورها و استراتژی اپراتورها برای توسعه شبکه 5G بستگی دارد.

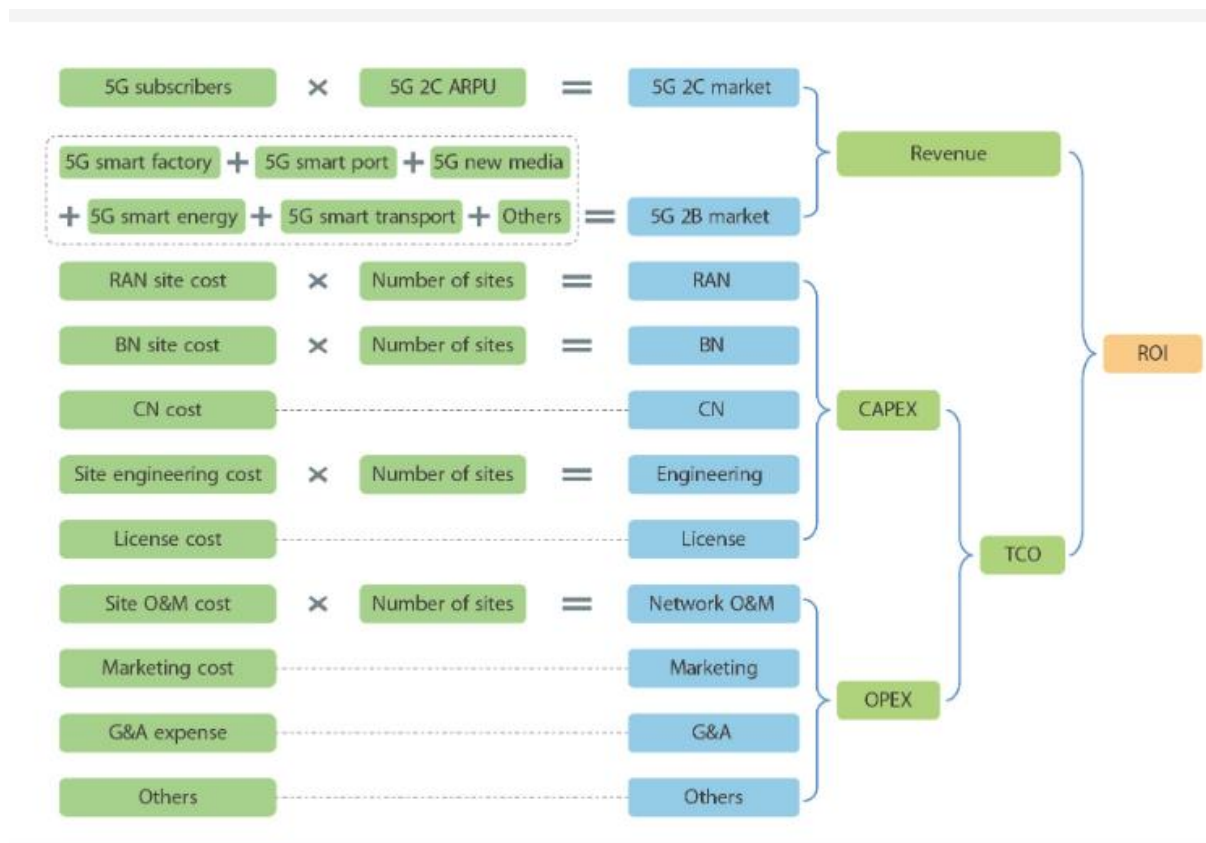
¹ Return On Investment

² Total Cost of Ownership

³ Radio Access Network

⁴ Bearer Network

⁵ Core Network



شکل ۱-۲: تجزیه و تحلیل بازگشت سرمایه (ROI) برای یک اپراتور [۷]

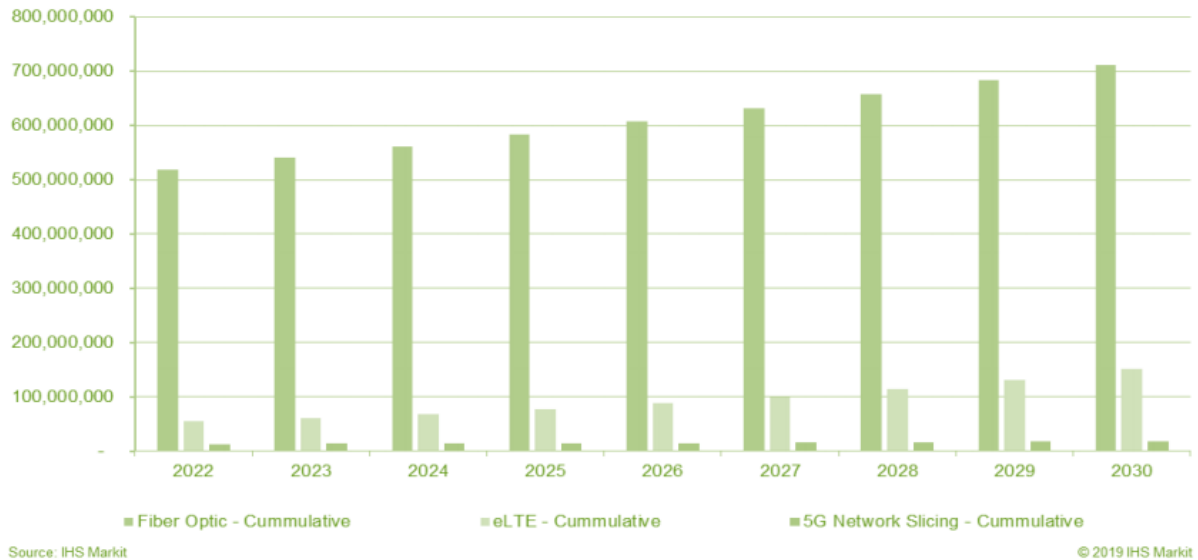
بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در 5G نیز در کوتاه‌مدت بخش اعظمی از درآمد اپراتورها از بازار مشترکین تأمین خواهد شد و ممکن است که در بلندمدت 2B بخشی از این درآمد را به خود اختصاص دهد لذا با این رویکرد مدل‌ها یا سناریوهای کسب و کاری در شبکه هوشمند برق بررسی می‌شود تا مشخص شود چه خدماتی در قالب B2B یا B2B2C از سمت 5G در شبکه هوشمند قابل ارائه هستند.

بر اساس اطلاعات آماری ارائه شده، نشان داده شده است که در مورد دو شاخصه مهم یعنی هزینه‌های کلی (TCO) و بازگشت سرمایه (ROI) در شبکه هوشمند، در صورتی که از برش شبکه 5G به جای سایر فناوری‌های رقیب مانند فیبر نوری و LTE استفاده شود این دو شاخصه در برابر سایر فناوری‌های رقیب مانند LTE یا شبکه فیبر نوری به میزان قابل توجهی، کاهش خواهد داشت.

اولاً در حال حاضر اپراتورها هزینه‌ای که بابت دارایی‌های متصل شبکه برق مانند کنتورهای هوشمند از صنعت دریافت می‌کنند بر اساس پهنای باند اختصاص داده شده یا سایر شاخص‌های کلیدی عملکرد (KPI^1) نیست بلکه به ازای هر دستگاه (Per Device) این هزینه دریافت می‌شود. ولی اگر برش شبکه و سفارشی‌سازی برای شبکه هوشمند اتفاق بیفتد اپراتورها باید بر اساس KPIهای مبتنی بر عملکرد شبکه سفارشی‌سازی شده، صنعت را شارژ کنند که هم برای اپراتورها و هم برای صنایع مزایایی خواهد داشت و عملاً یک بازی برد-برد خواهد بود. این تغییر رویکرد یعنی ارائه برش

¹ Key Performance Indicator

شبکه به‌عنوان سرویس (Slicing Network as a Service) به‌جای ارائه شبکه به‌عنوان سرویس (Network as a Service) تا حد زیادی هزینه‌های کل (TCO) و زمان بازگشت سرمایه (ROI) را کاهش خواهد داد که بر اساس مرجع [۸] و و شکل‌های ۲-۲ و ۳-۲، کاهش هزینه‌های کل (TCO) از ۷۱۱ میلیون دلار برای شبکه فیبر نوری به ۹۱.۴ میلیون دلار برای برش شبکه 5G و همچنین بازگشت سرمایه در کمتر از پنج سال نسبت به سایر فناوری‌ها اتفاق افتاده است



شکل ۲-۲: مقایسه هزینه TCO برای سه فناوری برش شبکه، LTE و فیبر نوری



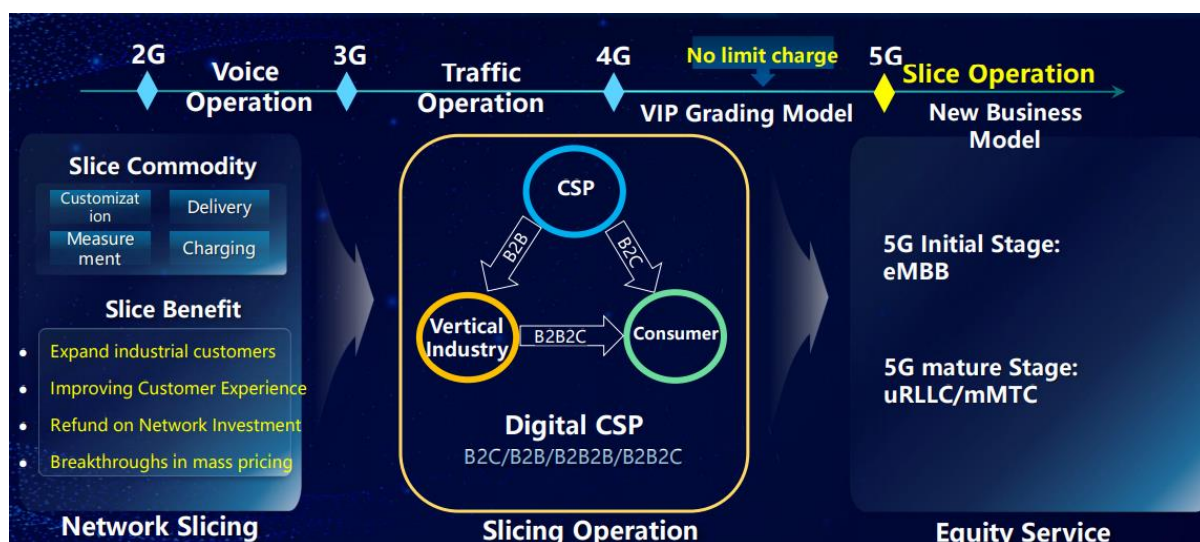
شکل ۲-۳: بازگشت سرمایه در یک بازه ۱۰ ساله در صورت استفاده از برش شبکه 5G

۲-۳- مدل‌های کسب‌وکاری در شبکه هوشمند در حضور 5G

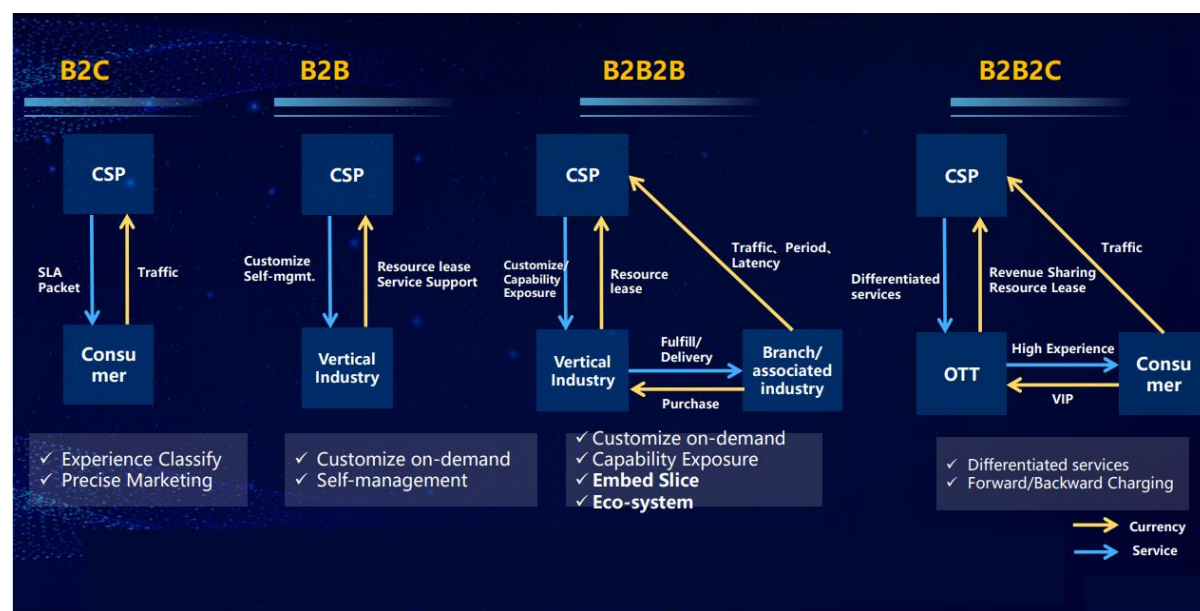
با یک بررسی در نسل‌های مختلف شبکه سلولار تلفن همراه (2G/3G/4G) می‌توان نتیجه گرفت که آنچه در یک نسل با نسل قبلی تفاوت اساسی کرده و به‌عنوان شکل‌گیری یک نسل جدید قلمداد شده است بهره‌برداری بیشتر از

ترافیک بوده است. اما در نسل پنجم (5G) علاوه بر این مزیت، بهره‌برداری از برش شبکه نیز مطرح است. درواقع برش شبکه نه تنها یک فناوری بلکه یک مدل کسب‌وکار جدید است که علاوه بر پاسخ‌گو بودن به الزامات فنی، منافع اقتصادی تمام ذینفعان زنجیره ارزش را نیز تأمین می‌کند.

با کمک فناوری‌های منحصربه‌فرد در شبکه 5G مطابق شکل‌های ۲-۴ و ۲-۵، کسب‌وکارهای دیجیتالی B2C/B2B/B2B2B/B2B2C شکل می‌گیرد که تعاریف کلی این مدل‌های کسب‌وکاری در ادامه آورده شده است.



شکل ۲-۴: مدل‌های مختلف بهره‌برداری از برش شبکه و ایجاد کسب‌وکار با صنایع عمودی در 5G [۹]



شکل ۲-۵: نمونه‌هایی از کسب‌وکارهای شکل‌گرفته در 5G بر اساس برش شبکه (SN) [۹]

- کسب‌وکار بنگاه به مشتری (B2C): در این مدل اپراتورها (CSP^1) یک بسته موافقت‌نامه‌های سطح سرویس (SLAs) را در اختیار مشتری قرار می‌دهند و به ازای آن‌ها مشترکین ترافیک خود (صوت، داده و تصویر) را در اختیار اپراتورها قرار خواهند داد.
 - کسب‌وکار بنگاه به بنگاه (B2B): در این مدل اپراتورها، خود مدیریتی صنایع که توسط برش شبکه 5G سفارشی شده را در اختیار صنایع عمودی قرار می‌دهند و به ازای آن صنایع، منابع و خدمات پشتیبانی به اپراتورها اختصاص می‌دهند.
 - کسب‌وکار بنگاه به بنگاه به بنگاه (B2B2B): در این مدل اپراتورها قابلیت سفارشی‌سازی صنایع را ارائه می‌دهند و در عوض صنایع منابع خود (دارایی، پشتیبانی و ...) را به اپراتورها ارائه می‌کنند.
 - کسب‌وکار بنگاه به بنگاه به مشتری (B2B2C): اپراتورها خدمات متمایزی به OTT‌ها یا صنایع عمودی ارائه می‌دهند و این بنگاه‌ها بهترین تجربه از سرویس ارائه‌شده را به مشتریان خود عرضه می‌کنند در مسیر عکس مشتریان در عوض ترافیک خود را در اختیار بنگاه اول (CPS) و بنگاه واسط (OTT) قرار داده که در درآمد کسب‌شده با اپراتورها شریک خواهند بود.
- همان‌طور که اشاره شد، سه مدل کسب‌وکاری B2B، B2B2B و B2B2C توسط برش شبکه 5G برای صنایع عمودی مانند صنعت برق (شبکه هوشمند) قابل شکل‌گیری است که مصادیقی از آن‌ها در جدول ۱-۲ ملاحظه می‌شود.

جدول ۱-۲: نمونه کسب‌وکارهای شکل‌گرفته در شبکه هوشمند در حضور 5G

 B2B	 B2B2C		 B2B2B
Distribution Automation	Distributed Generation	Supply of DG Systems	EV (V2G & G2V)
		Leasing—PPA Services	
		Rent the Space Model	
Intelligent Workforce	Demand Management	Energy Services (ESCOs)	E-market
		Supply of Smart Home Solution	

¹ Communications Service Providers

		Demand Response Services	
Demand Response	Integrated Systems	Microgrid	
		Virtual Power Plant	

در ادامه این گزارش ابتدا در بخش ۲-۴، به بررسی هر یک از مصادیق ذکرشده در این جدول در قالب شبکه هوشمند (B2B و B2C در شبکه هوشمند) خواهیم پرداخت و سپس نقش شبکه 5G در شکل‌گیری و انعطاف‌پذیری برخی از این مدل‌های کسب‌وکاری (B2B2C و B2B2B) در بخش‌های ۲-۵ و ۲-۶ بررسی خواهد شد.

۲-۴- تحلیل مدل‌های کسب‌وکاری B2C و B2B در شبکه هوشمند

در این بخش، به بررسی مدل‌های کسب‌وکاری شبکه هوشمند (فارغ از موضوع 5G) پرداخته خواهد شد. تولید پراکنده، مدیریت تقاضا، سیستم‌های مجتمع و یکپارچه منطقه‌ای، ایستگاه‌های شارژ خودرو برقی، تجمع خودروهای برقی در شبکه برق، تجمع واحدهای ذخیره‌ساز انرژی در شبکه برق، مصادیقی هستند که به موضوع کسب‌وکاری آن‌ها در این بخش، توجه شده است.

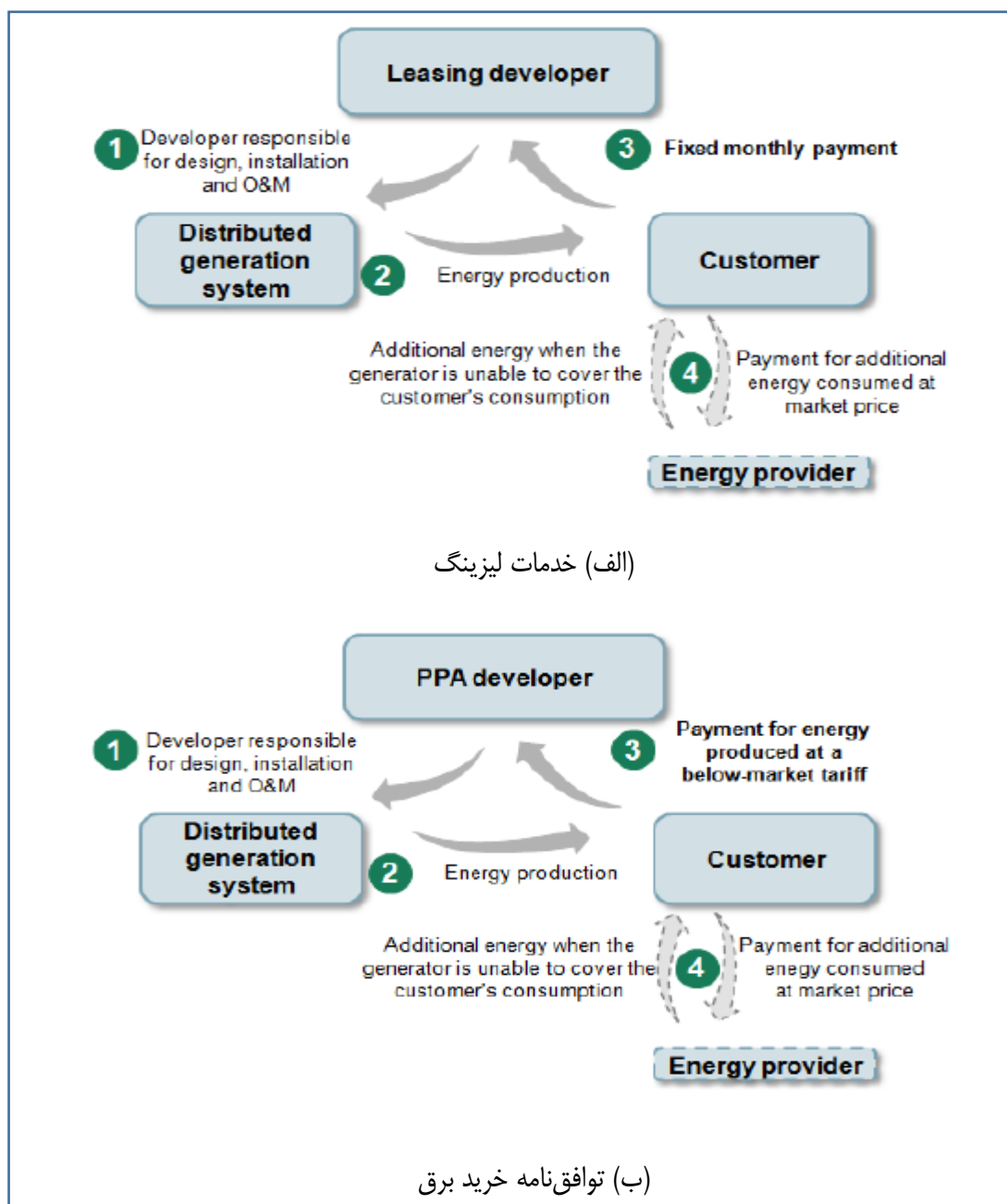
۲-۴-۱- مدل کسب‌وکار تولید پراکنده (Distributed Generation)

مدل‌های کسب‌وکاری تولید پراکنده باعث توسعه سیستم‌های تولید برق در سمت مصرف‌کننده می‌شوند. همان‌گونه که در جدول ۱-۲ مشخص شده است در این گروه، سه مدل کسب‌وکار شامل تأمین‌کنندگان سیستم‌های تولید پراکنده، خدمات لیزینگ یا توافق‌نامه خرید برق و مدل اجاره فضا، تاکنون شناخته شده است که معیار اصلی تمایز بین آن‌ها مالکیت دارایی‌ها و سطح ریسک آن‌ها هست.

- **تأمین سیستم‌های تولید پراکنده:** این مدل، سنتی‌ترین مدل کسب‌وکار تولید پراکنده هست که شامل ارائه محصولات و خدمات مختلف برای کاربران نهایی در قالب فروش سیستم‌ها و لوازم جانبی با خدمات کامل قبل و بعد از فروش، فروش سیستم‌ها و لوازم جانبی متناسب با شرایط خاص مشتریان، فروش سیستم‌ها و لوازم جانبی استاندارد و خدمات عملیاتی و نگهداری سیستم‌های خریداری شده می‌باشد.
- **خدمات لیزینگ یا توافق‌نامه خرید برق:** وقتی سیستم‌های تولید پراکنده اجاره داده می‌شوند یا توافق‌نامه خرید برق وجود دارد، تأمین‌کنندگان، مالکیت سیستم‌های تولید پراکنده را حفظ می‌کنند و تولیدکنندگان، مبلغی ثابت برای استفاده از سیستم یا هزینه متغیر با توجه به توان تولیدشده پرداخت می‌کنند. در این مدل خطر ریسک تولیدکنندگان ناشی از مالکیت سیستم کاهش می‌یابد. جریان پرداخت‌ها و خدمات بین ذینفعان مختلف این مدل در شکل ۲-۶ نشان داده شده است.

قراردادهای خرید برق (PPA¹) شباهت زیادی به قراردادهای لیزینگ دارد، با این تفاوت که در PPA، مشتریان بر اساس قرارداد تعیین‌شده (یورو / کیلووات ساعت) به توسعه‌دهندگان پرداخت می‌کنند که معمولاً کمتر از نرخ بازار است. بنابراین، توسعه‌دهندگان به جای مشتری، تمام خطرات ناشی از تغییر سطح تولید را به عهده می‌گیرند. تفاوت بین این دو مدل در نوع پرداخت ماهانه آنها است – پرداخت‌های ثابت در مورد توافق‌نامه‌های لیزینگ، و پرداخت برای برق تولیدشده در مورد PPAs – و فقط PPAها گزینه تصدی مالکیت سیستم‌های تولیدی را در قراردادهای ارائه می‌دهند.

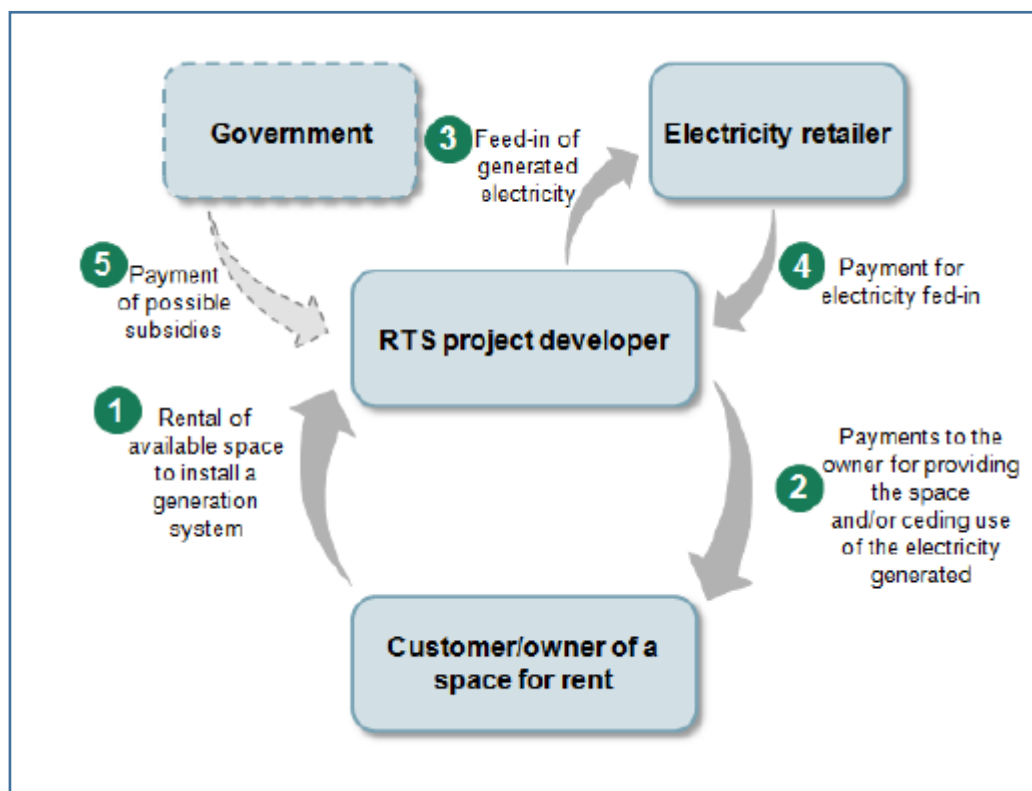
¹ Power Purchase Agreements



شکل ۶-۲: مدل کسب‌وکار مبتنی بر (الف) خدمات لیزینگ و (ب) توافق‌نامه خرید برق برای تولید پراکنده [۱۰]

- **مدل کسب‌وکار اجاره فضا:** در مدل اجاره فضا (RTS^1)، توسعه‌دهندگان، سیستم‌های تولید پراکنده را در فضاهای اجاره‌ای نصب می‌کنند که رایج‌ترین شکل آن، اجاره پشت‌بام‌ها برای نصب صفحات خورشیدی است که به ازای اجاره فضا پولی را به مشتریان پرداخت می‌کنند. برق تولیدشده در این مدل، معمولاً برای استفاده بعدی ذخیره نمی‌شود، این بدان معنی است که هم‌زمان توسط مشتریان مصرف خواهد شد.

¹ Rent-The-Space



شکل ۷-۲: مدل کسب‌وکار اجاره فضا (RTS) [۱۰]

در این مدل توسعه‌دهندگان برای کسب سود از سرمایه‌گذاری خود و تأمین هزینه‌های اجاره به دو منبع درآمدی دسترسی دارند:

- برق تولیدشده که توسط اجاره‌کننده به خرده‌فروشان فروخته می‌شود.
 - یارانه‌های ارائه‌شده توسط ارگان‌های دولتی برای تولید برق
- مشتریان، معمولاً مجبور به سرمایه‌گذاری در این مدل نیستند و بسته به نوع توافق‌نامه RTS، ممکن است حق استفاده از انرژی تولیدشده را داشته باشند و گرنه که برق تولیدشده با این روش به خرده‌فروشان محلی فروخته خواهد شد.

۲-۴-۲ - مدل کسب‌وکار مدیریت تقاضا (Demand Management)

مدل‌های کسب‌وکار مدیریت تقاضا و بهینه‌سازی مصرف در سه مدل مختلف تقسیم‌بندی می‌شوند که عبارت است از خدمات انرژی شرکت‌های ESCO^۱، خانه هوشمند و خدمات پاسخگویی به تقاضا.

- **خدمات انرژی شرکت‌های ESCO:** خدمات انرژی شرکت‌های ESCO یک مدل کسب‌وکاری است که در آن شرکت‌های ارائه‌دهنده خدمات انرژی با نصب سیستم‌ها و تجهیزات و ارائه خدمات به مشتریان خود، این امکان را فراهم می‌کنند تا مشتریان مصرف انرژی خود را مدیریت کرده و کاهش دهند. این مدل عموماً برای مصرف‌کنندگان بزرگ، مانند شرکت‌ها یا ارگان‌های دولتی اختصاص دارد. شرکت‌های خدمات انرژی یا

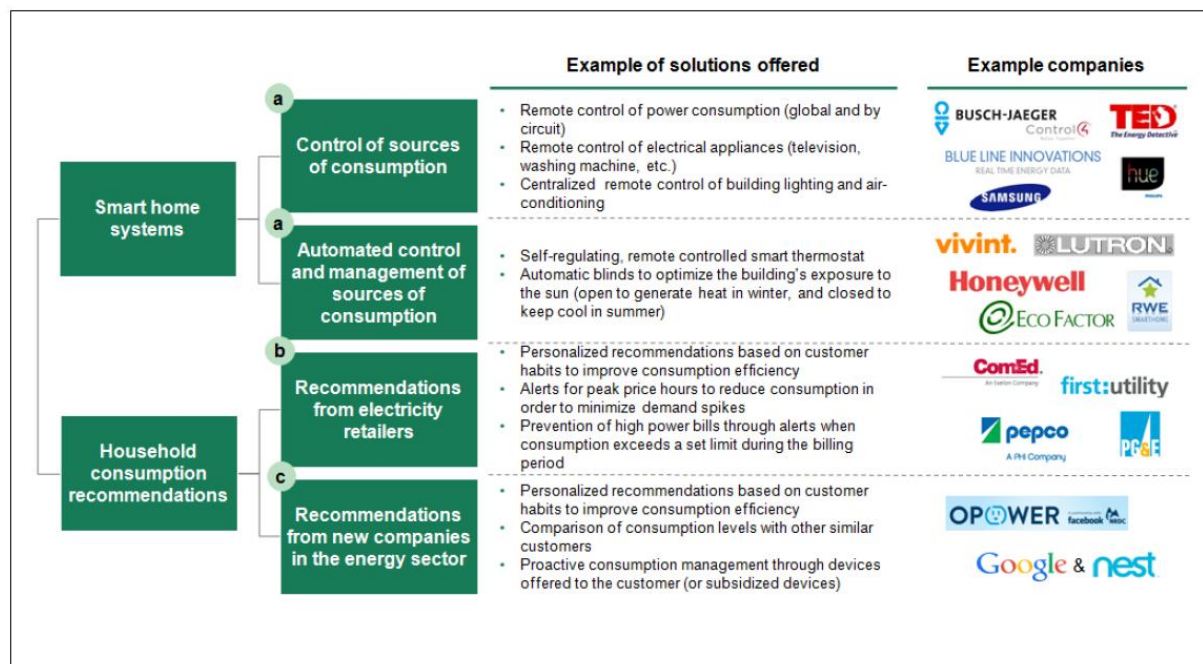
¹ Energy Service Companies

ESCO با تمرکز بر منابع اصلی مصرف انرژی، مانند روشنایی یا تهویه مطبوع، به مشتریان خود راه‌حل‌های بهینه‌سازی مصرف را ارائه می‌دهند. علاوه بر عقد قرارداد برای ارائه خدمات، ممکن است تجهیزاتی نیز از طرف این شرکت‌ها به ارگان‌ها و شرکت‌های بزرگ ارائه گردد.

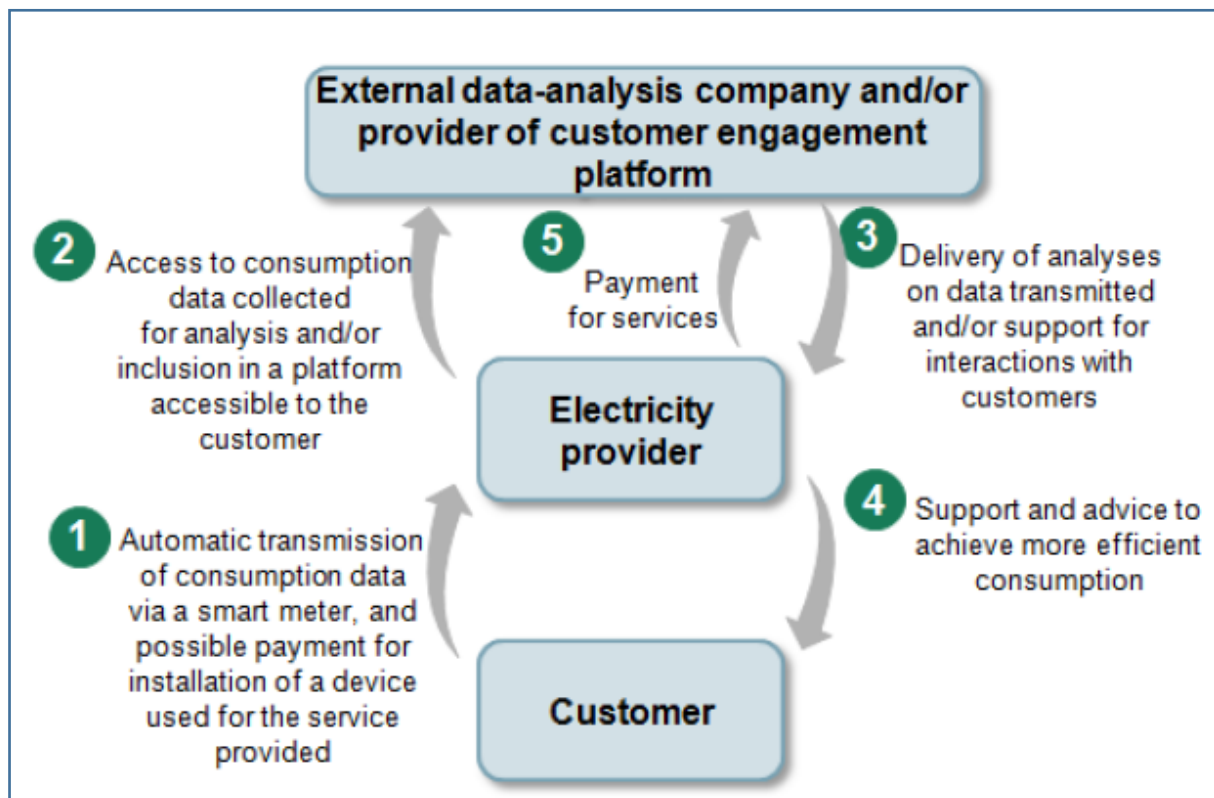
- **خانه‌های هوشمند:** این مدل کسب‌وکار بر مشتریان متمرکز است زیرا این مشتریان هستند که مسئولیت مدیریت مصرف انرژی را از طریق استفاده از تجهیزات الکترونیکی نصب‌شده در خانه یا بر اساس توصیه‌های مصرفی خرده‌فروشان برق یا شرکت‌هایی که وارد بخش انرژی شده‌اند، بر عهده‌دارند. علاوه بر این، فناوری‌های جدید دیجیتال و اینترنت اشیاء باعث شکل‌گیری اکوسیستمی از وسایل برقی هوشمند شده است که با نصب کنتورهای هوشمند و توسعه برنامه‌های کاربردی به این مدل کسب‌وکار کمک خواهد کرد. لذا این مدل بر اساس شکل ۲-۸ ممکن است به سه صورت اجرا شود:

(الف) کنترل و مدیریت خودکار منابع مصرف که با نصب تجهیزاتی در خانه‌ها و از طریق راه دور امکان‌پذیر است.

(ب) و (ج) توصیه‌هایی برای مصرف خانگی که ممکن است توسط برخی از خرده‌فروشان برق به مصرف‌کنندگان ارائه شود که به آن‌ها امکان مدیریت کارآمدتر مصرف و مشارکت آن‌ها را می‌دهد. در این حالت، اطلاعات جمع‌آوری‌شده معطوف به فروش خدمات و اطلاعات بازاریابی در مورد مصرف‌کنندگان است. لازم به ذکر است که در هر دو مدل (ب) و (ج) نیاز به نصب کنتور هوشمند است. در شکل ۲-۹ این مدل کسب‌وکار بر اساس توصیه‌های مصرف از طرف یک خرده‌فروش برق برای مصرف‌کننده نشان داده شده است.

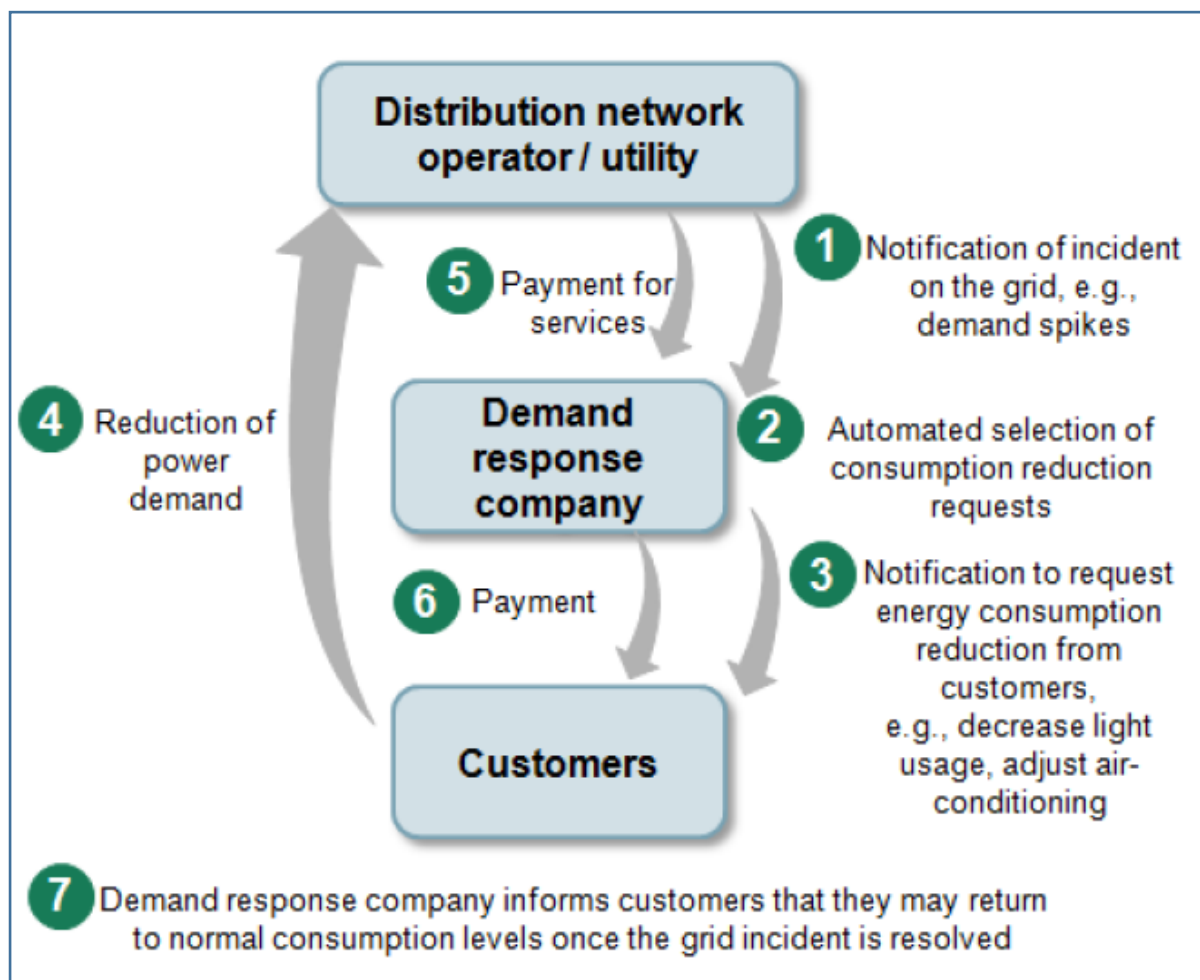


شکل ۲-۸: مدل کسب‌وکار خانه هوشمند [۱۰]



شکل ۹-۲: مدل کسب‌وکاری خانه هوشمند مبتنی بر توصیه‌های مصرفی یک خرده‌فروش برق [۱۰]

- پاسخگویی به تقاضا: از نظر مدل کسب‌وکاری پیچیده‌ترین مدل است. در این مدل شرکت‌ها بر اساس "گزینه‌های مبتنی بر انگیزه / رویداد" به مصرف‌کنندگان خود خدماتی می‌دهند تا مصرف برق خود را در زمان‌های مشخصی کاهش دهند و آن‌ها را در دسته پاسخ به تقاضا قرار می‌دهند. مفهوم این روش چنین است که در بعضی مواقع، منابع تولید برق ممکن است برای تأمین تقاضا کافی نباشد که در صورت رخ دادن این عدم تعادل، تجمیع‌کنندگان پاسخ به تقاضا می‌توانند به‌طور موقت تقاضا را کاهش دهند تا توازن عرضه و تقاضای برق برقرار شود. در این مدل، مطابق شکل ۲-۱۰، شرکت‌های DR به‌عنوان واسطه بین اپراتورهای شبکه برق و مشتریان - که در درجه اول مشتریان تجاری و صنعتی با مصرف برق بالا (دیماندی) هستند - قرار می‌گیرند تا مصرف برق مشتریان خود را به‌طور موقت کاهش دهند. مطابق شکل ۲-۱۰، در برخی موارد، شرکت‌های پاسخگویی به تقاضا ممکن است با اجازه مشتریان خود این امکان را داشته باشند که از راه دور، منابع غیر مهم مصرفی را کنترل کنند تا عملیات پاسخگویی به تقاضا را تسهیل کنند. شرکت‌های DR، مبلغی ثابت و مبلغی متغیر بر اساس کاهش واقعی مصرف به مشتریان خود پرداخت می‌کنند که بخشی از مبلغی است که اپراتورهای شبکه به شرکت‌های DR بابت کاهش تقاضا پرداخت می‌کنند.



شکل ۱۰-۲: مدل کسب‌وکار مبتنی بر خدمات پاسخگویی به تقاضا [۱۰]

۲-۴-۳- مدل کسب‌وکار سیستم‌های یکپارچه منطقه‌ای

نیروگاه‌های مجازی و ریز شبکه‌ها سیستم‌های یکپارچه در انرژی هوشمند هستند که برنامه‌های توسعه انرژی هوشمند در تولید پراکنده و مدیریت مصرف را بر عهده‌دارند. تفاوت بین این دو راه‌حل این است که برخلاف ریز شبکه‌ها، از نیروگاه‌های مجازی برق می‌توان در یک بازار عمده‌فروشی استفاده کرد.

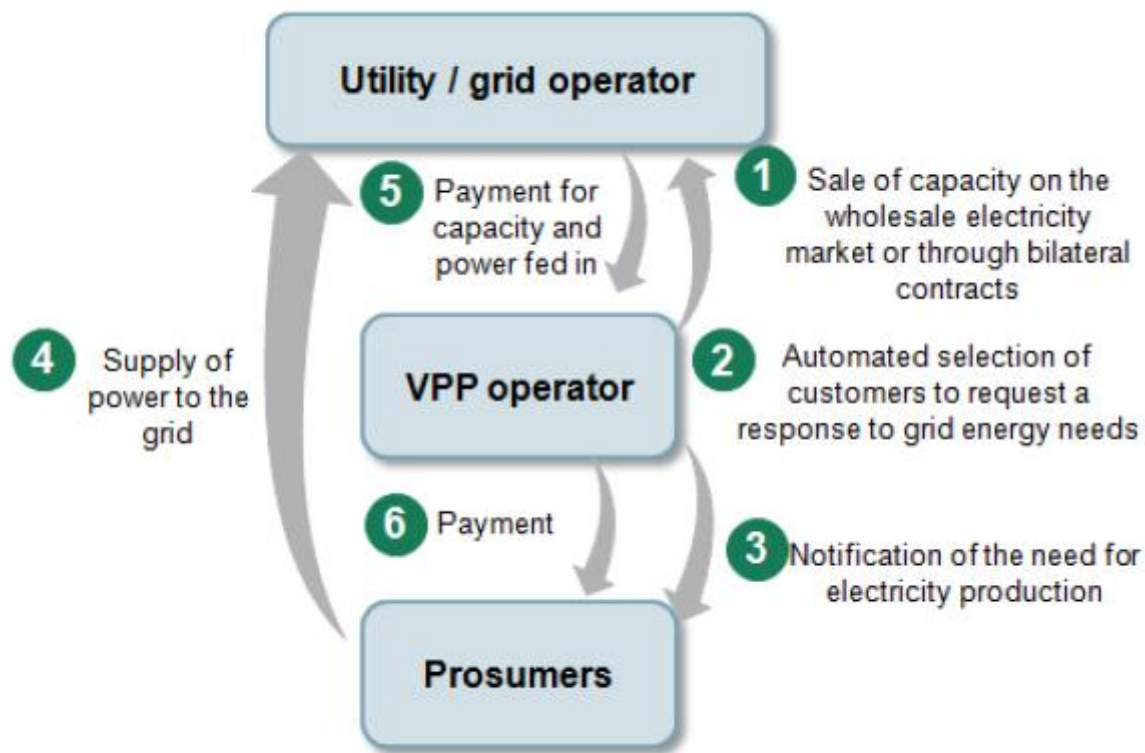
- **نیروگاه مجازی:** یک نیروگاه مجازی (VPP¹) مجموعه‌ای از واحدهای تولید پراکنده است که توسط یک واحد کنترل می‌شود و توانایی تأمین برق در زمان‌های خاص را دارد. مدل کسب‌وکار نیروگاه‌های مجازی (VPPs) از طریق یک اپراتور یا جمع‌کننده، سازمان یافته است که چندین تولیدکننده عمده را با یکدیگر ترکیب می‌کند. اپراتورهای VPP، ظرفیت تولید برق را از طریق قراردادهای دوجانبه با اپراتورهای شبکه برق یا در بازار عمده‌فروشی برق به ازای ظرفیت تولیدی (یورو / مگاوات) یا میزان برق عرضه‌شده (یورو / مگاوات ساعت) با تعرفه تعیین‌شده می‌فروشند. در شکل ۲-۱۱، مدل کسب‌وکار یک نیروگاه مجازی نمایش داده شده است. قابل توجه است که به‌منظور به حداکثر رساندن انعطاف‌پذیری VPPها و بهبود ظرفیت پاسخگویی به

¹ Virtual Power Plant

تقاضا، بسیاری از اپراتورهای VPP از راه دور، تولیدکنندگان را مدیریت می‌کنند و راه‌اندازی، نگهداری و اتصال مراکز نظارت خود به کلیه تجهیزات کنترلی تولیدکنندگان را بر عهده دارند. همچنین بسیاری از شرکت‌هایی که نیروگاه‌های مجازی را مدیریت می‌کنند از دسترسی به داده‌های مصرفی مشتریان خود برای ارائه خدمات پاسخگویی به تقاضا بهره می‌برند.

- **ریز شبکه:** ریز شبکه‌ها گروه‌هایی از منابع تولیدکننده/مصرف‌کننده (پروسومر¹) هستند که در سطح محلی به هم متصل هستند و به وسیله منابع تولید پراکنده به صورت هماهنگ برای تأمین برق مصرفی مصرف‌کنندگانی که به ریز شبکه متصل هستند، عمل می‌کنند. ریز شبکه‌ها توسط پروسومرها و منابع تولید پراکنده در مقیاس کوچک اداره می‌شوند که این منابع تولید با سیستم‌های ذخیره‌ساز تکمیل می‌شوند و باعث می‌شود تا ریز شبکه‌ها مستقل‌تر عمل نمایند. در این مدل برق تولیدشده توسط خود تولیدکنندگان مصرف می‌شود، اما اگر ریز شبکه در مقیاس یک منطقه شهری باشد، برای منابع مصرفی مانند روشنایی معابر عمومی نیز استفاده می‌شود. ریز شبکه‌ها می‌توانند به صورت کاملاً مستقل عمل کنند یا به شبکه توزیع سنتی متصل شوند که در این صورت کمبود تولید برق در آن‌ها از طریق شبکه توزیع جبران خواهد شد. علاوه بر این، در صورت تولید مازاد و ذخیره نشدن آن در ریز شبکه، می‌توان مازاد را به شبکه سنتی توزیع فروخت. هزینه مربوط به نصب تجهیزات، راه‌اندازی و مدیریت ریز شبکه ممکن است توسط درآمد پروسومرها یا از طریق دولت به صورت شرایط خاص تأمین شود.

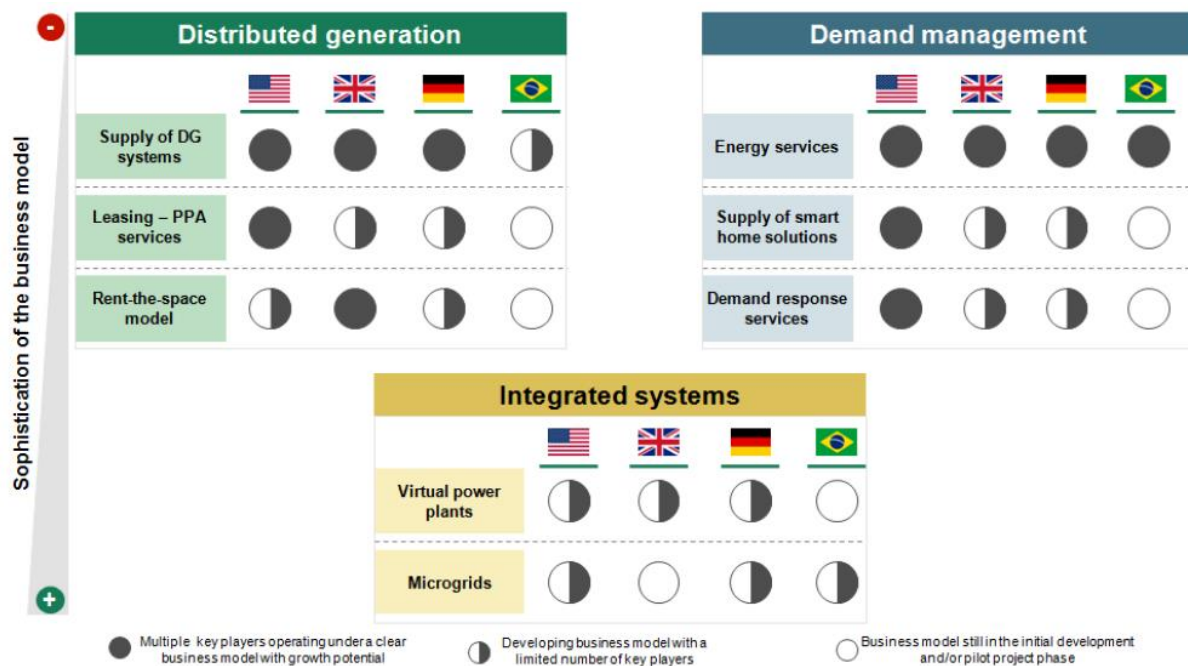
¹ Prosumer



شکل ۱۱-۲: مدل کسب‌وکار نیروگاه‌های مجازی

به‌عنوان جمع‌بندی این بخش باید متذکر شد که در بین مدل‌های توضیح داده شده، مدل تأمین سیستم‌های تولید پراکنده اکنون کاملاً پیشرفت کرده است و در چندین فناوری، به‌ویژه فناوری خورشیدی و تولید هم‌زمان (CHP^1) بازیگران اصلی دارد. مدل‌های لیزینگ و PPA کمتر توسعه‌یافته‌اند، شاید به این دلیل که اخیراً ظهور کرده‌اند و عمدتاً مبتنی بر فناوری خورشیدی هستند. از بین مدل‌های مدیریت تقاضا، پیشرفته‌ترین مدل، مدل خدمات انرژی - به‌ویژه برای شرکت‌های متوسط و بزرگ - با ESCOهای بزرگ مانند Johnson Controls در حال ارائه خدمات هستند. در خانه‌های هوشمند و پاسخگویی به تقاضا، علی‌رغم وجود مدل‌های جدیدتر که در دست توسعه است، بازیگران بزرگی مانند Google و Enernoc در حال ظهور هستند و در نهایت، کمترین توسعه مربوط به نیروگاه‌های برق مجازی و ریزشبکه‌ها است که در مقایسه با سایر مدل‌ها پیچیده‌تر هستند. شکل ۲-۱۲، مراحل مختلف توسعه مدل‌های کسب‌وکار B2C در شبکه هوشمند را بر اساس چندین کشور توسعه‌یافته و در حال توسعه را نشان می‌دهد.

¹ Cogeneration or Combined Heat and Power



شکل ۱۲-۲: توسعه مدل‌های کسب‌وکار انرژی هوشمند در ایالات متحده، انگلستان، آلمان و برزیل

۲-۴-۴- مدل کسب‌وکار خودروهای برقی

تجمیع واحدهای شارژ خودرو برقی: تجمیع واحدهای شارژ خودروهای برقی در شبکه برق مشابه با واحدهای تولید پراکنده (و گاهی زیرمجموعه آن‌ها) در نظر گرفته می‌شوند. در مدل کسب‌وکاری B2B در تجمیع خودروهای برقی در شبکه برق، دو بازیگر اصلی وجود دارد که عبارت‌اند از: مدیریت شارژ باتری خودروهای برقی (EVPM)، تجمیع کننده واحدهای شارژ.

تجمیع کننده واحدی است که از یک طرف با تعدادی از مکان‌های شارژ که در یک گروه قرار گرفته‌اند و از طرف دیگر با بخش‌های شبکه هوشمند (مانند بازار برق و اپراتور سیستم توزیع) به تعامل می‌پردازد. این تجمیع کننده به عنوان نماینده بین EVPM ها و اپراتور شبکه هوشمند قرار می‌گیرد و تقاضای شارژ خودروها و شرکت آن‌ها در بازار برق را مدیریت می‌نماید. لذا اپراتور به جای ارتباط مستقیم با تعداد بسیار زیاد خودروها، با تعداد محدودی از تجمیع کننده‌ها ارتباط برقرار می‌کند. مزیت دیگر بهره‌گیری از تجمیع کننده‌ها، قابلیت گسترش ساختار شارژ و پشتیبانی از اتصال تعداد روزافزون خودروهای برقی به شبکه برق هست [۱۲، ۱۳]. تجمیع کننده یکی از مراکز مهم در ساختارهای مختلف شارژ باتری خودروهای برقی است که با عنوان اپراتور گروه (FO)^۲ نیز شناخته می‌شود.

مدیریت شارژ باتری خودروهای برقی (EVPM) نرم‌افزاری است که در سطح ادوات شارژ نصب می‌شود. این نرم‌افزار به محاسبه و تعیین برنامه شارژ باتری خودروهایی می‌پردازد که در یک ایستگاه شارژ توقف کرده و به ادوات شارژ متصل شده‌اند.

¹ Electric Vehicle Parking Manager

² Fleet Operator

ایستگاه‌های شارژ خودرو برقی: برای استخراج مدل کسب‌وکار B2B برای ایستگاه‌های شارژ خودروهای برقی، باید بازیگران اصلی شناسایی شوند. در این سیستم، بازیگران اصلی عبارت‌اند از: اپراتور EVSE و DSO. نقش اصلی اپراتور EVSE، در ارائه سرویس‌های مرتبط با مدیریت و بهبود بازدهی انرژی (EE & EM) است. این واحد که قبل از کاربران نهایی قرار دارد به ارائه تجهیزات لازم برای شارژ و سرویس‌های موردنیاز می‌پردازد. از آنجاکه سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های EVSE به‌عنوان هزینه اصلی راه‌اندازی یک ایستگاه شارژ محسوب می‌شود، ارزش‌آفرینی این بخش با راهکارهایی ازجمله پیشنهاد قیمت‌های رقابتی به مشتریان به دست می‌آید و لذا این اپراتور می‌تواند به‌سرعت هزینه‌های سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های EVSE خود را جبران نماید.

در مورد درآمدزایی بیشتر، برنامه‌هایی برای جلب مشتریان بیشتر و یا دریافت سهم جبران‌سازی از طرف DSO به علت ارائه سرویس‌های کمکی به آن می‌تواند بسیار سودآور باشد.

بررسی چالش‌های این بخش نیز نشان می‌دهد که موانع اصلی عبارت‌اند از: هزینه زیاد سرمایه‌گذاری EVSE که می‌تواند باعث کمبود تمایل به راه‌اندازی ایستگاه‌های شارژ شود و همچنین استفاده بهینه از ظرفیت‌های ذاتی باتری‌ها را کاهش دهد. مانع مهم دیگر که توجه به آن ضروری است قیمت زیاد ولتاژ بالا ورودی به زیرساخت‌های شارژ است.

اپراتور سیستم توزیع شبکه برق به مدیریت توزیع توان می‌پردازد. ارزش اصلی این بخش در استفاده از ابزارهای مختلف برای مدیریت شبکه توزیع و بهبود کیفیت ارائه شاخص‌های عرضه هست. در مورد درآمدزایی این اپراتور، باید توجه داشت که در صورت بهبود شاخص‌های عرضه انرژی، هزینه‌های پرداخت خسارت، نگهداری شبکه و افزایش ظرفیت کاهش می‌یابد.

هزینه‌های اصلی مربوط به این واحد، سرمایه‌گذاری در توسعه و بهبود نرم‌افزارها، ارتباطات اینترنت موردنیاز در تعامل با واحدهای زیرمجموعه و به‌کارگیری تکنولوژی‌های نوین مرتبط هست. همچنین ازجمله موانع موجود در پیشبرد مدل کسب‌وکار در بخش اپراتور DSO تمایل کم مصرف‌کننده به استفاده از خودروهای برقی به علل قیمت بالا و استقلال محدود آن‌ها در عملکرد و شارژ باتری خودرو می‌باشد.

۵-۴-۲- مدل کسب‌وکار ذخیره‌ساز انرژی

در این بخش مدل کسب‌وکار برای تجمیع و به‌کارگیری واحدهای ذخیره‌ساز انرژی موردبررسی قرار می‌گیرد. در مدل کسب‌وکار B2B در شبکه هوشمند، بازیگران اصلی عبارت‌اند از: اپراتور DSO و شرکت‌های ارائه‌دهنده سرویس‌های انرژی. نقش اصلی شرکت ESCO، در ارتباط با واحدهای ذخیره‌ساز انرژی، ارائه سرویس‌های مرتبط با مدیریت و بهبود بازدهی انرژی (EE & EM) است. این واحد با ارائه سرویس‌های نوین به مشتریان، استفاده بهینه‌تری از ذخیره‌سازها را فراهم کرده و در نقش اپراتور واحدهای ذخیره‌ساز (SUO¹) شناخته می‌شود.

ESCO از جنبه ارزش‌آفرینی با ارائه سرویس‌های چندگانه (و هم‌زمان) سود بیشتری را کسب می‌کند. افزایش مشتریان و افزایش نفوذ در بازار برق نیز به کسب سود بیشتر آن منجر خواهد شد. کسب درآمد شرکت‌های ESCO از ارائه سرویس

¹ Storage Unit Operator

مدیریت انرژی به واحدهای ذخیره‌ساز و همچنین از ایفای نقش SUO با ارائه سرویس‌های کمکی به واحدهای تولید پراکنده میسر می‌گردد. این درآمدها برای جبران هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه در نرم‌افزارها، ارتباطات و اینترنت و تکنولوژی‌های نوین مرتبط جهت مدیریت ذخیره‌سازها ضروری است. ESCO در نقش SUO نیازمند پرداخت هزینه‌های capex تجهیزات ذخیره‌ساز و ادوات پایش و کنترل نیز هست. اما ازجمله مشکلات اصلی در این بخش، عدم مقبولیت قیمت‌های پویا در اتحادیه اروپا می‌باشد. به علاوه، به علت عدم بازگشت سود مشتریان در حد قبض برق، نقش ESCO در این بخش همچنان به‌عنوان یک سؤال باقی مانده است. عدم قطعیت تقاضای موجود در بسیاری از ساختمان‌ها نیز ازجمله موانع گسترش این بخش‌ها محسوب می‌شود.

همان‌طور که مطرح شد اپراتور سیستم توزیع شبکه برق در توزیع توان الکتریکی در شبکه توزیع دخالت می‌کند. ارزش ایجادشده توسط DSO در استفاده از واحدهای ذخیره‌ساز برای سرویس‌های شبکه می‌باشد. پاسخ سریع به بحران‌های شبکه با کمک پاسخ سریع ذخیره‌سازها، حل مشکلات شبکه به‌صورت محلی و امکان تأخیر در سرمایه‌گذاری توسعه شبکه در صورت استفاده وسیع از ذخیره‌سازها ازجمله مزایای دیگر مدیریت DSO در این بخش هستند. بررسی واحد DSO نشان می‌دهد که سرمایه‌گذاری اولیه در نرم‌افزارها، ارتباطات و فناوری‌های نوین مرتبط جهت مدیریت ذخیره‌سازها به‌عنوان هزینه‌های اصلی اولیه و جاری DSO مطرح هستند. لذا بررسی درآمدهای این واحد نشان می‌دهد که استفاده وسیع از ذخیره‌سازها، تأخیر در سرمایه‌گذاری توسعه شبکه و کاهش هزینه و افزایش سود را در پی خواهد داشت. باید توجه داشت که همه موانع اصلی که برای بقیه بازیگران در قسمت‌های قبل مطرح شد می‌توانند DSO را برای درخواست‌های پاسخگویی به تقاضا و سرویس‌های کمکی تحت تأثیر قرار دهند.

۶-۴-۲ - بررسی عوامل موفقیت برای مدل‌های کسب‌وکاری در شبکه هوشمند

با تجزیه و تحلیل مدل‌های کسب‌وکار و موارد کاربردی در کشورهای مختلف می‌توان دریافت که بیشترین تأثیر در موفقیت شرکت‌های فعال در بخش انرژی هوشمند شامل عوامل داخلی و بیرونی هستند که در شکل ۲-۱۳ جمع‌بندی شده است.

	External factors			Internal factors			
	Regulations	Technology	Financing capacity	Technical experience	Diffusion	Brand	Partnerships
Supply of DG systems	✓	✓			✓		
Leasing – PPA services	✓	✓	✓		✓		
Rent-the-space model	✓	✓	✓		✓		
Energy services			✓		✓	✓	
Smart home solutions		✓					✓
Demand response services	✓	✓		✓			
Virtual power plants	✓	✓		✓		✓	
Microgrids	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

✓ : Key success factors for the business model

شکل ۱۳-۲: عوامل کلیدی موفقیت مدل‌های کسب‌وکار در شبکه هوشمند

در این جمع‌بندی که در شکل ۱۳-۲، ارائه شده است، رگولاتوری (مجموعه قوانین و مقررات)، فناوری و ظرفیت مالی به عنوان عوامل داخلی و تجربه فنی، پراکندگی، برند و شریک کاری به عنوان عوامل بیرونی تأثیرگذار بر روی مدل‌های کسب‌وکاری ذکر شده است. هرچند در این مقوله ما سعی نداریم که به صورت جزئی به هر یک از این عوامل تأثیرگذار بپردازیم منتهی سعی خواهیم کرد تا در ادامه این بحث به مدل‌های کسب‌وکاری مانند خانه هوشمند، پاسخگویی به تقاضا، نیروگاه مجازی و ریزشبکه که می‌تواند تأثیرپذیرتر از شبکه 5G باشد، بپردازیم. درواقع شبکه 5G می‌تواند در شکل‌گیری و انعطاف‌پذیری این کسب‌وکارها نقش داشته باشد و به عنوان یک بنگاه به مدل‌های کسب‌وکاری B2C ذکر شده در شبکه هوشمند افزوده شده و B2B2C را شکل دهد.

۵-۲- مدل‌های کسب‌وکاری B2B2C در شبکه هوشمند و 5G

در برخی از مدل‌های کسب‌وکار که در بخش ۲-۴ به آن‌ها اشاره شد، مشتریان در زنجیره‌ی ارزش ترسیم شده، قرار داشتند و بنگاه‌ها یا شرکت‌هایی مانند شرکت‌های توزیع، شرکت‌های اسکو، شرکت‌های DR، بنگاه‌های خرده‌فروشی، شرکت‌های تجمیع‌کننده و غیره، خدمات یا محصولات را به آن‌ها ارائه و به ازای آن دارایی‌هایی را از مشتریان کسب می‌کردند و بر همین اساس یک مدل کسب‌وکار B2C در بستر شبکه هوشمند شکل می‌گرفت. حال در این بخش می‌خواهیم ببینیم شبکه 5G و فناوری‌هایی که برای آن متصور هستیم چگونه می‌تواند بر این مدل‌های کسب‌وکار تأثیر بگذارد و اصطلاحاً این مدل‌های کسب‌وکار را انعطاف‌پذیرتر و مقیاس‌پذیرتر ارائه دهند. لذا در ادامه این بخش از گزارش،

مدل کسب‌وکاری را به صورت B2B2C تعریف کرده که در واقع B اول همان شبکه 5G یا اپراتورهای ارائه‌دهنده خدمات و محصولات 5G می‌باشند.

۱-۵-۲- مدل کسب‌وکار تولید پراکنده (Distributed Generation)

این مدل کسب‌وکار همان‌طور که اشاره شد در سه مدل (۱) تأمین‌کنندگان سیستم‌های تولید پراکنده، (۲) خدمات لیزینگ یا توافق‌نامه خرید برق و (۳) مدل اجاره فضا، شناخته می‌شود که معیار اصلی تمایز بین این مدل‌ها مالکیت دارایی‌ها و سطح ریسک آن‌ها می‌باشد. خدمات یا تأثیری که شبکه 5G می‌تواند در این مدل ارائه نماید را می‌توان به شرح زیر در نظر گرفت :

- می‌توان خدماتی مانند واقعیت مجازی و افزوده یا ترکیب آن‌ها را در این مدل ارائه داد. چراکه سیستم‌ها و تجهیزات مورد استفاده در تولید پراکنده معمولاً حساس و گران هستند لذا با استفاده از این فناوری‌های 5G می‌توان مسائل مربوط به تعمیر و نگهداری و همچنین آموزش‌های مورد نیاز در مورد نصب و راه‌اندازی را از طریق شبکه 5G ارائه داد و ریسک سرمایه‌گذاری، فنی و مالکیت دارایی‌ها را در این مدل کسب‌وکار، کاهش داد. همچنین در جابجایی بهینه نصب صفحات خورشیدی در مدل اجاره فضا نیز می‌تواند این فناوری‌ها بسیار مفید و تأثیرگذار باشد.
- می‌توان از فناوری قراردادهای هوشمند بر روی یک بستر بلاک‌چین که بر پلتفرم 5G قابل ارائه است استفاده نمود. این قابلیت باعث خواهد شد قراردادهای بین طرفین بدون نیاز به افراد حقیقی/حقوقی، نهادها یا واسطه‌ها اجرا شوند، بنابراین امنیت بیشتر و هزینه کمتری دارند و شاید بتوانند مسئله‌ی اعتماد در معامله را حل کنند. در سال‌های اخیر صنعت برق و شرکت‌های انرژی در کشورهای مختلف تحقیقات و پروژه‌های گسترده‌ای را در راستای استفاده و راه‌اندازی بلاک‌چین و قراردادهای هوشمند آغاز کرده‌اند. از قراردادهای هوشمند در تراکنش‌های مالی مختلف و انواع معاملات انرژی مانند مبادله‌ی انرژی غیرمتمرکز منابع تولید پراکنده، تسویه صورت‌حساب‌ها، گواهینامه‌های سبز، مبادله‌ی کربن و ... استفاده می‌شود.

۲-۵-۲- مدل کسب‌وکار مدیریت تقاضا (Demand Management)

- مدل‌های کسب‌وکار مدیریت تقاضا و بهینه‌سازی مصرف در سه مدل مختلف تعریف شد که عبارت بود از خدمات انرژی شرکت‌های ESCO، خانه هوشمند و خدمات پاسخگویی به تقاضا.
- در مدل شرکت‌های ESCO، با توجه به مأموریتی که برای این نوع شرکت‌ها تعریف شده است یعنی ارائه راه‌حل‌ها و خدمات به منظور مصرف بهینه، دو موضوع مطرح می‌باشد. اولاً این شرکت‌ها نیاز است که به داده‌های مصرفی دسترسی داشته باشند و ثانیاً، محرمانگی داده‌های مصرف‌کننده‌ها نیز باید حفظ شود. لذا در این مورد پیشنهاد می‌شود از فضای ابری و پلتفرم‌های مبتنی بر ابر در شبکه 5G که با استفاده از برش شبکه 5G سطح قابل قبولی از امنیت را تأمین کرده باشد، استفاده شود.

- در مدل خانه هوشمند نیز با توجه به تعریف این مدل که مبتنی بر اینترنت اشیاء خواهد بود استفاده از سرویس برش شبکه mMTC مطرح می‌شود که در آن اتصال مصرف‌کننده‌ها از طریق برنامه‌های کاربردی و در فضای ابری (SaaS) قابل پیاده‌سازی است. موضوع دیگر در این مدل استلزام نصب کنتورهای هوشمند در سمت توزیع برق است که برای اتصال و خوانش آن برش شبکه mMTC با سطح امنیت قابل قبول پیشنهاد می‌شود.
- در مدل پاسخگویی به تقاضا بر اساس تعریف ارائه‌شده شرکت‌ها بر اساس "گزینه‌های مبتنی بر انگیزه / رویداد" به مصرف‌کنندگان خود خدماتی می‌دهند تا مصرف برق خود را در زمان‌های مشخصی کاهش دهند و آن‌ها را در دسته پاسخ به تقاضا قرار می‌دهند. در این مدل اجماع در مورد میزان کاهش مصرف بین شرکت‌های DR، توزیع، توانیر و مصرف‌کننده می‌تواند بر اساس قرارداد هوشمند و بر روی بستر بلاک‌چین انجام شود. بنابراین شبکه 5G به‌عنوان یک پلتفرم با سطح امنیت قابل قبول پیشنهاد می‌شود.

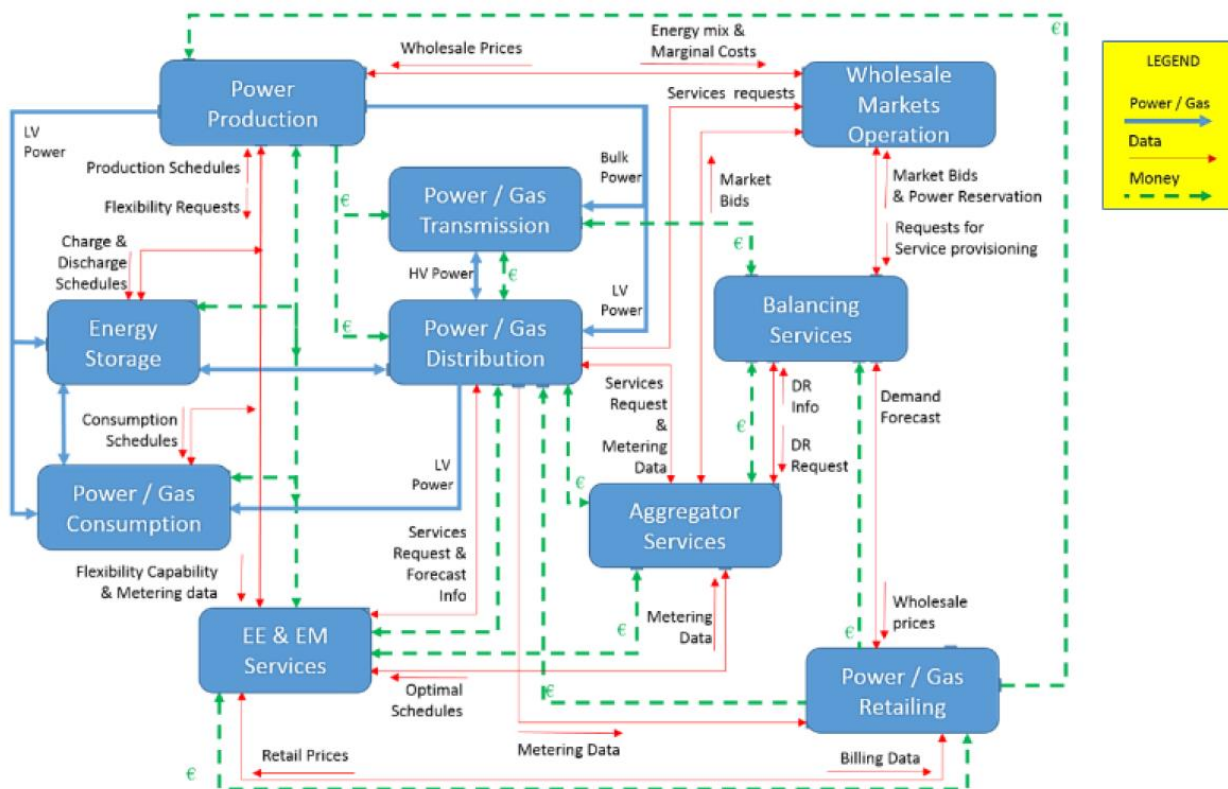
۳-۵-۲- مدل کسب‌وکار در سیستم‌های مجتمع و یکپارچه منطقه‌ای

- نیروگاه‌های مجازی و ریزشبکه‌ها جزء سیستم‌های یکپارچه در انرژی هوشمند هستند که برنامه‌های توسعه انرژی هوشمند در تولید پراکنده و مدیریت مصرف را بر عهده دارند.
- بسیاری از اپراتورهای نیروگاه مجازی (VPP) از راه دور تولیدکنندگان را مدیریت می‌کنند و راه‌اندازی، نگهداری و اتصال مراکز نظارت خود به کلیه تجهیزات کنترلی تولیدکنندگان را بر عهده دارند. همچنین بسیاری از شرکت‌هایی که نیروگاه‌های مجازی را مدیریت می‌کنند از دسترسی به داده‌های مصرفی مشتریان خود برای ارائه خدمات پاسخگویی به تقاضا بهره می‌برند. بنابراین استفاده از میکرواپراتورها در قالب شرکت‌های مدیریت نیروگاه‌های مجازی جهت مدیریت و کنترل از راه دور تجهیزات پروسومرها پیشنهاد می‌شود. همچنین استفاده از بسته‌های آموزشی در قالب واقعیت مجازی یا افزوده در این مدل نیز می‌تواند برای مشتریان بسیار مفید باشد. در صورت توسعه این مدل، و افزایش تعداد منابع تولید استفاده از برش شبکه mMTC با سطح زمان تأخیر موردقبول در این روش پیشنهاد می‌شود.
 - در مدل ریزشبکه، گروه‌هایی از منابع تولیدکننده / مصرف‌کننده (پروسومر) در سطح محلی به هم متصل هستند که منابع تولید پراکنده به‌صورت هماهنگ برای تأمین برق منابع مصرفی متصل به ریز شبکه عمل می‌کنند. بنابراین برای کنترل و نظارت آن‌ها استفاده از برش شبکه mMTC با سطح تأخیر و امنیت موردقبول برای این مدل کسب‌وکار پیشنهاد می‌شود.

۶-۲- مدل‌های کسب‌وکاری B2B2B در شبکه هوشمند و 5G

در این بخش، مصداق‌هایی از مدل B2B2B با در نظر داشتن سرویس‌های 5G به‌عنوان B اول و بخش‌هایی از شبکه هوشمند به‌عنوان B دوم ارائه می‌شوند. به‌علاوه، این مصداق‌ها بر مبنای زیرساخت‌ها، اتصال ادوات در ساختار IoT و کاربردهای خاص مأموریت بحران استخراج و دسته‌بندی می‌شوند.

شکل ۲-۱۴، یک شبکه ارزش برای حوزه‌های شبکه هوشمند برق را نشان می‌دهد. تعدادی از عملکردها به صورت نقش‌های تجمع در قسمت‌های آبی نشان داده شده‌اند تا بتوان ارتباطات موجود در شکل را واضح‌تر نشان داد و پیچیدگی آن را کمتر کرد. در این شکل، ۱۰ نقش اصلی کسب‌وکار و تعاملات آن‌ها بر اساس انرژی، اطلاعات و هزینه نشان داده شده است. بر طبق مهم‌ترین بازیگران شبکه هوشمند در این شکل، سناریوهای مدل کسب‌وکار B2B2B قابل استخراج هستند.

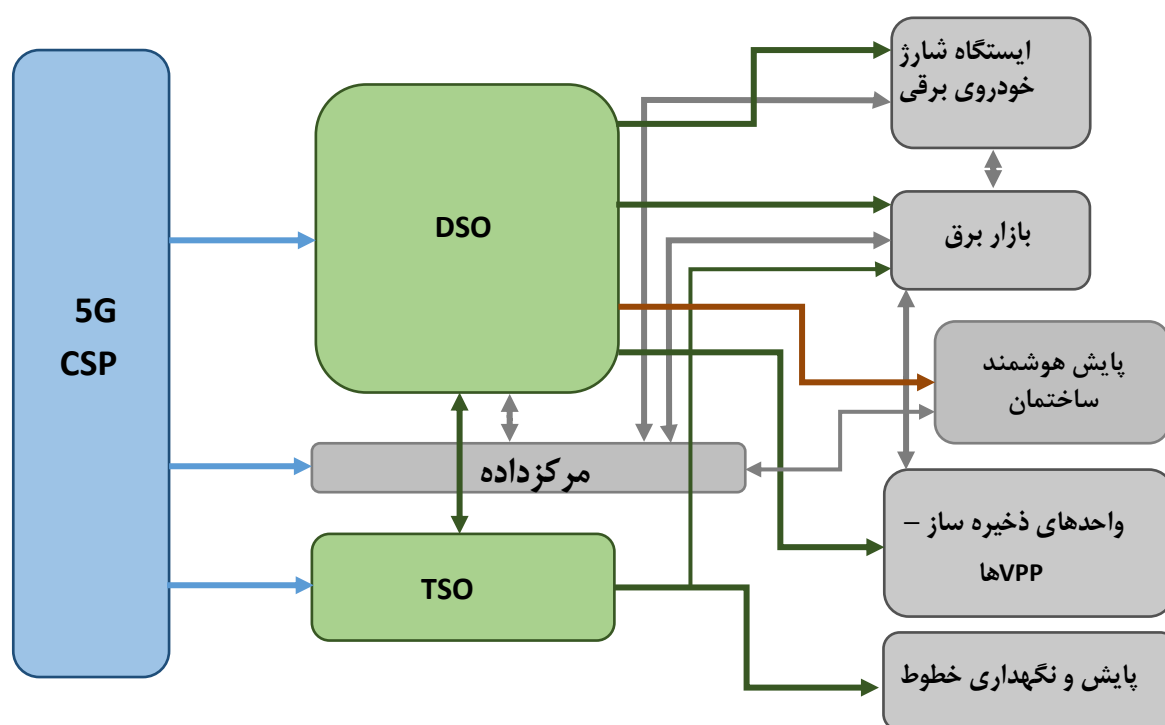


شکل ۲-۱۴: مثالی از تعاملات واحدها در شبکه ارزش حوزه انرژی

بر اساس توضیحات فوق و مطالعه تعامل واحدهای شبکه هوشمند، جدول ۲-۲ برای مدل‌های B2B2B استخراج شده است. همچنین، تعامل واحدهای ارائه شده در این جدول به صورت شکل ۲-۱۵ رسم شده است.

جدول ۲-۲: مدل‌های B2B2B با تمرکز بر کاربردهای 5G در شبکه هوشمند

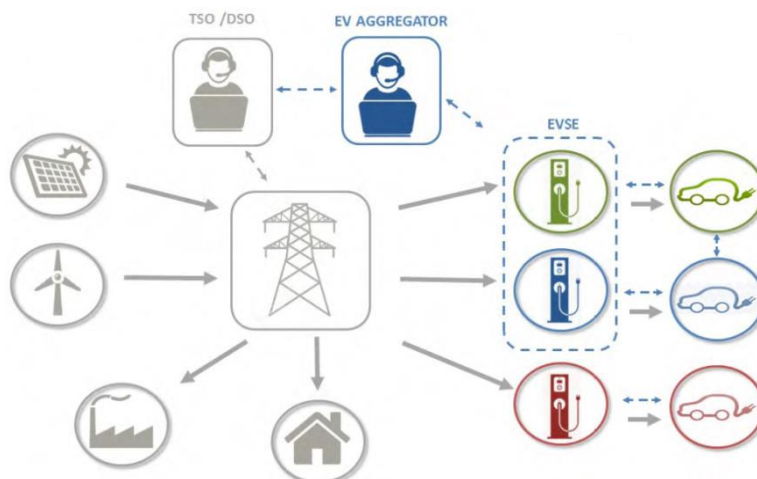
Buisness –to-	Buisness-to-	Buisness
اپراتور شبکه 5G	اپراتور توزیع (DSO)، مدیریت انرژی	ایستگاه‌های شارژ خودرو برقی (EVSE)
		مرکز داده
		ساختمان هوشمند (سرویس‌های پایش مصرف آنلاین)
		بازار برق
		واحدهای ذخیره‌ساز بزرگ
		مدیریت VPP ها
	اپراتور انتقال (TSO)، مدیریت انرژی	مدیریت، پایش و نگهداری خطوط



شکل ۲-۱۵: تعامل واحدهای سرویس‌گیرنده از 5G در مدل B2B2B

۱-۶-۲- مدل کسب‌وکار خودروهای برقی

در مدل کسب‌وکاری تجميع واحدهای شارژ خودرو برقی، همان‌طور که گفته شد تعاملات این واحدها مشابه با واحدهای تولید پراکنده (و گاهی زیرمجموعه آنها) در نظر گرفته می‌شوند. ساختار ارتباطات خودروهای برقی با ایستگاه شارژ و در سطح بالاتر تعامل آنها با شبکه برق، به‌صورت ساده در شکل ۲-۱۶، نشان داده شده است.

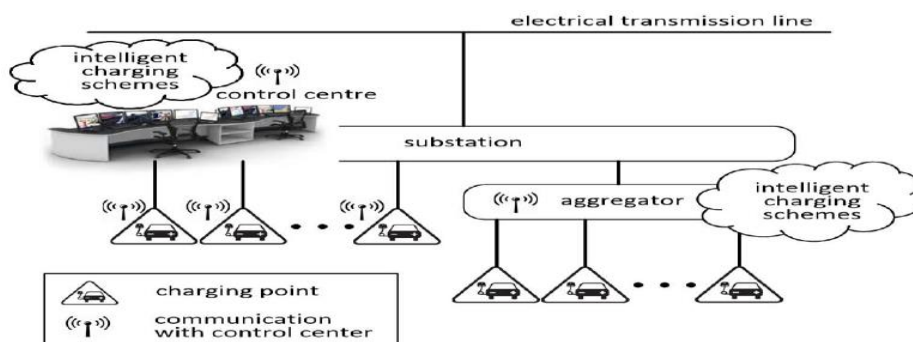


شکل ۱۶-۲: ساختار سیستم ارتباطی خودروهای برقی و شبکه برق [۱۱]

ساختار ارتباطی متداول بین این اجزا که در شکل ۲-۱۶، نیز دیده می‌شود، قابلیت گسترش زیرساخت‌های شارژ و امکان اضافه و کم شدن تجميع‌کننده‌ها و خودروهای برقی را فراهم می‌کند.

نقش اصلی 5G در مدل‌های کسب‌وکاری B2B2B در تجميع‌کننده واحدهای شارژ می‌تواند به این صورت باشد:

- ارائه سرویس‌های ارتباطی نوین با طراحی خاص برش شبکه بر مبنای نیازمندی‌های ارتباطی بین تجميع‌کننده و واحد مدیریت شارژ.
- فروش سرویس‌های ارتباطی اینترنت اشیا برای ارائه خدماتی چون اعلام میزان شارژ خودرو و فعالیت‌های مرتبط با شارژ در ساعات و مکان‌های مختلف.
- ارائه سرویس ارتباطی اینترنت اشیا برای برقراری ارتباطات تعداد زیاد خودروهای برقی با مرکز کنترل و دیسپاچینگ برق.



شکل ۱۷-۲: ساختار ارتباط خودروهای برقی با تجميع‌کننده و اپراتور [۱۱]

نقش اصلی 5G در مدل‌های کسب‌وکاری B2B2B، ارائه سرویس‌های ارتباطی نوین (با طراحی خاص برش شبکه بر مبنای نیازمندی‌های واحد ایستگاه شارژ) می‌باشد. ارزش‌آفرینی 5G در ارائه سرویس به DSO و سپس به اپراتور EVSE در چند حالت قابل انجام است: تعریف برش شبکه بر اساس ارتباطات خاص موردنیاز DSO با واحدهای پایین‌دست، سرویس‌های FWA برای ارتباطات ایستگاه شارژ و فروش سرویس‌های AR و VR برای ارائه خدماتی چون میزان شارژ خودرو و فعالیت‌های مرتبط با شارژ در ساعات و مکان‌های مختلف.

جدول ۳-۲: مدل کسب‌وکاری ایستگاه‌های شارژ خودروهای برقی [۱۴]

بازیگران اصلی	اپراتور EVSE	DSO	5G CSP
نقش‌های بازیگران	سرویس‌های EE & EM	توزیع توان	سرویس‌های ارتباطی و برش شبکه متناسب با نیازمندی-های مطرح
ارزش هر بخش	پیشنهاد قیمت‌های رقابتی به مشتریان خود، پوشش سریع هزینه-های سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های EVSE	استفاده از ابزارهای مختلف برای مدیریت شبکه توزیع، بهبود کیفیت ارائه شاخص-های عرضه	ارائه انواع سرویس‌ها از جمله ارتباطات خاص DSO با واحدهای پایین‌دست، FWA برای ارتباطات ایستگاه شارژ، فروش سرویس‌های AR و VR
درآمدها	افزایش درآمد با جلب مشتریان بیشتر، دریافت سهم جبران سازی از طرف DSO به علت ارائه سرویس-های کمکی	در صورت بهبود شاخص‌های عرضه، هزینه‌های پرداخت خسارت، نگهداری شبکه و افزایش ظرفیت کاهش می-یابد.	افزایش درآمد با ارائه سرویس‌های نوین با ویژگی-های برتر نسبت به سرویس-های رایج، جلب مشتریان بیشتر با ارائه قیمت‌های قابل رقابت با سرویس‌های موجود
هزینه‌ها	سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های EVSE	سرمایه‌گذاری در توسعه و بهبود نرم‌افزارها، ارتباطات اینترنت و فناوری‌های نوین مرتبط	زیرساخت‌های نوین 5G و سرمایه‌گذاری در توسعه تجهیزات
موانع	هزینه زیاد سرمایه‌گذاری EVSE می‌تواند باعث کمبود ایستگاه‌های شارژ شده و استفاده بهینه از ظرفیت‌های ذاتی باتری‌ها را کاهش دهد، قیمت زیاد ورودی ولتاژ بالا برای زیرساخت‌های شارژ	تمایل کم مصرف‌کننده به استفاده از خودروهای برقی به علل قیمت بالا و استقلال محدود آن‌ها در عملکرد	ریسک بالای سرمایه‌گذاری، کاهش تمایل به استفاده از 5G به علت قیمت‌گذاری نامناسب ارائه سرویس‌ها

کسب درآمد این بخش، در صورت ارائه سرویس‌هایی با ویژگی‌های خاص و برتر نسبت به سرویس‌های رایج و همچنین جلب مشتریان بیشتر با ارائه قیمت‌های قابل رقابت با سرویس‌های موجود حاصل می‌شود. هزینه‌های زیرساخت‌های نوین

5G و سرمایه‌گذاری در توسعه تجهیزات متفاوت از شبکه‌های سلولی رایج به‌عنوان بخش اصلی هزینه‌ها در نظر گرفته می‌شود که به علت ناشناخته بودن بازار تقاضا برای سرویس‌های 5G، ریسک ورود به این سرمایه‌گذاری یکی از موانع اصلی توسعه 5G شناخته می‌شود. مانع مهم دیگر بازاریابی و قیمت‌گذاری مناسب ارائه سرویس‌ها است که در صورت عدم توجه کافی می‌تواند به کاهش تمایل به استفاده از 5G توسط کاربران و مخصوصاً بخش‌های صنعتی منجر شود. جدول ۲-۳، بخش‌های اصلی مدل کسب‌وکار تجمع‌ای ایستگاه‌های شارژ خودروهای برقی شامل نقش‌های بازیگران، ارزش هر بخش، درآمدها، هزینه‌ها و موانع را نشان می‌دهد.

۲-۶-۲ - مدل کسب‌وکار ذخیره‌ساز انرژی

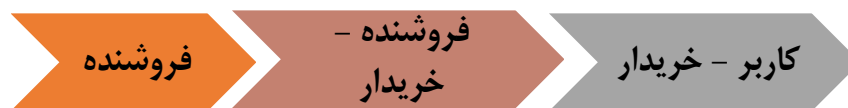
در این بخش مدل کسب‌وکاری 5G برای تجمع و به‌کارگیری واحدهای ذخیره‌ساز انرژی موردبررسی قرار می‌گیرد. در مدل کسب‌وکار B2B2B بازیگران اصلی عبارت‌اند از: ارائه‌دهنده سرویس‌های 5G، اپراتور DSO و شرکت‌های ارائه‌دهنده سرویس‌های انرژی؛ نقش اصلی اپراتور 5G در این مدل کسب‌وکاری، ارائه سرویس‌های ارتباطی نوین برش شبکه بر مبنای نیازمندی‌های واحدهای ذخیره‌ساز هست. در خصوص ارزش‌آفرینی 5G در ارائه سرویس به DSO و همچنین کسب درآمد این بخش، هزینه‌های زیرساخت‌های نوین 5G و موانع اصلی توسعه 5G، مطالب مشابه بخش قبل هست. جدول ۲-۴، بازیگران و سود و فایده آن‌ها در این مدل کسب‌وکاری را دسته‌بندی می‌کند.

جدول ۴-۲: مدل کسب‌وکار تجميع واحدهای ذخیره‌ساز انرژی [۱۴]

بازیگران اصلی	ESCO	DSO	5G CSP
نقش‌های بازیگران	سرویس‌های EE & EM	توزیع توان	سرویس‌های ارتباطی و برش شبکه متناسب با نیازمندی‌های مطرح
ارزش هر بخش	ارائه سرویس‌های نوین و بهتر، در نقش SUO با ارائه سرویس‌های چندگانه (و هم‌زمان) و کسب سود، افزایش مشتریان و لذا افزایش نفوذ در بازار برق	استفاده از واحدهای ذخیره‌ساز برای سرویس‌های شبکه، پاسخ سریع به بحران‌های شبکه با کمک پاسخ سریع ذخیره‌سازها، حل مشکلات شبکه به صورت محلی، امکان تأخیر در سرمایه‌گذاری توسعه شبکه در صورت استفاده وسیع از ذخیره‌سازها	ارائه انواع سرویس‌ها از جمله ارتباطات خاص DSO با واحدهای پایین‌دست، FWA برای ارتباطات واحدهای ذخیره‌ساز و فروش سرویس‌های AR و VR
درآمدها	کسب درآمد از ارائه سرویس مدیریت انرژی به واحدهای ذخیره‌ساز، در نقش SUO با ارائه سرویس‌های کمکی به واحدهای تولید پراکنده	هزینه کمتر و سود بیشتر از طریق تأخیر در سرمایه‌گذاری توسعه شبکه در صورت استفاده وسیع از ذخیره‌سازها	افزایش درآمد با ارائه سرویس‌های نوین با ویژگی‌های برتر نسبت به سرویس‌های رایج، جلب مشتریان بیشتر با ارائه قیمت‌های قابل رقابت با سرویس‌های موجود
هزینه‌ها	سرمایه‌گذاری اولیه در نرم‌افزارها، ارتباطات و اینترنت و فناوری‌های نوین مرتبط جهت مدیریت ذخیره‌سازها، در نقش SUO نیازمند پرداخت هزینه‌های capex تجهیزات ذخیره-ساز و ادوات پایش و کنترل	سرمایه‌گذاری اولیه در نرم‌افزارها، ارتباطات و اینترنت و فناوری‌های نوین مرتبط جهت مدیریت ذخیره-سازها	زیرساخت‌های نوین 5G و سرمایه‌گذاری در توسعه تجهیزات
موانع	عدم مقبولیت قیمت‌های پویا در اتحادیه اروپا، به علت عدم بازگشت سود مشتریان در حد قبض برق، لذا نقش ESCO زیر سؤال می‌رود. عدم قطعیت تقاضای موجود در بسیاری از ساختمان‌ها	همه موانع اصلی که برای بقیه بازیگران مطرح شد، DSO را برای درخواست‌های پاسخگویی به تقاضا و سرویس‌های کمکی تحت تأثیر قرار می‌دهد.	ریسک بالای سرمایه‌گذاری، کاهش تمایل به استفاده از 5G به علت قیمت‌گذاری نامناسب ارائه سرویس‌ها

۷-۲- جمع‌بندی

کاربرد سرویس‌های 5G در صنایع مختلف، برای بخش‌هایی موردتوجه است که تبادل اطلاعات بلادرنگ، با سرعت بالا، تأخیر کم، تعداد زیاد و/یا قابلیت اطمینان زیاد موردنیاز باشد. در این خصوص، MNO به‌عنوان فراهم‌کننده زیرساخت 5G سرویس‌های نوین و مخصوص به هر کاربرد را ارائه می‌دهد. علاوه بر مدل کسب و کار B2C که همان ارائه خدمات ارتباطی به مشترکین بوده است و در نسل‌های پیشین موبایل، مطرح بوده است در 5G مدل کسب و کار B2B مورد توجه بسیاری قرار گرفته است. این مدل کسب و کاری خود ارائه مدل‌های نوین B2B2X به معنای Bussiness-to-Bussiness-to-Everything را همراه داشته است که در آن، اولین B به معنای بنگاه فروشنده سرویس‌های اصلی به بنگاه خریداری است که با عنوان B دوم نوشته می‌شود. شکل ۲-۱۸، ارتباط سه بخش فوق را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۱۸: ارتباط سه کسب‌وکار در مدل B2B2X

با توجه به ماهیت پروژه، در میان کلیه مدل‌های کسب‌وکار 5G، تمرکز بر شبکه هوشمند برق شده است و مدل‌های کسب‌وکاری که 5G می‌تواند برای شبکه هوشمند برق عرضه نماید مورد بررسی قرار گرفته است. سه مدل کسب‌وکاری B2B، B2B2C و B2B2X توسط برش شبکه 5G برای صنعت برق (شبکه هوشمند) قابل شکل‌گیری است که مصادیقی از آن‌ها در جدول ۲-۱ عرضه شد. مدل B2B، تمرکز بر برش شبکه و قرارداد SLA مابین اپراتور مخابراتی و صنعت برق دارد لکن در دو مدل دیگر، نیاز بوده است که مدل کسب‌وکار در سمت شبکه هوشمند برق شناسایی شود؛ از این‌رو، مدل‌های کسب‌وکاری در شبکه هوشمند در شش دسته تولید پراکنده، مدیریت تقاضا، سیستم‌های یکپارچه، ایستگاه‌های شارژ خودرو برقی، تجمیع خودروهای برقی در شبکه برق، تجمیع واحدهای ذخیره‌ساز انرژی در شبکه برق دسته‌بندی شدند. زیرمجموعه‌های هر یک از این مدل‌ها، بررسی و توضیح داده شد و در بین این شش دسته، مدل تأمین سیستم‌های تولید پراکنده اکنون کاملاً پیشرفت کرده است و در چندین فناوری، به‌ویژه فناوری خورشیدی و تولید هم‌زمان (CHP) بازیگران اصلی دارد. در ادامه، به عوامل اثرگذار بر شکل‌گیری و توسعه این مدل‌ها نیز اشاراتی شد. سپس به تأثیر شبکه 5G بر روی این مدل‌ها پرداختیم و شبکه 5G را به‌عنوان یک بنگاه در نظر گرفته و سعی کردیم که مدل‌های تعریف‌شده در شبکه هوشمند را در قالب B2B2C و B2B2B بررسی نماییم. فناوری‌های واقعیت افزوده، واقعیت مجازی و یا ترکیب آن‌ها، قراردادهای هوشمند در بستر بلاک‌چین، برش شبکه 5G، پلتفرم فضای ابری در 5G و سایر فناوری‌هایی که به آن‌ها اشاره شد می‌توانند این مدل کسب‌وکار را انعطاف‌پذیرتر و کارآمدتر و قابل توسعه نمایند. برای تصریح بیشتر مطالب این فصل جدولی تنظیم شده که در آن کسب و کارهایی که در شبکه هوشمند شکل گرفته و زیرساخت 5G می‌تواند در تسهیل شکل‌گیری و انعطاف‌پذیری و مقیاس‌پذیری آن تأثیرگذار باشد مرور شده است.

جدول ۵-۲: جمع‌بندی مدل‌های کسب و کار در شبکه هوشمند در حضور 5G

مدل کسب و کار در شبکه هوشمند	بازیگران اصلی	عوامل تأثیرگذار 5G در شکل‌گیری کسب و کار	توضیحات
تولید پراکنده	- شرکت‌های ارائه‌کننده خدمات و تجهیزات - شرکت‌های توزیع خرده‌فروشان - مشتریان دولت	- واقعیت مجازی و افزوده یا ترکیب آنها - فناوری قراردادهای هوشمند بر روی یک بستر بلاک‌چین	ایجاد شفافیت و همچنین ایمنی و امنیت بیشتر و حذف واسطه‌ها
مدیریت تقاضا (ESCO، خانه هوشمند و پاسخگویی به تقاضا)	- شرکت‌های IT ارائه‌دهنده خدمات تحلیل داده و پلتفرم - شرکت‌های ESCO و DR - مشتریان	- فضای ابری و پلتفرم‌های مبتنی بر ابر - برش شبکه 5G با سطح قابل قبولی از امنیت - برش شبکه mMTC - قرارداد هوشمند بر روی بستر بلاک‌چین	مدیریت بهینه مصرف و ارتقاء امنیت و بهره‌وری
سیستم‌های مجتمع و یکپارچه منطقه‌ای (نیروگاه مجازی و ریزشبکه)	- شرکت‌های VPP - پروسومرها - شرکت‌های توزیع	- میکرواپراتورها - واقعیت مجازی یا افزوده - برش شبکه mMTC با سطح زمان تأخیر و امنیت موردقبول	مدیریت منابع تولید پراکنده و ذخیره‌سازها و همچنین استفاده بهینه از منابع انرژی تجدیدپذیر
خودرو برقی (تجمیع خودروهای برقی و ایستگاه‌های شارژ)	- شرکت‌های ارائه‌دهنده تجهیزات و خدمات شارژ خودرو - شرکت‌های توزیع مشتریان	- میکرواپراتورها در قالب برش شبکه - قراردادهای هوشمند بر بستر بلاک‌چین	مدیریت بهینه مصرف خودروهای برقی و کنترل ایستگاه‌های شارژ

ذخیره‌ساز انرژی	• شرکت‌های توزیع • شرکت‌های ارائه‌کننده خدمات و تجهیزات • شرکت‌های ESCO	• میکروپراپراتورها در قالب برش شبکه • قراردادهای هوشمند بر بستر بلاک‌چین	مدیریت ذخیره‌سازها

مراجع فاز پنجم

- [1] S. K. Rao and R. Prasad, "Telecom Operators' Business Model Innovation in a 5GWorld," *Journal of Multi Business Model Innovation and Technology*, vol. 4_3, pp. 149-178, 2018.
- [2] "P. Ahokangas, et.al, "Future micro operators business models in 5G," *The Business and Management Review*, vol. 7, no. 5, 2016."
- [3] M. M. Al-Debei, D. Avison, "Business Model Requirements and Challenges in the Mobile Telecommunication Sector," *Organisational Transformation and Social Change*, 2011.
- [4] P. Camps-Aragó, S. Delaere, P. Ballon, "5G Business Models: Evolving Mobile Network Operator Roles in New Ecosystems," in *Smart Cities & Information and Communication Technology (CTTE-FITCE)*, 2019.
- [5] "5G Innovations for New Business Opportunities," 5GPPP, 2020.
- [6] P. Ahokangas, et.al, "Business Models for Local 5G Micro Operators," in *IEEE Int. Symposium on Dynamic Spectrum Access Networks (DySPAN)*, 2018.
- [7] Available on: <https://www.zte.com.cn/global/about/magazine/zte-technologies/2020/6-en/Special-Topic/2.html>
- [8] Xu Xia1, Lei Zhang, Chengli Mei, Jinyan Li, Xuettian Zhu, Yun Liang and Jeffrey Song, "A Survey on 5G Network Slicing Enabling the Smart Grid", *IEEE 25th International Conference on Parallel and Distributed Systems (ICPADS)*, 2019
- [9] Wei He, "Bussines Model and Operation of 5G Network Slicing", Chief Operation Architect of Core Network,
- [10] Alfonso Abella and et.el, "Smart Energy: New Applications and Business Models", The Boston Consulting Group in collaboration with the Energy Chair of Orkestra, 2015
- [11] J-M Clairand, J. Rodríguez-García, C. Álvarez-Bel, "Smart Charging for Electric Vehicle Aggregators Considering Users' Preferences," *IEEE Access*, pp. 54624 - 54635, 2018.
- [12] P.Y. Kong, G.K. Karagiannidis, "Charging Schemes for Plug-In Hybrid Electric Vehicles in Smart Grid: A Survey," *IEEE Access*, vol. 4, pp. 6846-6875, 2016.
- [13] I. G. Unda, "Management of Electric Vehicle Battery Charging in Distribution Networks", Institute of Energy, School of Engineering, Cardiff University, 2012.
- [14] R. Leal-Arcas, G. Thanos, M. Kanakakis, G. Fearnley and J.A. Rios, "Business models for decentralized energy," *Journal of Transnational Law & Policy*, vol. 29, 2020.

