

مدیریت هوشمند انرژی الکتریکی در شهر هوشمند



مدیر پروژه: سید محمد مهدی عباسی

واحد مجری: گروه پژوهشی فناوری اطلاعات و ارتباطات

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مدیریت هوشمند انرژی الکتریکی در شهر هوشمند

مدیر پروژه: سید محمدمهدی عباسی

گروه پژوهشی پشتیبان: گروه پژوهشی فناوری اطلاعات و ارتباطات

همکاران پروژه:

خانم مهندس راضیه عبداللهی پور

آقای دکتر محمدرضا جبار پور

دکتر محسن ظهیر

دکتر علی محمد صغیری

واحد مجری:

گروه پژوهشی فناوری اطلاعات و ارتباطات

انتشارات پژوهشگاه نیرو

۱۴۰۱

کد ثبت گزارش: NRI-ER-878-PICTPN07-00-F

DOI: 10.30503/nripress.2020.330

ایران. وزارت نیرو. پژوهشگاه نیرو. گروه پژوهشی فناوری اطلاعات و ارتباطات

مدیریت هوشمند انرژی الکتریکی در شهر هوشمند/ مدیر پروژه: سید محمد مهدی عباسی.
ویراستار: سیما حسینی ماکان. کارفرما: پژوهشگاه نیرو، ۱۴۰۱.

۲۲۳ ص: مصور، نمودار، جدول

۱. عبداللہی پور، راضیہ. جبار پور، محمدرضا. ظہیر، محسن. صغیری، علی محمد؛
همکاران پروژه. ۲. جبار پور، محمدرضا، مدیر واحد مجری. ۳. گروه فناوری
اطلاعات و ارتباطات. گروه پژوهشی پشتیبان.



انتشارات پژوهشگاه نیرو

گروه پژوهشی فناوری اطلاعات و ارتباطات

کلیه حقوق معنوی اثر متعلق به پدیدآورندگان، کلیه حقوق مادی متعلق به پژوهشگاه نیرو و نشر مطالب در
حدود متعارف، با ذکر منبع بلامانع 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

متعهد می‌شوم که مطالب مندرج در این گزارش حاصل کار پژوهشی اینجانب سید محمد مهدی عباسی ، مدیر پروژه مدیریت هوشمند انرژی الکتریکی در شهر هوشمند و همکاران به شرح زیر است و دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این پژوهش از آن‌ها استفاده شده است مطابق مقررات، مورد ارجاع قرار گرفته و در فهرست منابع ذکر گردیده است.

■ گزارش حاصل انجام همه مراحل پروژه است.

□ گزارش حاصل انجام مرحله از مرحله پروژه است.

همکاران :

۱. خانم مهندس راضیه عبداللهی پور
۲. آقای دکتر محمدرضا جبارپور
۳. دکتر محسن ظهیر
۴. دکتر علی محمد صغیری

صفحه	عنوان
۱	فصل اول: شهر هوشمند
۱-۱	مقدمه
۲-۱	بررسی شهر هوشمند و مفاهیم مرتبط
۱-۲-۱	تعریف شهر هوشمند
۱-۲-۲	ابعاد و مؤلفه‌های شهر هوشمند
۳-۲-۱	چالش‌های شهر هوشمند
۱-۳	جمع بندی
۱-۴	مراجع
۲	فصل دوم: بررسی ویژگی‌ها و ابعاد شهر هوشمند و بررسی شهرهای هوشمند دنیا
2-1	دسته‌بندی معیارهای مختلف شهرهای هوشمند دنیا
۱-۱-۲	حمل و نقل پایدار شهری
۲-۱-۱-۱	چالشها
۲-۱-۱-۲	راه‌حلها
۲-۱-۱-۳	نمونه‌ها
۲-۱-۲	افزایش امنیت شهروندان
۲-۱-۲-۱	چالشها
۲-۱-۲-۲	راه‌حلها
۲-۱-۲-۳	نمونه‌ها
۳-۱-۲	مدیریت ریسک و پیشگیری و پاسخ به حوادث
۲-۱-۳-۱	چالشها
۲-۱-۳-۲	راه‌حلها

- ۱۸..... ۲-۱-۳-۳ نمونهها
- ۱۹..... ۴-۱-۲ افزایش بهره‌وری انرژی
- ۱۹..... ۲-۱-۴-۱ چالشها
- ۱۹..... ۲-۱-۴-۲ راه‌حلها
- ۲۰..... ۲-۱-۴-۳ نمونهها
- ۲۲..... ۵-۱-۲ مدیریت هوشمند آب
- ۲۲..... ۲-۱-۵-۱ چالشها
- ۲۲..... ۲-۱-۵-۲ راه‌حلها
- ۲۲..... ۲-۱-۵-۳ نمونهها
- ۲۴..... ۶-۱-۲ دفع و مدیریت هوشمند زباله‌ها و پسماندها
- ۲۴..... ۲-۱-۶-۱ چالشها
- ۲۴..... ۲-۱-۶-۲ راه‌حلها
- ۲۴..... ۲-۱-۶-۳ نمونهها
- ۲۵..... ۷-۱-۲ آموزش و مدارس هوشمند
- ۲۵..... ۲-۱-۷-۱ چالشها
- ۲۵..... ۲-۱-۷-۲ راه‌حلها
- ۲۶..... ۲-۱-۷-۳ نمونهها
- ۲۷..... ۸-۱-۲ سلامت هوشمند
- ۲۷..... ۲-۱-۸-۱ چالشها
- ۲۷..... ۲-۱-۸-۲ راه‌حلها
- ۲۷..... ۲-۱-۸-۳ نمونهها
- ۲۹..... ۹-۱-۲ دولت الکترونیکی
- ۲۹..... ۲-۱-۹-۱ چالشها
- ۲۹..... ۲-۱-۹-۲ راه‌حلها
- ۲۹..... ۲-۱-۹-۳ نمونهها

- ۳۰..... ۱۰-۱-۲ مشارکت شهروندان
- ۳۰..... ۲-۱-۱۰-۱ چالشها
- ۳۰..... ۲-۱-۱۰-۲ راهحلیها
- ۳۰..... ۲-۱-۱۰-۳ نمونهها
- ۳۱..... ۱۱-۱-۲ ادغام سیستم ها و عملیات
- ۳۱..... ۲-۱-۱۱-۱ چالشها
- ۳۱..... ۲-۱-۱۱-۲ راهحلیها
- ۳۱..... ۲-۱-۱۱-۳ نمونهها
- ۳۳..... ۲-۲ شهرهای هوشمند اروپا
- ۳۳..... 2-2-1 لندن، انگلستان
- ۳۶..... 2-2-2 هلسینکی، فنلاند
- ۳۷..... 2-2-3 وین، اتریش
- ۳۸..... ۴-۲-۲ آمستردام، هلند
- ۳۹..... 2-2-5 بارسلونا، اسپانیا
- ۴۱..... 2-2-6 منچستر، انگلستان
- ۴۲..... ۳-۲ شهرهای هوشمند آسیا و اقیانوسیه
- ۴۲..... ۱-۳-۲ سئول، کره جنوبی
- ۴۳..... ۲-۳-۲ هوشیمین، ویتنام
- ۴۳..... 2-3-3 اوکلند، نیوزلند
- ۴۳..... 2-3-4 شهر Woven ، ژاپن
- ۴۴..... ۵-۳-۲ شهر نئوم، عربستان سعودی
- ۴۵..... ۶-۳-۲ مصدر، امارات
- ۴۶..... ۷-۳-۲ سانگدو، کره جنوبی
- ۴۶..... 2-4 شهرهای هوشمند آمریکا
- ۴۶..... ۱-۴-۲ نیویورک، آمریکا
- ۴۷..... ۲-۴-۲ سانفرانسیسکو، آمریکا

۴۹	۳-۴-۲ سیاتل، آمریکا
۵۰	۴-۴-۲ بوستون، آمریکا
۵۱	۵-۴-۲ مونترال، کانادا
۵۲	۶-۴-۲ ونکوور، کانادا
۵۴	۵-۲ جمع بندی
۵۵	۲-۶ مراجع
۵۷	۳ فصل سوم: انرژی الکتریکی هوشمند و کاربردهای آن در مدیریت انرژی الکتریکی در شهر هوشمند
۵۸	۱-۳ مقدمه
۵۸	۲-۳ مفاهیم انرژی هوشمند و مدیریت هوشمند انرژی
۵۹	3-2-1 تقویت مدیریت انرژی پایدار ساختمانها
۶۰	3-2-2 دستیابی به حمل و نقل هوشمند و سبز (کم کربن)
۶۲	3-2-3 بهبود رابطه آب و انرژی
۶۳	3-2-4 بهینه سازی فرآیندهای مدیریت پسماند
۶۴	3-2-5 افزایش بهره‌وری در ارائه خدمات عمومی
۶۶	۳-۳ جمع بندی
۶۸	۴ فصل چهارم: بررسی راهکارها، کاربردها و چالش‌های مدیریت هوشمند انرژی الکتریکی در شهر هوشمند
۶۹	۱-۴ مقدمه
۷۱	۴-۲ بررسی کاربردها و چالش‌های مدیریت هوشمند انرژی الکتریکی در شهر هوشمند
۷۱	4-2-1 چالش‌های انرژی هوشمند
۷۲	4-3 پروژه‌های مدیریت هوشمند انرژی در قاره اروپا
۷۲	4-3-1 مقدمه
۷۳	۲-۳-۴ بهره‌وری انرژی و استفاده منطقی از انرژی
۷۵	۳-۳-۴ منابع جدید و تجدیدپذیر
۷۸	4-3-4 انرژی در حمل و نقل
۸۰	4-3-5 ابتکارات ترکیبی

۴-۴	پروژه‌های مدیریت هوشمند انرژی در قاره آسیا و اقیانوسیه	۸۳
۴-۴-۱	مدیریت هوشمند انرژی در هند	۸۳
۴-۴-۲	پروژه انرژی پایدار در آسیا و اقیانوسیه	۸۶
۴-۵	پروژه‌های مدیریت هوشمند انرژی در قاره آمریکا	۸۸
۴-۵-۱	The Zero Home پروژه	۸۸
۴-۵-۲	Desert Sunlight پروژه	۸۸
۴-۵-۳	Ørsted پروژههای	۸۹
۴-۵-۴	Blue Mountain پروژه	۹۰
۴-۵-۵	eVMT پروژه	۹۱
۴-۵-۶	LIBERTY پروژه	۹۱
۴-۵-۷	پروژه الگوی معماری شهری	۹۳
۴-۵-۸	Dark Landing پروژه مجموعه خورشیدی	۹۳
۴-۵-۹	پروژه سیستم انرژی بادی- هیدروژنی- دیزل در Ramea Island	۹۵
۴-۵-۱۰	GOTA VERDE پروژه	۹۷
۴-۶	جمع‌بندی	۹۷
۵	فصل پنجم: شناسایی مسائل مرتبط با مدیریت هوشمند انرژی الکتریکی و ارزیابی آنها	۱۰۰
۵-۱	مقدمه	۱۰۱
۵-۲	حوزه تولید	۱۰۱
۵-۲-۱	تجهیزات تولید همزمان برق و حرارت (CHP)	۱۰۳
۵-۲-۲	توربین‌های بادی	۱۰۵
۵-۳	حوزه انتقال	۱۰۶
۵-۴	حوزه توزیع	۱۰۸
۵-۴-۱	ترانسفورماتور جامع هوشمند	۱۰۹
۵-۵	خانه هوشمند	۱۱۴
۵-۵-۱	سیستمهای مدیریت انرژی خانگی (HEMS)	۱۱۶

۱۱۸	۵-۲ برنامه‌ریزی سیستمهای مدیریت خانگی
۱۲۲	۵-۶ ذخیره کننده انرژی الکتریکی
۱۲۴	۵-۷ فن آوری ریز شبکه‌ها
۱۲۷	۸-۵ حمل و نقل هوشمند
۱۲۷	۵-۸-۱ پیشبینی ترافیک مکانی-زمانی
۱۳۰	2-5-8 کنترل چراغهای راهنمایی و رانندگی
۱۳۲	3-5-8-3 مشاوره سرعت
۱۳۳	9-5 خودروهای برقی
۱۳۵	۱۰-۵ منابع تجدید پذیر انرژی
۱۴۰	۵-۱۱ بازار برق
۱۴۲	۵-۱۲ جمع‌بندی
۱۴۶	۱۳-۵ مراجع:
۱۵۳	۶ فصل ششم: طراحی مفهومی سیستم مدیریت هوشمند انرژی الکتریکی
۱۵۴	۶-۱ مقدمه
۱۵۶	۶-۲ طراحی مفهومی مدیریت هوشمند انرژی
۱۵۶	۶-۲-۱ ارائه اهداف انرژی هوشمند
۱۶۰	۶-۲-۲ شناسایی ذینفعان و تشکیل کارگروه ذینفعان انرژی هوشمند
۱۶۳	۶-۲-۳ ارائه معماری اجزای انرژی هوشمند و خدمات مورد نیاز
۱۷۴	۶-۲-۴ اختصاص پروژهای به خدمات مورد نیاز
۱۷۴	۶-۲-۵ تأیید توسط کارگروه ذینفعان مدیریت هوشمند انرژی
۱۷۵	۶-۲-۶ انتشار طراحی مفهومی انرژی هوشمند
۱۷۵	۶-۳ تعاملات مدیریت هوشمند انرژی
۱۷۵	۱-۳-۶ خانه هوشمند
۱۷۷	۶-۳-۲ حمل و نقل هوشمند و خودرو برقی
۱۷۷	۶-۳-۳ انرژیهای تجدید پذیر

۱۷۷	۴-۳-۶ بازار برق
۱۷۸	۵-۳-۶ ذخیره ساز انرژی
۱۷۹	۶-۳-۶ ریز شبکه
۱۷۹	۴-۶ نتیجه گیری
۱۸۱	۵-۶ مراجع
۱۸۲	فصل هفتم: اولویت بندی و پیشنهاد ادامه کار
۱۸۳	۱-۷ مقدمه
۱۸۳	۱-۱-۷ خانه هوشمند
۱۸۳	۲-۱-۷ ریز شبکه
۱۸۴	۳-۱-۷ حمل و نقل هوشمند
۱۸۴	۴-۱-۷ انرژی های تجدید پذیر
۱۸۵	۵-۱-۷ ذخیره ساز انرژی
۱۸۵	۶-۱-۷ بازار برق
۱۸۵	۲-۷ پروژه های پیشنهادی
۱۸۵	۱-۲-۷ خانه هوشمند
۱۸۵	۷-۲-۱-۱ استفاده از روش های هوش مصنوعی به منظور پیاده سازی خانه هوشمند مبتنی بر راحتی و آسایش افراد داخل منزل
۱۸۵	۷-۲-۱-۲ تعریف موضوع و اهداف پروژه
۱۸۶	۷-۲-۱-۳ مراحل اجرا
۱۸۶	۷-۲-۱-۴ استفاده از هوش مصنوعی برای بهینه نمودن مصرف انرژی ساختمان
۱۸۶	۷-۲-۱-۵ پیاده سازی خانه های با مصرف نزدیک به صفر
۱۸۷	۷-۲-۱-۶ بهینه سازی شارژ خودرو برقی در خانه هوشمند
۱۸۷	۲-۲-۷ ریز شبکه
۱۸۷	۷-۲-۲-۱ اجرا ریز شبکه نمونه در پژوهشگاه نیرو
۱۹۱	۷-۲-۲-۲ مرکز کنترل ریز شبکه

- ۳-۲-۷ خودرو برقی و حمل و نقل هوشمند ۱۹۴
- ۷-۲-۳-۱ بررسی و استخراج نیازمندیهای سختافزاری و نرمافزاری سیستمهای حمل و نقل هوشمند ۱۹۴
- 7-2-3-2 بررسی و ارائه مدل مفهومی استفاده از بلاکچین و رایانش ابری در زیرسیستمهای حمل و نقل هوشمند ۱۹۴
- 7-2-3-3 بررسی الگوریتمهای پیشبینی ترافیک کوتاه مدت و شبیهسازی یک نمونه موردی ۱۹۵
- 7-2-3-4 بررسی الگوریتمهای کنترل چراغهای راهنمایی و رانندگی در چند تقاطع و شبیهسازی یک نمونه موردی ۱۹۵
- 7-2-3-5 مدیریت شارژ خودروهای برقی در پارکینگهای مجتمعهای مسکونی و تجاری با استفاده از الگوریتمهای هوش مصنوعی ۱۹۶
- ۴-۲-۷ انرژیهای تجدید پذیر ۱۹۶
- ۷-۲-۴-۱ ارائه شبیهسازی و یا همزاد دیجیتال از یک سیستم تجدید پذیر ۱۹۶
- 7-2-4-2 استخراج توابع یادگیری ماشین مورد نیاز و ارائه یک چهارچوب برای مدیریت سیستمهای تجدید پذیر ۱۹۷
- 7-2-4-3 ارائه استانداردهایی جهت توسعه سیستمهای تجدید پذیر ۱۹۷
- 7-2-4-4 پیادهسازی پایلوت به جهت تخمین تولید مبتنی بر توابع یادگیری ماشین ۱۹۸
- ۷-۲-۴-۵ تاثیر زیرساختهای جدید مبتنی بر بلاکچین مانند توکن انرژی بر مدیریت سیستمهای تجدید پذیر ۱۹۸
- ۵-۲-۷ ذخیرهسازهای انرژی ۱۹۸
- ۷-۲-۵-۱ بهینهسازی سطح ولتاژ ذخیرهساز انرژی ۱۹۸
- 7-2-5-2 بهینهسازی سطح ولتاژ ذخیرهکننده انرژی به منظور حداکثر نمودن بهره اقتصادی ۱۹۹
- ۶-۲-۷ بازار برق ۲۰۰
- 7-2-6-1 مدل سازی بازار برق با استفاده از تئوری بازیها و هوش مصنوعی ۲۰۰
- 7-2-6-2 تخمین قیمت برق با در نظر گرفتن ناهمگونی منابع تولید مانند تولید پراکنده ۲۰۰
- 7-2-6-3 ارائه یک معماری برای بازار برق ۲۰۱
- 7-2-6-4 استخراج توابع یادگیری ماشین مورد نیاز برای مدیریت بازار برق ۲۰۱
- 7-2-6-5 تأثیر تحول دیجیتال و منابع تولید جدید مانند تولید پراکنده و تجدید پذیر بر بازار برق ۲۰۱
- 7-2-6-6 ارائه ابزارهای شبیهسازی و یا همزاد دیجیتال برای بررسی بازار برق ۲۰۲
- ۳-۷ نتیجه گیری ۲۰۲
- ۴-۷ مراجع: ۲۰۴

صفحه	عنوان
۳.....	شکل ۱-۱: برخی مؤلفه‌های شهر هوشمند [۹].....
۵.....	شکل ۲-۱: نمایی از تجهیزات لازم برای ساختمان هوشمند [۱۱].....
۶.....	شکل ۳-۱: چارچوب توسعه و نظارت بر زیرساخت‌های شهر هوشمند [۱۲].....
۸.....	شکل ۴-۱: ساختار کلی سیستم سلامت هوشمند [۱۶].....
۲۱.....	شکل ۱-۲: نمایی از چراغ‌های روشنایی هوشمند Totem Power [۶].....
۳۲.....	شکل ۲-۲: مرکز کنترل شهر هوشمند آنیانگ، کره جنوبی [۱].....
۴۰.....	شکل ۳-۲: شبکه پارکینگ هوشمند بارسلونا [۲۰].....
۵۹.....	شکل ۱-۳: سهم بخش‌های مختلف از مصرف انرژی کل کشور (ایران) در سال ۹۴ [۴].....
۶۱.....	شکل ۲-۳: سهم بخش‌های مختلف در انتشار گازهای آلاینده [۵].....
۷۰.....	شکل ۱-۴: بررسی اجمالی سیستم قدرت (نیرو در نیروگاه تولید می‌شود، سپس از طریق پست‌های انتقال حرکت می‌کند تا به مصرف‌کننده نهایی برسد).....
۸۷.....	شکل ۲-۴: سهم انرژی تجدید پذیر در آسیا و اقیانوسیه [۱۸].....
۹۰.....	شکل ۳-۴: مزرعه بادی Block Island.....
۹۰.....	شکل ۴-۴: پروژه Blue Mountain [۲۲].....
۹۲.....	شکل ۵-۴: نمایی از پروژه LIBERTY در آیووا.....
۹۴.....	شکل ۶-۴: نمایی از خانه‌های پروژه Dark Landing Solar [۲۷].....
۹۵.....	شکل ۷-۴: شماتیک ساده شده از سیستم ذخیره انرژی حرارتی [۲۷].....
۹۶.....	شکل ۸-۴: بخش ایجادشده توربین‌های بادی ۶۵ کیلوواتی در جزیره Ramea [۲۶].....
۹۷.....	شکل ۹-۴: پیکربندی سیستم بادی-هیدروژن-دیزل جزیره Ramea [۲۶].....
۱۰۲.....	شکل ۱-۵: معماری اصول طراحی کنترل مبتنی بر داده.....
۱۰۴.....	شکل ۲-۵: یک نمونه سیستم CHP [۱].....
۱۰۵.....	شکل ۳-۵: اجزای اصلی سیستم توربین بادی.....
۱۰۵.....	شکل ۴-۵: ساختمان توربین بادی محور افقی و ساختمان توربین بادی عمودی [۳].....
۱۰۶.....	شکل ۵-۵: اجزای داخلی یک توربین بادی [۴].....

- شکل ۵-۶: ترانسفورماتور جامع هوشمند [۱۳]..... ۱۰۹
- شکل ۵-۷: بهره‌گیری از ترانسفورماتور هوشمند در شبکه هوشمند [۱۳]..... ۱۱۱
- شکل ۵-۸: اتصال بین دو شبکه توزیع..... ۱۱۱
- شکل ۵-۹: اتصال بین شبکه توزیع و شبکه هوشمند..... ۱۱۲
- شکل ۵-۱۰: ساختار ترانسفورماتور هوشمند [۲۲]..... ۱۱۲
- شکل ۵-۱۱: نمایی از پروژه UINFLEX-PM [۲۲]..... ۱۱۳
- شکل ۵-۱۲: نمایی داخلی از مبدل پروژه Das [۲۳]..... ۱۱۴
- شکل ۵-۱۳: مقایسه ترانسفورماتور ۲۰ کیلوهرتز و ۶۰ هرتز [۲۳]..... ۱۱۴
- شکل ۵-۱۴: نمای کلی معماری HEMS [۲۹]..... ۱۱۷
- شکل ۵-۱۵: جریان انرژی الکتریکی در یک سیستم ذخیره‌کننده -فوتوولتائیک خانگی [۵۰]..... ۱۲۳
- شکل ۵-۱۶: طبقه‌بندی روشهای پیشبینی جریان ترافیکی مبتنی بر یادگیری ماشین [۶۳]..... ۱۲۸
- شکل ۵-۱۷: کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی در دو نوع از انرژی‌های تجدید پذیر [۹۰]..... ۱۳۸
- شکل ۵-۱۸: مدل یادگیر پیشنهادی مبتنی بر سه الگوریتم یادگیر [۹۲]..... ۱۳۹
- شکل ۶-۱: نمودار V شکل مهندسی سیستم را برای ایجاد سیستم مدیریت هوشمند انرژی [۱]..... ۱۵۵
- شکل ۶-۲: مراحل توسعه طراحی مفهومی [۱]..... ۱۵۶
- شکل ۶-۳: وظایف مرکز کنترل ریزشکه..... ۱۶۰
- شکل ۶-۴: ارتباطات بیرونی خانه هوشمند [۵]..... ۱۶۴
- شکل ۶-۵: معماری عملکردی سیستم خانه هوشمند..... ۱۶۵
- شکل ۶-۶: عناصر سیستم‌های هوشمند حمل‌ونقل عمومی در معماری چارچوب [۱]..... ۱۶۷
- شکل ۶-۷: مجموعه خدمات موردنیاز برای سیستم نظارت بر ترافیک مبتنی بر زیرساخت [۱]..... ۱۶۸
- شکل ۶-۸: زیرسیستمهای اصلی معماری خودروهای برقی [۶]..... ۱۶۹
- شکل ۶-۹: معماری یک سیستم تجدید پذیر از نقطه نظر عملکردی..... ۱۷۰
- شکل ۶-۱۰: معماری بازار برق از نقطه نظر عملکردی..... ۱۷۱
- شکل ۶-۱۱: معماری عملکردی سیستم ذخیره‌کننده انرژی..... ۱۷۲
- شکل ۶-۱۲: معماری عملکردی سیستم مدیریت انرژی برای سیستم ریزشکه..... ۱۷۳
- شکل ۶-۱۳: ساختار معماری مدیریت هوشمند انرژی..... ۱۷۴

- شکل ۶-۱۴ ساختار کلی تبادلات اطلاعاتی و الکتریکی بین زیرسیستم‌های مختلف انرژی هوشمند..... ۱۷۵
- شکل ۶-۱۵ اینفوگرافی از طراحی مفهومی سیستم مدیریت هوشمند انرژی ۱۸۰
- شکل ۷-۱: سهم بخش‌های مختلف از مصرف انرژی کل کشور (ایران) در سال ۹۴ [۲]..... ۱۸۳
- شکل ۷-۲: سهم بخش‌های مختلف در انتشار گازهای آلاینده [۴]..... ۱۸۴

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۱-۳: خلاصه‌های از راه‌حل‌های مهم مدیریت هوشمند انرژی در حوزه‌های مختلف.....	۶۶
جدول ۲-۳ : چالش‌های کلیدی مدیریت هوشمند انرژی در بخش‌های مختلف.....	۶۷

مقدمه

شهر هوشمند ساختاری است که با استفاده از فناوری اطلاعات و ارتباطات چالش‌های رو به رشد شهرنشینی را حل می‌کند. ایده "شهر هوشمند" فراتر از کاربرد هوشمندانه فناوری در مناطق شهری است، این فناوری باید به پایداری شهرها و بهبود کیفیت زندگی شهروندان کمک کند. "شهر وسیله محور، به هم پیوسته و خبره" از جمله آخرین تعریف‌هایی است که برای شهر هوشمند ارائه شده است. در این تعریف، وسیله محور (Instrumented) به قابلیت ثبت و یکپارچه سازی داده‌های دنیای واقعی اطلاق می‌شود، که با استفاده از سنسورها، ابزارهای سنجش و محاسبه، لوازم خانگی و ابزارهای مشابه دیگر صورت می‌گیرد. منظور از به هم پیوسته (Interconnected)، تجمیع و ادغام داده‌های ثبت شده در یک سکوی محاسباتی به شکلی است که ارتباط میان داده‌ها و اطلاعات را در بین خدمات مختلف شهری میسر سازد. خبره (Intelligent) به عملیات تجزیه و تحلیل پیچیده، مدل سازی و تصمیم یاری اشاره دارد که توانایی اخذ تصمیم‌های بهتر را برای کارگزاران و مدیران شهری میسر می‌سازد. به عبارت دیگر بخش بزرگی از ساختار شهر هوشمند، اساساً شبکه هوشمند از اشیائی است که داده‌ها را با استفاده از فناوری‌های ارتباطی انتقال می‌دهد. برنامه‌های مبتنی بر اینترنت اشیا، داده‌ها را در لحظه دریافت، تجزیه و تحلیل و مدیریت می‌کند تا به دولت‌ها، سازمان‌ها و شهروندان کمک کند تا برای بهبود کیفیت زندگی تصمیمات بهتری بگیرند. یکپارچه سازی اشیا و داده‌ها با زیرساخت‌های فیزیکی و خدمات شهری، می‌تواند هزینه‌ها را کاهش و پایداری را بهبود دهد.

برای هوشمند سازی کیفیت زندگی، ابعاد مختلف زندگی مورد توجه قرار می‌گیرد. به عنوان مثال می‌توان زیرساخت و ارتباطات هوشمند، حمل نقل هوشمند، ساختمان هوشمند، زندگی هوشمند، دولت هوشمند، مدارس هوشمند، مدیریت اداری هوشمند، انرژی هوشمند، امنیت هوشمند، سلامت هوشمند، کسب کار هوشمند و حتی شهروند هوشمند را نام برد. شهر هوشمند به شهری گفته می‌شود که داری چندین معیار اصلی مذکور برای زندگی هوشمند را دارا باشد. تجربه جهانی نشان داده است که می‌توان با ارتقا شهرهای سنتی هر کشور به شهرهای هوشمند به توسعه اقتصادی پایدار و موفق دست یافت.

در این گزارش ابتدا در فصل اول به بیان مفهوم شهر هوشمند، ابعاد و چالش‌های آن پرداخته می‌شود سپس در فصل دوم به بررسی شهرهای هوشمند دنیا پرداخته شده است.

فصل اول: شهر هوشمند

۱-۱ مقدمه

شهر هوشمند ساختاری است که با استفاده از فناوری اطلاعات و ارتباطات چالش‌های رو به رشد شهرنشینی را حل می‌کند. ایده "شهر هوشمند" فراتر از کاربرد هوشمندانه فناوری در مناطق شهری است. این فناوری باید به پایداری شهرها و بهبود کیفیت زندگی شهروندان کمک کند. بخش بزرگی از ساختار شهر هوشمند، اساساً شبکه هوشمندی از اشیا است که داده‌ها را با استفاده از فناوری‌های ارتباطی انتقال می‌دهد. برنامه‌های مبتنی بر اینترنت اشیا، داده‌ها را در لحظه دریافت، تجزیه و تحلیل و مدیریت می‌کند تا به دولت‌ها، سازمان‌ها و شهروندان کمک کند تا برای بهبود کیفیت زندگی تصمیمات بهتری بگیرند. یکپارچه‌سازی اشیا و داده‌ها با زیرساخت‌های فیزیکی و خدمات شهری، می‌تواند هزینه‌ها را کاهش و پایداری را بهبود دهد.

۲-۱ بررسی شهر هوشمند و مفاهیم مرتبط

در این بخش مفهوم شهر هوشمند، اهداف و ابعاد آن مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۱-۲-۱ تعریف شهر هوشمند

با توجه به وسعت فعالیت‌هایی که تحت عنوان شهر هوشمند اجرا شده است، ارائه تعریفی دقیق از شهر هوشمند دشوار است. شهر هوشمند به عنوان شهری تعریف می‌شود که از فناوری اطلاعات و ارتباطات برای برآورده کردن نیازهای شهروندان استفاده می‌کند و شهری که دخالت و مشارکت جامعه در فرایند آن ضروری است؛ بنابراین یک شهر هوشمند شهری است که در حوزه‌های مختلف از فناوری اطلاعات و ارتباطات برخوردار است، و این فناوری را به گونه‌ای پیاده کرده‌اند که بر جامعه شهری نیز تأثیر مثبت بگذارد [۱].

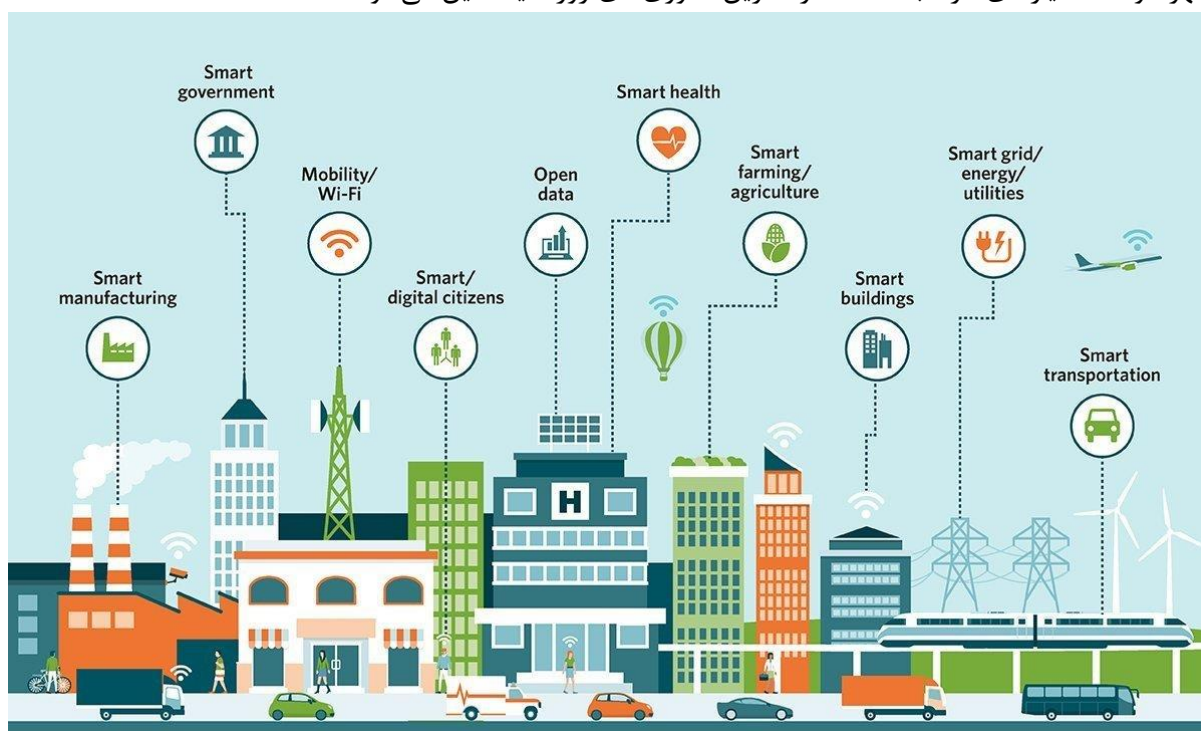
تعاریف مختلفی برای شهر هوشمند در مقالات و سازمان‌های مختلف ارائه شده است که در ادامه به برخی از این تعاریف اشاره شده است:

- هنگامی می‌توان یک شهر را هوشمند نامید که سرمایه‌گذاری بر روی سرمایه‌های انسانی و اجتماعی و زیرساخت‌های ارتباطی سنتی و مدرن، موجب توسعه اقتصادی پایدار و کیفیت بالای زندگی با مدیریتی هوشمندانه منابع طبیعی، از طریق اقدامات و مسئولیت‌پذیری‌های مشارکتی، شود [۲].
- شهر هوشمند شهری است که هشت ویژگی اساسی زیر را داشته باشد: حاکمیت هوشمند، انرژی هوشمند، ساختمان هوشمند، تحرک هوشمند، زیرساخت‌های هوشمند، فناوری هوشمند، سلامت هوشمند و شهروند هوشمند [۳].
- یک شهر هوشمند، فناوری، دولت و جامعه را گرد هم می‌آورد تا بتواند موارد زیر را فراهم کند: اقتصاد هوشمند، تحرک هوشمند، یک محیط هوشمند، مردم هوشمند، زندگی هوشمند، حکومت هوشمند [۴].
- شهر هوشمند می‌تواند فعالیت‌های اقتصادی پایدار و فرصت‌های شغلی پایدار را برای بخش قابل توجهی از ساکنان خود با صرف نظر از سطح تحصیلات، مهارت‌ها یا سطح درآمد آن‌ها، فراهم می‌کند [۵].
- شهر هوشمند، شهری است که مسائل شهری را با استفاده از رویکردهای مبتنی بر حوزه ICT و بر اساس این تفکر که ذینفعان مختلفی در شهر وجود دارند، مورد بررسی قرار می‌دهد [۶].

- شهر هوشمند، شهری با ایده‌های جدید است که از زیرساخت‌های مخابراتی استفاده می‌کند تا کیفیت زندگی را ارتقا دهند، درحالی‌که سازگاری با نیازهای نسل‌های کنونی و آینده را با توجه به جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی، تضمین می‌کند [۷].
- شهر هوشمند برخلاف شهر دیجیتال، فضایی واقعی دارد و با استفاده از ظرفیت‌های نوآورانه ICT به‌عنوان یک بازار بزرگ محصولات با فناوری پیشرفته شناخته می‌شود [۸].

۱-۲-۲ ابعاد و مؤلفه‌های شهر هوشمند

شهر هوشمند را می‌توان یک سیستم کلی در نظر گرفت که از اجزا و مؤلفه‌هایی به نام زیرسیستم‌ها تشکیل می‌شود. همان‌طور که از تعریف زیرسیستم مشخص است، می‌توان گفت که این زیرسیستم‌ها با داشتن اهدافی مشخص، به انجام وظایف تعریف‌شده خود می‌پردازند و به‌منظور رسیدن به هدف نهایی سیستم کلی شهر هوشمند، در ارتباط و تعامل منظم و یکپارچه هستند. در شکل ۱-۱ برخی از مؤلفه‌های شهر هوشمند نشان داده شده است. شهرهای هوشمند بر اساس زیرساخت‌های شهر الکترونیک ساخته می‌شوند (گرچه مفهوم شهر هوشمند فراتر از شهر الکترونیک بوده و مثلاً در شهر هوشمند به ارتقا کیفیت زندگی شهروندان و مشارکت آن‌ها نیز پرداخته می‌شود). در شهر هوشمند نیازهای افراد با استفاده از آخرین فناوری‌های روز دنیا تأمین می‌شود.



شکل ۱-۱: برخی مؤلفه‌های شهر هوشمند [۹]

با توجه به مراجع مختلف از ضروری‌ترین نیازهای توسعه زندگی شهرنشینی در شهرهای هوشمند، زیرساخت‌های فیزیکی و ابزارهای ارتباطی مبتنی بر فناوری‌های روز دنیا می‌باشد. معیارهایی که برای شهر هوشمند شمرده می‌شود ابعاد مختلفی را دربر می‌گیرد. از این میان می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- ساختمان هوشمند
- تجهیزات زیرساخت‌های اطلاعات و مخابرات هوشمند
- محیط زیست هوشمند
- دولت هوشمند
- سلامت هوشمند
- مدیریت انرژی
- حمل‌ونقل هوشمند

در ادامه به بررسی این مؤلفه‌ها در شهرهای هوشمند پرداخته می‌شود.

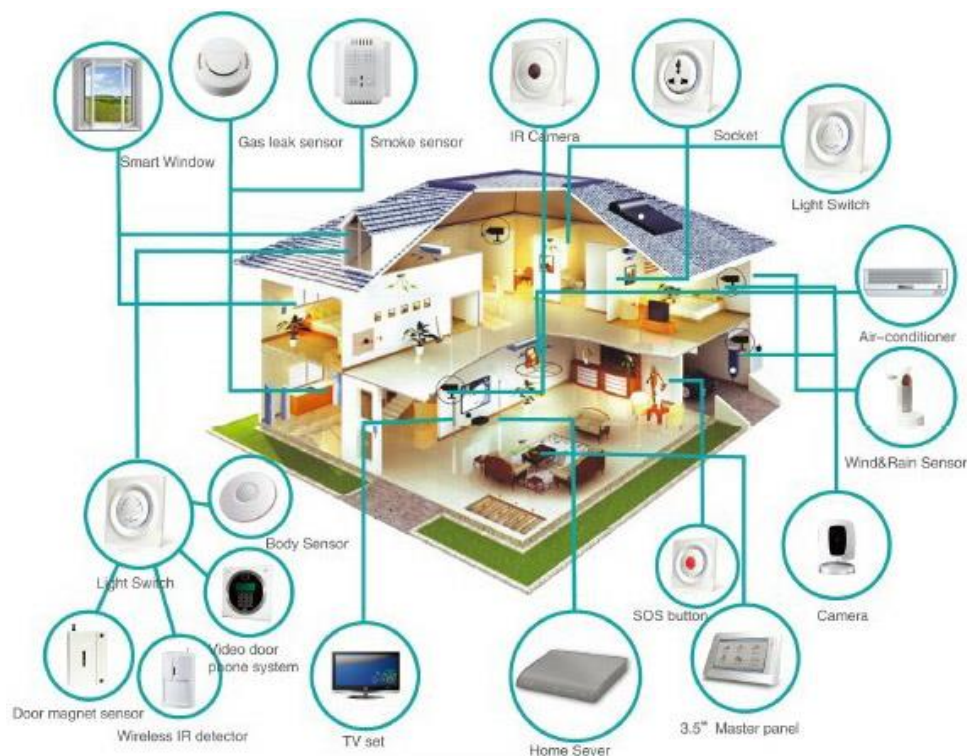
۱-۲-۵ ساختمان هوشمند

ساختمان هوشمند، ساختمانی است که دارای محیطی پویا، امن و مقرون‌به‌صرفه باشد. برای تبدیل خانه معمولی به خانه هوشمند می‌توان عناصر اصلی ساختمان یعنی سیستم‌ها، ساختار و مدیریت را به‌وسیله قوانین و مقررات دنیای دیجیتال و اینترنت اشیا یکپارچه کرد. در این محیط با برقراری ارتباط به‌صورت مستمر بین عناصر اصلی ذکرشده، می‌توان نسبت به تغییرات محیط عکس‌العمل سریع نشان داد و همچنین ساکنان می‌توانند از منابع موجود به‌صورت مؤثرتری استفاده نمایند و از امنیت و آرامش بیشتری برخوردار باشند.

ساختمانی را تصور کنید که به‌عنوان مثال لامپ‌ها زمان روشن یا خاموش شدن خود را بدانند و حتی سیستم‌های گرمایشی و تهویه از ورود افراد به ساختمان مطلع شده و دمای هوا را مطابق میل آن‌ها تنظیم کنند. درواقع در ساختمان هوشمند بین تمام وسایل گرمایشی، تهویه، روشنایی، امنیت و نظارت ارتباط برقرار می‌شود و تمام وسایل از راه دور قابل کنترل و مدیریت هستند. در شکل ۱-۲ نمای از یک ساختمان هوشمند مشاهده می‌شود [۱۰-۱۱].

از مزایای ساختمان هوشمند می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

- حذف مصارف نامطلوب و کاهش مصرف انرژی و صرفه‌جویی در آن
- افزایش ایمنی و سلامت محیط زندگی
- نظارت بر ساختمان و مدیریت آن هنگام بروز حوادث
- کاهش خرابی در تجهیزات و در نتیجه افزایش طول عمر آن‌ها از طریق برقراری سیستم اتوماسیون



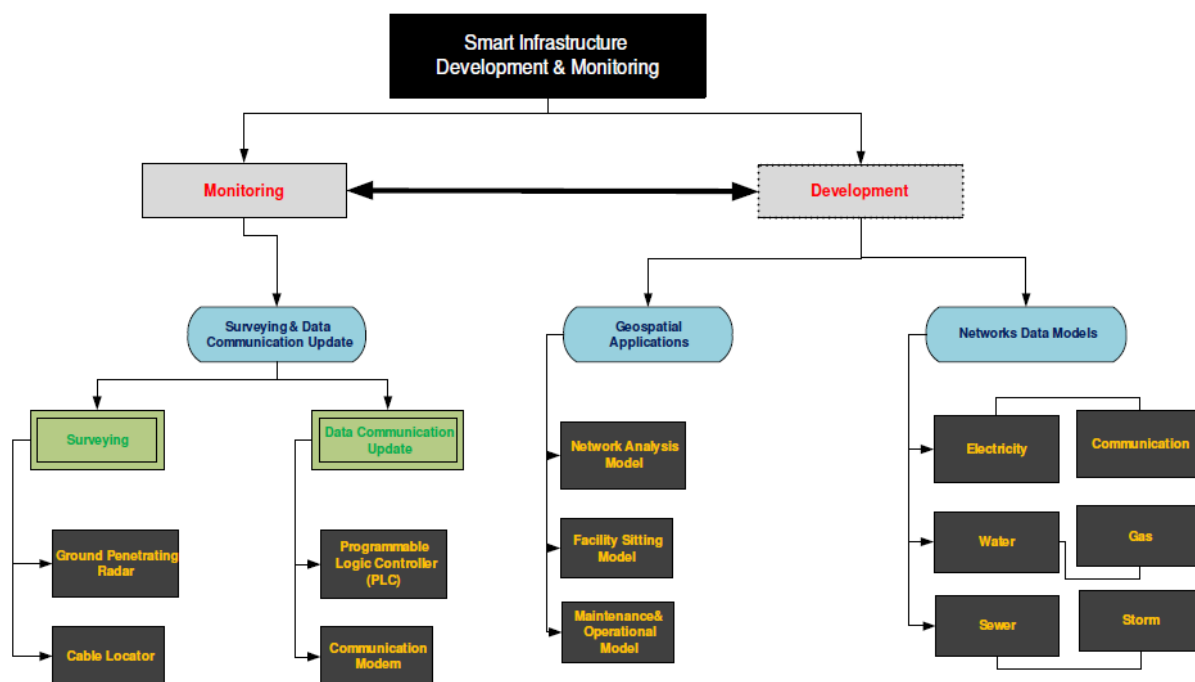
شکل ۲-۱: نمایی از تجهیزات لازم برای ساختمان هوشمند [۱۱]

۲-۲-۲-۱ تجهیزات زیرساخت‌های اطلاعات و مخابرات

یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های شهر هوشمند تجهیزات زیرساخت‌های اطلاعات و مخابرات است. تا سال ۲۰۲۵، جهان حدود ۸۰ میلیارد دستگاه سنسور خواهد داشت که مستلزم ارتباطات بیشتر مبتنی بر داده‌های عظیم است. با وجود سیستم‌های مناسب در کنار کنترل کیفیت و تجزیه و تحلیل داده‌ها، می‌توان در مسیری حرکت کرد که زیرساخت‌ها و تجهیزات شهر هوشمند برای بهره‌وری، پایداری و ایمنی بهینه شوند. شکل ۳-۱ چارچوب توسعه و نظارت بر زیرساخت‌های شهر هوشمند نشان داده شده است [۱۲].

برخی از مواردی که در زیرساخت‌های اطلاعات و مخابرات شهر هوشمند لحاظ می‌شوند عبارت‌اند از:

- زیرساخت‌های نرم‌افزاری و سخت‌افزاری
- واحدهای ارتباطی، فیبر نوری، سنسورها
- نرم‌افزارها و سخت‌افزارهای هوشمند
- تأمین‌کنندگان خدمات اینترنتی
- تکنولوژی نوین اطلاعات و ارتباطات



شکل ۱-۳: چارچوب توسعه و نظارت بر زیرساخت‌های شهر هوشمند [۱۲]

۱-۲-۲-۱ محیط‌زیست هوشمند

یکی از مؤلفه‌های مهم شهر هوشمند، محیط‌زیست هوشمند است. در شهر هوشمند تلاش می‌شود تا شاخص‌های زیست‌محیطی با استفاده از تکنولوژی‌های جدید که به حفظ و بهبود منابع زیست‌محیطی کمک می‌کند، بهبود یابد. با استفاده از نوآوری‌های فناورانه به پایداری محیط‌زیست و کاهش استفاده از انرژی و تشویق به کاهش مصرف، کمک می‌شود [۱۳].

از جمله مواردی که در حوزه محیط‌زیست هوشمند مطرح می‌شود زیبایی ظاهری شهر، هوای پاک و حذف و یا کاهش آلاینده‌ها و گازهای گلخانه‌ای، کاهش مصرف انرژی و افزایش بهره‌وری می‌باشد. یکی از ابزارهای مهمی که در این حوزه استفاده می‌شود فناوری اینترنت اشیا است. امروزه با تکنولوژی‌های نوین سنسورها و تجهیزات مخابراتی این امکان به دست آمده است تا هم در مناطق شهری و هم مناطق غیرشهری بتوان به طور گسترده و با هزینه مناسب از این سنسورها استفاده کرد. یکی دیگر از اقداماتی که موجب حفظ منابع طبیعی می‌شود، مانیتورینگ تغییرات کوچک در محیط است و این می‌تواند از بروز حوادث بزرگ برای محیط‌زیست و شهروندان، پیشگیری به عمل آورد. لذا در برنامه‌ریزی‌ها و اقدامات توسعه‌ای شهرهای هوشمند، مورد توجه بوده و موجب ارتقاء سطح کیفی زندگی شهروندان می‌شود.

می‌توان در رابطه با روش‌های هوشمند سازی محیط‌زیست به موارد زیر اشاره نمود :

- سامانه‌های تشخیص زودهنگام سیل، زلزله، طوفان و آتش‌سوزی جنگل‌ها
- کشاورزی هوشمند
- مدیریت پسماند و فاضلاب شهری

- اندازه‌گیری میزان آلاینده‌ها، ریزگردها و ذرات معلق موجود در هوا
- کنترل میزان تشعشعات و امواج رادیویی موجود
- پایش از راه دور گونه‌های مختلف جانوری

۱-۲-۳ دولت هوشمند

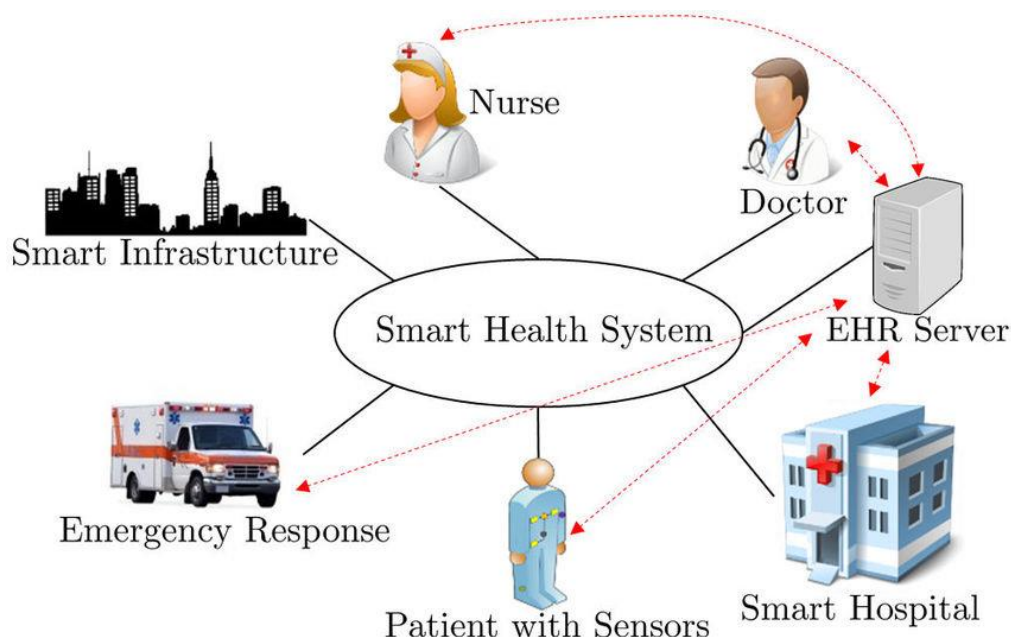
در نتیجه‌ی شهرنشینی سریع، جهانی‌سازی و نوآوری‌های فناوری یک الگوی جدید برای دولت در حال ظهور است. مدل‌های قدیمی و سنتی حکومت‌داری دیگر نمی‌تواند پاسخگوی چالش‌های اجتماعی، اقتصادی و محیطی که چندبعدی و چند رشته‌ای و وابسته به یکدیگر هستند، باشد. به منظور پرداختن به این چالش‌های بی‌سابقه، شهرها در سراسر جهان در حال پذیرش یک مفهوم جدید تحت عنوان دولت هوشمند برای اداره شهرهای خود هستند. مدیران دولتی به سیستم‌ها و ابزارهای هوشمند برای هماهنگی در بخش‌های مختلف نیاز دارند تا بتوانند با استفاده از داده‌های بلادرنگ، اشتراک‌گذاری اطلاعات به طرح‌های جدید رفاهی دست یابند. هدف از دولت هوشمند، شفاف‌سازی سیستم‌ها و آگاهی بیشتر شهروندان از مدیریت شهرها می‌باشد. پورتال‌های تحت وب ارگان‌های دولتی و برنامه‌های تلفن همراه به مردم کمک کرده‌اند تا مستقیماً سؤالات، پیشنهادات و شکایات خود را با مقامات دولتی در میان بگذارند [۱۵-۱۴]. برخی از مزایای دولت هوشمند عبارت‌اند از:

- ایجاد پل ارتباطی قوی میان نهادهای و سازمان‌ها
- بهبود دسترسی به خدمات دولتی
- ارائه خدمات هوشمندتر به شهروندان
- توسعه فرآیندهای جامعه

۱-۲-۴ سلامت هوشمند

مراقبت‌های بهداشتی بخش مهمی از شهرهای هوشمند است و در تبدیل شهرهای سنتی به شهرهای هوشمند نقش بسیار مهمی ایفا خواهد کرد. استفاده از فناوری اطلاعات و ارتباطات در حوزه پزشکی، خدمات سلامت را باکیفیت‌تر کرده است و این باعث ارتقاء سطح زندگی افراد می‌شود. روش‌های هوشمند با فراهم کردن سرویس‌های درمان می‌تواند هزینه‌ها را کاهش دهد و بین فعالان صنعت بهداشت و درمان ارتباط مؤثری برقرار کند. برنامه‌های کاربردی تلفن همراه در حوزه سلامت هوشمند به عنوان یک عامل بهبوددهنده کیفیت خدمات بهداشتی و درمانی عمل کرده است. این خدمات با فراهم آوردن ارتباطات آسان بین بیماران و پزشکان بهداشتی باعث ارتقاء سطح سلامت جامعه خواهند شد [۱۶]. ساختار کلی از سیستم سلامت هوشمند در شکل ۱-۴ آورده شده است. برخی از مواردی که متأثر از هوشمند سازی سلامت می‌باشند عبارت‌اند از:

- تجهیزات بیمارستانی
- مؤسسات درمانی
- وسایل پزشکی
- وسایل حمل و نقل حوزه سلامت مانند آمبولانس‌ها



شکل ۴-۱: ساختار کلی سیستم سلامت هوشمند [۱۶]

۶-۲-۲-۱ مدیریت انرژی

به منظور حل مشکلات زیست محیطی و بحران انرژی و همچنین اطمینان از پایداری و بهره‌برداری مطمئن از شبکه انرژی، مشارکت فعال مشترکین امری غیرقابل انکار بوده و برای رسیدن به اهداف شهر هوشمند، لازم و ضروری به نظر می‌رسد.

برای اجرای برنامه‌های مدیریت هوشمند انرژی به تجهیزات اندازه‌گیری پیشرفته‌ای نیاز است که در هر لحظه اطلاعات مربوط به مصرف انرژی را در اختیار شهروندان قرار دهد و از طرف دیگر مصرف‌کنندگان را از قیمت‌های لحظه‌ای انرژی مطلع نماید تا با آگاهی از آن، مصرف خود را تنظیم کنند. بنابراین می‌توان گفت که یکی از مهم‌ترین نتایج به وجود آمدن شهر هوشمند، افزایش انعطاف‌پذیری مصرف‌کنندگان نسبت به تغییرات قیمت می‌باشد.

در بخش مدیریت هوشمند انرژی می‌توان از راه دور و توسط یک سوئیچ کنترل، تجهیزات الکتریکی مشترکین (بارهایی از قبیل تهویه مطبوع، آبگرم کن‌ها، پمپ‌های استخر) را با اطلاع قبلی قطع کنند.

از دیگر نمونه‌های قابل ذکر در این روش، می‌توان به نصب ترموستات‌های هوشمند و قابل برنامه‌ریزی اشاره کرد. برنامه‌های کنترل مستقیم باری که از این ترموستات‌ها استفاده می‌کنند، از راه دور امکان کنترل درجه این ترموستات‌ها را دارا می‌باشند. بدین معنی که در تابستان و در هنگام نیاز، شرکت برق درجه این ترموستات‌ها را بالا می‌برد تا مصرف برق کاهش پیدا کند. پس از برطرف شدن پیشامد، درجه حرارت ترموستات مجدداً همانند قبل از وقوع حادثه (تنظیم مصرف‌کنندگان) خواهد شد.

با استفاده از تجهیزات مذکور، شرکت‌ها می‌توانند نرخ‌های گوناگونی را به مصرف‌کنندگان عرضه کنند. به عبارت دیگر در زمان‌های پیک مصرف که قیمت‌های بازار بالاست اگر مصرف‌کنندگان در طی زمان‌های یادشده، مصرف خود را کاهش دهند، تخفیف‌هایی به آن‌ها ارائه می‌دهند. علاوه بر اعلام قیمت، شرکت‌ها می‌توانند مصرف‌کنندگان را از شرایط اضطراری سیستم مطلع کرده و آن‌ها را با دادن انگیزه‌های مختلف به کاهش مصرف تشویق کنند [۱۷].

۱-۲-۲-۷ حمل‌ونقل هوشمند

با توجه به افزایش مشکلات حمل‌ونقل مانند آلودگی‌های محیط‌زیست، کاهش منابع انرژی فسیلی، افزایش خسارت‌های ناشی از تصادفات، مشکلات مدیریت حمل‌ونقل برون‌شهری و زمان‌های تلف‌شده در ترافیک‌های شهری نیاز به تغییر در نگرش روش‌های سنتی حمل‌ونقل بیش‌ازپیش احساس می‌شود. یکی از نیازهای اساسی در شهرهای هوشمند استفاده از بستر حمل‌ونقل هوشمند می‌باشد. حمل‌ونقل هوشمند به مجموعه‌ای یکپارچه از امکانات و تخصص‌ها مانند مهندسی ترافیک، تکنولوژی‌های نرم‌افزاری، سخت‌افزاری و مخابراتی اطلاق می‌شود که به‌منظور بهبود کارایی و ایمنی در سیستم حمل‌ونقل به کار گرفته می‌شود [۱۸].

در سیستم حمل‌ونقل هوشمند فناوری‌های متعددی مانند هدایت خودرو، سیستم کنترل چراغ‌های راهنمایی و رانندگی، تابلوهای اعلان ترافیک، دوربین سرعت‌سنج و سیستم خودکار شناسایی شماره پلاک خودرو بکار می‌رود. سیستم‌های پیشرفته با دریافت اطلاعات از بخش‌های مختلف و تجزیه و تحلیل آن‌ها فرامین مناسب را به بخش‌های مختلف ارسال می‌کند.

مزایای به‌کارگیری سیستم حمل‌ونقل هوشمند عبارت‌اند از:

- کاهش ترافیک و بهینه‌سازی جریان ترافیک
- کاهش مصرف انرژی و آلودگی محیط‌زیست
- اطلاع‌رسانی به مسافر با سیستم‌های پیشرفته اطلاع‌رسانی
- سهولت در انتخاب نوع وسیله نقلیه برای مسافر
- سهولت در پرداخت به دلیل استفاده از سیستم پرداخت‌های الکترونیک
- پشتیبانی و مدیریت وسایل نقلیه امدادی

۱-۲-۳ چالش‌های شهر هوشمند

با توجه به پیش‌بینی‌های انجام‌شده تا سال ۲۰۵۰ جمعیت جهان به حدود ۱۰ میلیارد نفر خواهد رسید که در حدود ۷۰ درصد آن‌ها در شهرها زندگی خواهند کرد. با افزایش زندگی شهرنشینی و مشکلات آن نیاز به شهرهای هوشمند بیش‌ازپیش احساس می‌شود ولی با تمام مزایایی که شهرهای هوشمند خواهند داشت برخی چالش‌ها پیش رو این شهرها خواهد بود که در ادامه برخی از آن‌ها بیان شده است [۱۹].

- یکی از مسائلی که در مورد شهرهای هوشمند مورد بحث بین کارشناسان قرار می‌گیرد و حتی افرادی که از شهرهای هوشمند حمایت می‌کنند نیز در این مورد چالش‌هایی را مطرح می‌کنند، ورود به حریم خصوصی

افراد می‌باشد. تحقیقات بسیاری به‌منظور استفاده از داده و اطلاعات افراد برای پیشبرد شهر هوشمند بدون ورود به حریم خصوصی افراد در حال انجام است.

- علی رقم تائید نگرانی کارشناسان در خصوص حفظ حریم خصوصی افراد ولی یکی از مشکلات شهرهای هوشمند فقدان داده‌های کافی در برخی از حوزه‌ها است. به‌عنوان مثال در هنگام رانندگی شخص با استفاده از داده‌های بصری اطراف از تصادفات احتمالی جلوگیری می‌کند ولی این امکان برای اتومبیل‌های خودران وجود ندارد و باید اطلاعات دقیقی از خودروهای اطراف مانند محل دقیق و سرعت آن‌ها در دسترس باشد.
- یکی از نیازهای اساسی شهرهای هوشمند تأسیسات زیربنایی مخابراتی و دسترسی به شبکه اینترنت پرسرعت می‌باشد. طبق ادعای شرکت‌های ارائه‌دهنده خدمات اینترنتی، توسعه شهرهای هوشمند با همه‌گیر شدن سطح پوشش شبکه 5G تسریع خواهد شد ولی در حال حاضر مناطق بسیار کمی به این تکنولوژی دسترسی دارند.
- با توجه به محدودیت‌های مالی دولت‌ها، شهرهای هوشمند نمی‌تواند تنها با حمایت مالی دولت‌ها ساخته شوند و مشارکت‌های بخش خصوصی می‌توانند راهکاری مهم برای سرمایه‌گذاری در این شهرها باشد. به‌عنوان نمونه، سیسکو با همکاری تعدادی از شرکت‌های خصوصی قصد دارد فناوری‌های جدید را در شهرهای هوشمند راه‌اندازی کند.
- یکی از چالش‌های شهرهای هوشمند حجم داده‌های ایجادشده در آن‌ها می‌باشد. داده‌های ایجادشده در بخش‌های مختلف شهر هوشمند نیاز به ذخیره‌سازی و پردازش کردن دارد. تخمین زده‌شده است که هزینه ذخیره‌سازی داده‌های حوزه IT در سال ۲۰۱۹ حدود ۵۲ میلیارد دلار بوده است و با افزایش حجم داده‌ها و افزایش پردازش بر روی آن‌ها این هزینه افزایش خواهد یافت.

۳-۱ جمع بندی

در این فصل به بررسی مفاهیم و ابعاد شهر هوشمند پرداخته شد و مروری بر بخش‌های مختلف شهر هوشمند مانند ساختمان هوشمند، تجهیزات زیرساخت‌های مخابراتی هوشمند، محیط زیست هوشمند، دولت هوشمند، سلامت هوشمند، مدیریت انرژی، حمل‌ونقل هوشمند، انجام شد. سپس به بیان چالش‌های پیش رو شهرهای هوشمند پرداخته شد. با توجه به افزایش زندگی شهر نشینی در سال‌های آینده و مشکلات بسیار زندگی شهری نیاز به حرکت از شهرهای سنتی به شهرهای هوشمند بیش از پیش احساس می‌شود.

- [1] Deakin, M, "From intelligent to smart cities", In Deakin, Mark (ed.), Smart Cities: Governing, Modelling and Analysing the Transition. Taylor and Francis, 2013.
- [2] <https://ideas.repec.org/p/vua/wpaper/2009-48.html>.
- [3] <https://www.forbes.com/sites/sarwantsingh/2014/06/19/smartcities a 1.5 trillion market opportunity>.
- [4] <https://smartcities.ieee.org/>.
- [5] "Draft Concept Note on Smart City Scheme" (PDF). Government of India – Ministry of Urban Development. Archived from the original (PDF) on 3 February 2015.
- [6] European Parliament, Mapping Smart Cities in the European Union (EU), 2014.
- [7] <https://www.itu.int/en/ITU-T/Workshops-and-Seminars/Pages/URY-2014.aspx>.
- [8] Ishida, T, "Digital city, smart city and beyond". In The Proceedings of the 26th World Wide Web International Conference, Australia, 2017.
- [9] <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/smart-city>.
- [10] <http://www.cio.com/article/2602467/consumer-technology/10-hot-internet-of-things-startups.html>.
- [11] <http://smarthomeenergy.co.uk/what-smart-home>.
- [12] Al-Hader, Mahmoud, and Ahmad Rodzi. "The smart city infrastructure development & monitoring." *Theoretical and Empirical Researches in Urban Management*, PP.87-94, 2009.
- [13] <https://www2.deloitte.com/us/en/pages/consulting/solutions/smart-city-sustainability-environment-energy.html>.
- [14] S. Praharaj, J.H. Han, S. Hawken, "Towards the right model of smart city governance in India", 2018. *Int. J. Sust. Dev. Planning* 13(2), PP.171–186, 2018.
- [15] Lopes, Nuno Vasco Moreira, and Shahid Farooq. "Smart City Governance Model for Pakistan." *Smart Governance for Cities: Perspectives and Experiences*. Springer, PP.17-28, 2020.
- [16] Sanghavi, Jignya. "Review of Smart Healthcare Systems and Applications for Smart Cities." *ICCCE 2020*. Springer, Singapore, pp 325-331, 2020.
- [17] Christian Francisco, "Energy Management in Smart Cities", DOCTORAL THESIS, MADRID SPAIN, 2017.
- [18] <https://mobility.here.com/learn/smart-transportation/introduction-smart-transport>.
- [19] <https://blogs.scientificamerican.com/observations/whats-holding-smart-cities-back/>

فصل دوم: بررسی ویژگی‌ها و ابعاد شهر هوشمند و بررسی شهرهای هوشمند دنیا

۲-۱-۲ دسته‌بندی معیارهای مختلف شهرهای هوشمند دنیا

شهرهای هوشمند و پروژه‌های مرتبط با آن‌ها را می‌توان براساس عوامل و معیارهای مختلفی دسته‌بندی کرد. در ادامه این دسته‌بندی‌ها به همراه چالش‌ها و راه‌حل‌های موجود در هر دسته مورد بررسی قرار گرفته و نمونه‌های واقعی که در دنیا در راستای نیل به آن هدف به انجام رسیده است، بیان می‌گردند [۱].

۲-۱-۱-۲ حمل‌ونقل پایدار شهری

۲-۱-۱-۱-۱ چالش‌ها

حمل‌ونقل یکی از چالش‌های عمده در شهرهای بزرگ است. افزایش اتومبیل‌ها موجب افزایش تراکم، تصادفات و تولید آلودگی و گازهای گلخانه‌ای می‌شوند. در یک شهر بزرگ به‌طور متوسط سفر روزانه ۳ الی ۴ ساعت است؛ که با افزایش جمعیت در سال‌های آینده مشکل حمل و نقل در شهرهای بزرگ بیشتر خواهد شد.

۲-۱-۱-۲-۲ راه‌حل‌ها

کنترل و مدیریت ترافیک و کاهش تصادفات در شهر به‌وسیله بررسی سیستم‌های مانیتورینگ و مدیریت ترافیک از اهداف مشترک بسیاری از شهرهای هوشمند است. یکی دیگر از دغدغه‌ها تدارک سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی به‌صورت کارآمدتر و مناسب برای توسعه شهری و تساوی حقوق اجتماعی می‌باشد. اکثر راه‌حل‌ها به‌منظور آماده کردن شهر برای اجرای یک سیستم حمل‌ونقل چندحالتی در آینده، شامل وسایل مختلف (دوچرخه، مترو، مسیرهای مخصوص اتوبوس، قطار سبک شهری) می‌باشد که موجب کاهش مصرف سوخت، انتشار گاز، زمان جابه‌جایی و در نتیجه بهبود کیفیت هوا می‌شود.

۲-۱-۱-۳ نمونه‌ها

- بوگوتا، کلمبیا

○ تمرکز: سیستم حمل‌ونقل عمومی یکپارچه

در اواخر دهه ۹۰ میلادی، بوگوتا با اجرای پروژه TransMilenio که ترکیبی از یک سیستم حمل‌ونقل سریع و مقرون‌به‌صرفه اتوبوسی^۱ (BRT)، که مسافت‌های طولانی را در خطوط اختصاصی در جاده‌های اصلی شهر طی می‌کنند و احداث بیش از ۴۰۰ کیلومتر خطوط اختصاصی برای دوچرخه‌سواران است، تحول اساسی را در حمل‌ونقل عمومی خود به وجود آورد. شبکه TransMilenio به طول ۱۱۳ کیلومتر، دارای ۱۳۷ ایستگاه و ۱۲ خط است که در حال حاضر سیستم حمل‌ونقل یکپارچه^۲ (ITS) را ایجاد کرده است. محله‌ها از طریق اتوبوس‌های کوچک‌تر و سبک‌تر خدمت دریافت می‌کنند که به دسته‌های مختلف تقسیم‌بندی شده‌اند. همراه با افزودن علائم و تابلوها، چراغ‌های راهنمایی و رانندگی و دوربین‌های نظارتی، ITS به‌طور قابل‌توجهی حمل‌ونقل شهری را بهبود داده است. یک وب‌سایت و یک برنامه موبایل (Moovit) طراحی شده است که امکان برنامه‌ریزی مسیرها را به‌صورت روزانه از طریق TransMilenio و مسیرهای یکپارچه مشخص‌شده برای مردم فراهم می‌کند. پرداخت هزینه‌ها از طریق کارت‌های پیش‌پرداخت انجام می‌شوند. بررسی‌های اخیر روزنامه El Espectador نشان داد که ۲۰ درصد از افرادی که از خودروی شخصی برای

^۱ Bus Rapid Transit(BRT)

^۲ Integrated Transportation System(ITS)

جایابی استفاده می کردند به دلیل سرعت جایابی و هزینه پایین تر به سیستم حمل و نقل عمومی TransMilenio روی آورده اند [۲].

• سانتاندر، اسپانیا

○ تمرکز: استفاده از سنسورها در مدیریت ترافیک شهری

با اجرای پروژه شهر هوشمند در ۲۰۱۰، سانتاندر از مفهوم اینترنت اشیا^۱ (IoT) مبتنی بر نصب سه نوع سنسور استفاده می کند: استاتیک (در نقاط مختلف و ثابت از شهر نصب می شود تا دما، رطوبت، بارش، نور، نویز، فشار در لوله های آب، ... را اندازه گیری کند)، دینامیکی (در خودروهای متحرک مانند اتوبوس ها، تاکسی ها، ماشین های پلیس، ماشین های حمل زباله نصب می شود) و اشتراکی (کاربردهای مورداستفاده شهروندانی که می توانند اطلاعاتی در مورد مشکلی به طور مثال در خیابان ها/جاده ها ارسال کنند). بیش از ۲۰۰ سنسور زیر نقاطی از آسفالت در ورودی شهر نصب شده است تا میزان ترافیک اندازه گیری شود. همچنین اتوبوس ها، تاکسی ها و خودروهای پلیس مکان و سرعت خود را به صورت بلادرنگ گزارش می کنند که اجازه می دهد تا دائماً نقشه وضعیت ترافیک موجود باشد. تگ و برچسب موجود در هر ایستگاه اتوبوس اطلاعات مربوط به خطوط، برنامه زمان بندی، زمان انتظار و مسیرها نشان می دهد. تمام این اطلاعات برای عموم بر روی وبسایت ها و برنامه های کاربردی موبایل (SmartSantanderRA و Google Maps) در دسترس می باشد تا بتوانند انتخاب کنند از چه طریقی به مقصد برسند. این خود موجب کاهش زمان سفر، کاهش تولید CO₂ و کاهش ترافیک می شود [۱].

• مصدر، امارات متحده عربی

○ تمرکز: برنامه ریزی برای پیاده روها

شهر مصدر که در حال ساخت در ناحیه صحرای ابوظبی می باشد، طرحی ۱۰۰٪ مناسب برای افراد پیاده می باشد. برای این منظور شهردار تصمیمی برای سیستم حمل و نقل زیرزمینی مبتنی بر خودروها و اتوبوس های الکتریکی و خطوط قطار و مترو برای کل شهر اتخاذ کرده است؛ بنابراین از حضور زیاد خودروهای در سطح شهر جلوگیری می شود. علاوه بر آن چون شهر برای افراد پیاده طراحی شده است، تلاش زیادی برای طراحی پیاده روهای خوب با عرض و سایه بان مناسب انجام شده است. همچنین این شهر به گونه ای منطقه بندی شده است که ناحیه های مسکونی و تبلیغاتی و تفریحی به یکدیگر نزدیک باشند تا از سفرهای عمومی و یا با خودرو شخصی جلوگیری شود [۱].

• مدلین، کلمبیا

○ تمرکز: سیستم حمل و نقل شهری هوشمند

شهر مدلین سال هاست که ضرورت ایجاد سیستم حمل و نقل هوشمند از طریق یکپارچه سازی فناوری های اطلاعاتی و ارتباطی، زیرساخت حمل و نقل و انواع مختلف وسایل نقلیه، به منظور مدیریت مؤثر این مؤلفه ها و بهبود حمل و نقل شهری را موردتوجه قرار داده است. سیستم حمل و نقل شهر مدلین^۲ (IMSM) از ۴۰ دوربین برای تشخیص تخلفات

^۱ Internet of Things(IoT)

^۲ Intelligent Mobility System of Medellin(IMSM)

راهنمایی و رانندگی، ۸۰ دوربین نظارتی، ۶۰۰ چراغ راهنمایی و رانندگی شبکه شده و ۱۲۰ چراغ راهنمایی و رانندگی با حسگرهای تشخیص وسیله نقلیه قادر به ضبط اطلاعات ترافیکی مانند تراکم، تعداد مسافر، سرعت متوسط و ... تشکیل شده است. علاوه بر این، این سیستم دارای ۳۸۰۰ اتوبوس مجهز به حسگرهای GPS و سرعت و تشخیص حضور افراد است.

اطلاعات تولیدشده توسط مؤلفه‌های IMSM به مرکز کنترل جابجایی واحد حمل‌ونقل و ترافیک ارسال می‌شوند. این واحد وظیفه نظارت بر ترافیک، لجستیک (مدیریت جریان) آن، تجزیه و تحلیل پیش‌گویانه و ارتباط با مقامات دولتی و همچنین تولید اطلاعات برای شهروندان از طریق پنل‌های الکترونیکی، برنامه‌های کاربردی موبایل و شبکه‌های اجتماعی را بر عهده دارد. واحد حمل‌ونقل طیف وسیعی از استراتژی‌های خدمات شهروندی، از جمله خدمات آنلاین را یکپارچه می‌کند. حساب کاربری تویتر دبیرخانه حمل‌ونقل و ترافیک مدلین به‌عنوان تأثیرگذارترین واحد کشور در بین کلیه ارگان‌ها و نهادهای عمومی رتبه‌بندی شده است. با استفاده از تجهیزات و وسایلی که بیش از ۸۰ درصد حمل‌ونقل شهری را کنترل می‌کند، شهر مدلین تعداد حوادث رانندگی شهری را ۲۴ درصد کاهش داده است [۱].

۲-۱-۲ افزایش امنیت شهروندان

۲-۱-۲-۱ چالش‌ها

پیش‌زمینه یک جامعه سالم احساس امنیت بین افراد آن جامعه می‌باشد. شرکت مردم در فعالیت‌های اجتماعی مستلزم احساس امنیت از طرف آن‌ها می‌باشد. در نظرسنجی‌های انجام‌شده، امنیت عمومی دائماً به‌عنوان اولویت بالا در زندگی شهری دیده می‌شود.

۲-۱-۲-۲ راه‌حل‌ها

امنیت عمومی نیازمند هماهنگی ادارات متعددی برای مانیتور و اجرا در مکان‌های عمومی و درعین‌حال رعایت حقوق شهروندان می‌باشد. استفاده از دوربین‌ها، سنسورها و سیستم‌های الکترونیکی، این کار را ممکن می‌سازد. تحلیل داده تولیدشده کمک می‌کند تا امنیت کارآمد و برنامه‌های پیشگیری از خشونت بیشتری برای نواحی مختلفی از شهر ساخته شود. همچنین موجب می‌شود که در حوادث غیرمنتظره و حوادث امنیت شهری به صورتی مفهومی و سازمان‌یافته پاسخ داده شود. این کار با تعیین و هماهنگی نهادهایی که باید با توجه به آن حادثه درگیر شوند انجام می‌شود [۳].

۲-۱-۲-۳ نمونه‌ها

- بوینوس آیرس، آرژانتین

○ تمرکز: مدرن‌سازی پلیس و یکپارچه‌سازی سیستم‌های اضطراری

در سال ۲۰۱۱، با توجه به میزان بالای جرم و جنایت در شهر بوینوس آیرس، مقامات این کشور تصمیم به مدرن‌سازی پلیس و پروتکل‌های عملیاتی آن گرفتند. به همین منظور، تغییر سیستم‌های رایانه‌ای و شبکه‌های ارتباطی صوتی و داده‌ای، استقرار دوربین‌ها و حسگرهای امنیتی و آموزش کارکنان پلیس برای بهره‌برداری از تجهیزات امنیتی جدید تسریع شد. به‌منظور اطمینان از واکنش مناسب پلیس در قبال جرائم، علاوه بر به‌روزرسانی نحوه عملکرد آن‌ها و

استفاده از فناوری‌های جدید که امکان استقرار کارآمد نیروهای امنیتی را فراهم می‌کنند، این سیستم با سرویس مراکز اضطراری ۹۱۱ این شهر ادغام شده است. این موضوع منجر به بهبود نتایج تصمیمات پلیس و احساس امنیت بیشتر شهروندان شده است. مرکز^۱ (UECC) تماس‌های تلفنی دریافتی را مدیریت کرده و اقدامات دستگاه‌های ذیصلاح و مرتبط با هر تماس را هماهنگ می‌کند، مانند فوریت‌های شهری (دفاع شهری و لجستیک)، فوریت‌های پزشکی (آمبولانس اورژانس)، حوادث امنیتی (پلیس انتظامی)، کنترل ترافیک و تصادفات (پلیس راهنمایی و رانندگی). این سیستم امکان همکاری مشترک با نهادهای ملی مانند پلیس فدرال، آتش‌نشانی و شرکت‌های تأمین و توزیع برق و آب را فراهم می‌کند [۱].

• مدلین، کلمبیا

○ تمرکز: یکپارچه‌سازی اقدامات امنیتی و اضطراری

راه‌حل‌های هوشمند اجرا شده در شهر مدلین به سه پروژه اصلی تقسیم می‌شود که سرویس‌ها، سیستم‌ها و فناوری‌های موجود در بخش‌های مختلف ساختار دولت محلی را با یکدیگر ادغام می‌کند. یکی از این پروژه‌ها،^۲ (IESS) است که در سال ۲۰۱۳ ایجاد شده است که با مرکز امنیت شهری در تعامل و هماهنگی کامل است. IESS نمایندگان بیش از ۱۰ ارگان دولتی را که مسئول پاسخگویی به شرایط اضطراری هستند، در یک مرکز عملیاتی واحد جمع کرده است. برخی از این ارگان‌ها عبارت‌اند از پلیس امنیت، حمل‌ونقل، بهداشت و درمان، اداره مدیریت بحران در برابر بلایای طبیعی و سازمان محیط‌زیست و رفاه اجتماعی. این پروژه بر روی تماس‌های برقرار شده با شماره ۱۲۳ متمرکز است که توسط شهروندان برای گزارش حوادث استفاده می‌شود و منجر به فعال شدن بخش مربوطه از جمله پلیس، اورژانس یا آتش‌نشانی می‌شود. تنها با یک تماس، خدمات مختلف می‌توانند به صورت هماهنگ پاسخگو باشند. گزارش‌های ارائه شده از طریق تماس تلفنی با داده‌های ارسالی ۸۲۳ دوربین نظارتی توزیع شده در سطح شهر (۴۰ درصد از آن‌ها در مناطق پرخطر نصب شده است) و داده‌های سیستم‌های ۱۰ ارگان دولتی دیگر تطابق داده می‌شوند. این سیستم یکپارچه برای گزارش‌های رسیده از طرف افراد ناشناس به داده‌های تولید شده توسط مکان‌یاب تلفن‌های همراه متکی است. بر اساس این اطلاعات، استراتژی پاسخ به رویدادهای شناسایی شده مشخص و عوامل مسئول از قبل مشخص شده‌اند تا زمان واکنش را کاهش و کارایی را افزایش دهند [۱].

• نیترووی، برزیل

○ تمرکز: هشدار به نیروهای امنیتی از طریق استفاده از دکمه‌های خطر

اگرچه امنیت عمومی در برزیل بر عهده دولت‌های ایالتی است، اما برخی از شهرها، شهرداری‌ها هم در این امر مشارکت می‌کنند. در ماه مه ۲۰۱۵، نیترووی، شهری در منطقه کلان‌شهری ریو دو ژانیرو، مرکز امنیت عمومی یکپارچه خود را^۳ (IPSC) افتتاح کرد که کلیه نیروهای امنیتی ایالتی، فدرالی و شهرداری را به همراه آتش‌نشانی، حمل‌ونقل و دفاع شهری در کنار هم جمع می‌کند. IPSC داده‌های خود را از ۶۰۰ دوربین نظارتی که ۵۰ مورد از آن‌ها امکان ضبط

^۱ Unified Emergency Coordination and Control (UECC)

^۲ Integrated Emergency and Security System (IESS)

^۳ Integrated Public Security Center (IPSC)

تصویر به صورت ۳۶۰ درجه و دکمه‌های خطر ثابت و متحرک (۸۰ مورد از آن‌ها در مناطق پرتراфик مانند پایانه‌های مسافری، مدارس دولتی، دانشگاه‌ها و شهرک‌های مسکونی دولتی نصب شده‌اند) دریافت می‌کند. دکمه‌های خطر ثابت به تجهیزات ویدئویی متصل هستند. در صورت فعال شدن توسط یک فرد آموزش دیده، سیگنالی را به سیستم ارسال می‌کنند که یک هشدار جغرافیایی (مکانی) را در IPSC صادر می‌کند و محل دقیق حادثه را به همراه تصاویر محل وقوع به نمایش می‌گذارد. دکمه‌های متحرک برنامه‌های نصب شده روی تلفن‌های هوشمند هستند. مأموران پلیس پس از شناسایی یک حادثه، می‌توانند با فشار دادن یک دکمه بر روی تلفن همراه خود درخواست کمک کنند. در عرض چند ثانیه، زنگ هشدار در IPSC فعال شده و شروع به دریافت تصاویر لحظه‌ای ضبط شده توسط دوربین گوشی‌های هوشمند می‌کند و این امر منجر به اعزام پلیس به محل حادثه می‌شود. تصاویر ضبط شده در یک پایگاه داده ذخیره می‌شوند و ممکن است توسط پلیس شهری و فدرال برای تسهیل تحقیقات مورد بازبینی قرار گیرند. استفاده از تلفن‌های هوشمند با نرم‌افزار موقعیت‌یاب از دو طریق به میزان قابل توجهی بهره‌وری را افزایش می‌دهد: از طریق جمع‌آوری اطلاعات پیشگیرانه و حوادث و همچنین به عنوان یک ابزار پشتیبانی تصمیم‌گیری [۱].

• نیویورک، آمریکا

○ تمرکز: پردازش داده‌ها (پردازش سریع تصاویر دوربین‌های نظارتی، تکرار و تناوب تخلقات و سوابق کیفری و جنایی)

شهر نیویورک سابقه طولانی در استفاده استراتژیک از تحلیل داده برای حل مشکلات خشونت و جنایات شهری دارد. نقطه شروع این استراتژی، ایجاد CompStat که یک سرویس تفسیر داده‌های جمع‌آوری شده از سیستم‌های نظارت شهری، تلفن‌های همراه، خودروهای پلیس و غیره است. اطلاعات جمع‌آوری شده مورد تحلیل قرار گرفته و در اختیار مأموران پلیس قرار می‌گیرد. این اطلاعات و تحلیل آن‌ها در هر زمان از طریق تبلت‌های نصب شده در اتومبیل‌ها و تلفن‌های هوشمند مأموران پلیس قابل دسترسی است؛ بنابراین، در حین انجام وظیفه و حوادث، مأمورین به صورت آنلاین به سوابق جنایی مظنونین دسترسی دارند. اگر این مظنونین تحت تعقیب یا متهم به جرم باشند، مأموران پلیس می‌توانند ویژگی‌های آن‌ها را در پایگاه داده دیجیتالی بررسی کنند و با استفاده از اطلاعات دقیق (مانند عکس، سن یا نشانه‌های ظاهری مانند زخم‌ها) اقدام به دستگیری کنند. برای ایجاد شفافیت بیشتر در عملکرد پلیس و به منظور محافظت هم‌زمان از پلیس و شهروندان، دولت نیویورک استراتژی استفاده از دوربین متصل به لباس پلیس را اتخاذ کرده است. امکان ثبت و ضبط ویدیویی، از دید افسر پلیس، از بسیاری جهات - حتی برای کاهش هزینه - کمک‌کننده است. با استفاده از دوربین‌های متصل به لباس پلیس، اداره پلیس میزان جبران خسارت‌های حاصل از طرح دعوا برای رفتار نادرست و ناشایست مأمورین خود را کاهش داده است [۱].

۳-۱-۲ مدیریت ریسک و پیشگیری و پاسخ به حوادث

۲-۱-۳-۱ چالش‌ها

بشر برای رفع نیازهای خود مداخلات خود را در محیط افزایش داده است و باعث عدم تعادل زیادی شده است. شهرها به دلیل استفاده نادرست از خاک و عدم نفوذپذیری خاک، تصرف نامناسب حاشیه مسیرهای رودخانه و نداشتن راه‌حل

مناسب برای مدیریت آب شهری و زیرساخت‌های مناسب با خطر سیل روبرو هستند. همه این‌ها با تغییرات آب‌وهوا و تغییرات محیطی تشدید می‌شود. به‌عنوان مثال افزایش تعداد ساختمان‌ها و سطوح غیرقابل نفوذ، مانع از جذب آب توسط خاک می‌شود، بنابراین دمای شهر افزایش می‌یابد، جزایر گرما تشکیل می‌شوند که نه تنها موجب طوفان‌های بیشتر می‌شود بلکه تلفات انسانی و مادی نیز افزایش می‌یابد و سلامت جمعیت نیز در خطر خواهد بود.

۲-۱-۳-۲ راه‌حل‌ها

بلایای زیست‌محیطی در سال‌های اخیر در دنیا بیشتر شده است. به همین دلیل، برخی از شهرها برای شناسایی وقوع سیل، لرزه، رانش زمین، طوفان و گردباد، زلزله، خشک‌سالی، آتش‌سوزی جنگل و غیره اقدام به سرمایه‌گذاری در اجرای سیستم‌های خاص کرده‌اند. هدف این است که مردم را قبل از موقعیت اضطراری احتمالی مطلع سازند و از طریق اقدامات و واکنش مناسب، خطر بلایای طبیعی را کاهش دهند.

۲-۱-۳-۳ نمونه‌ها

• توکیو، ژاپن

○ تمرکز: اقدامات هماهنگ در شرایط اضطراری

در ژاپن مردم از دوران مدرسه یاد می‌گیرند که در زمان زلزله چه واکنشی باید داشته باشند. علاوه بر آن، نقشه اقدامات توسط یکی از پیچیده‌ترین سیستم‌های دفاع مدنی در دنیا هماهنگ می‌شود که در آن‌ها از تکنولوژی‌هایی برای پیشگیری یا به حداقل رساندن تأثیر بلایا استفاده می‌شود. توکیو به‌عنوان الگویی نمونه از این استراتژی پیشگیری می‌باشد. دفاع مدنی به‌صورت دائمی فعالیت می‌کند، چون آمادگی برای زلزله، سیل، طوفان و گردباد جزئی از فرهنگ مردم این ناحیه می‌باشد. علاوه بر یک سیستم خبره با ۴۰۰۰ نقطه کنترلی مجهز به لرزه‌نگار برای پیش‌بینی زلزله و اعلام سریع به مردم، یک سازمان خاص مسئول مدیریت بلایای طبیعی است که اساس آن هماهنگی اقدامات سیستم‌های ارتباطی، کنترل ترافیک، کنترل انرژی هوشمند، شبکه‌های گاز و آب، پناهگاه‌های دارای ذخیره غذایی است. یکی از مهم‌ترین ارکان سیستم ارتباط میان سازمان‌ها و شهروندان به‌منظور راهنمایی است. به همین دلیل است که بلندترین برج پخش دیجیتالی دنیا با فناوری بالا برای عملکرد بی‌وقفه، به نام Skytree در توکیو ساخته شده است. علاوه بر آن این برج برای ارسال سیگنال دیجیتالی تلویزیون^۱ (DTB) به تمام شهر ساخته شده است. Skytree با ارتفاع ۶۳۴ متر از بلندترین ساختمان توکیو نیز مرتفع‌تر است، می‌تواند سیگنال‌های DTB را دو برابر کرده و آن‌ها را به درگاه‌های موبایل نیز ارسال کند. در بالای برج، دوربین‌های مانیتورینگ با دقت بالا وجود دارد که می‌تواند آتش را از فاصله ۱۸ کیلومتری تشخیص داده و سازمان‌های مرتبط را مطلع سازد [۴].

• ریودوژانیرو، برزیل

○ تمرکز: سیستم مدیریت ریسک یکپارچه

^۱ Digital Terrestrial Broadcaasting(DTB)

بلایای طبیعی و غیرطبیعی، تأثیر منفی بر تعداد جمعیت شهر ریودوژانیرو گذاشته است، به طوری که هزاران نفر آواره و صدها نفر کشته شده‌اند. این شهر ممکن است در طول ۶۵ سال آینده به طور متوسط ۳/۴ درجه سانتی‌گراد افزایش دما را تجربه کند و در سال ۲۰۸۰ سطح دریاهای آن می‌تواند بین ۳۷ تا ۸۲ سانتی‌متر افزایش یابد. آماده‌سازی شهر برای مقابله با این چالش‌ها کار ساده‌ای نیست و برخی از اقدامات قبلاً عملی و اجرایی شده است. این شهر بر پنج اولویت مندرج در پروتکل کیوتو متمرکز شده است (کاهش عمق فاجعه را در اولویت قرار دهید؛ خطر را شناسایی و اقدام کنید؛ فهم و آگاهی افراد را افزایش دهید، ریسک‌ها را کاهش دهید؛ و مهیا و آماده عمل باشید) و اقداماتی را در راستای ترویج و سازگاری با این الزامات انجام داده که از آن جمله می‌توان به سرمایه‌گذاری در رادار هواشناسی و شبکه سنجش میزان باران نصب شده در دکل‌های تلفن همراه اشاره کرد که به پدافند غیرعامل کمک می‌کند تا اقدامات کنترلی در برابر باران‌های تند و سیل‌آسا انجام دهد. پدافند غیرعامل یکی از ارگان‌های ادغام شده در مرکز عملیات ریودوژانیرو است که دارای سیستم پیشگیری از رانش زمین بوده و از طریق داده‌های جمع‌آوری شده توسط حسگرهای نصب شده در مناطق شیب‌دار خطرناک نقشه‌برداری شده توسط بخش جغرافیایی این شهر تغذیه می‌شود. مرکز عملیات ریودوژانیرو قادر است هشدارهایی با دقت و احتمال بسیار بالا در مورد طوفان‌ها، سیل‌ها و رانش‌های زمین را صادر کند. همچنین این مرکز با اتکا بر سیستم دوربین‌های نظارتی، می‌تواند عملکرد نهادهای ذیربط را در موارد سیل و انسداد خیابان‌های عمومی هماهنگ کند. یکی از خصوصیات اصلی این سیستم پاسخگویی اضطراری یکپارچه، تعامل با جامعه است. دولت از طریق پیام کوتاه، وب یا شبکه‌های اجتماعی (به‌ویژه توییتر) در مواقع بحران به عموم مردم اطلاع‌رسانی می‌کند. علاوه بر این، یک سیستم آژیر خطر در شهرک‌های مسکونی مناطق پرخطر نصب شده است [۱].

۲-۱-۴ افزایش بهره‌وری انرژی

منابعی مانند آب و انرژی به‌مرور کمیاب‌تر می‌شوند و لازم است منطقی و هوشمندانه استفاده شوند. این امر نه تنها موجب بهره‌وری مؤثر در مقدار مصرف می‌شود، بلکه موجب حفظ منابع آب و استفاده از منابع تجدیدپذیر می‌شود. بر اساس مطالعات سازمان ملل تخمین می‌زند که در سال ۲۰۳۰ به دلیل افزایش جمعیت در مناطق شهری و افزایش تقاضای طبقه متوسط، ۵۰ درصد انرژی و ۴۰ درصد آب بیشتر مورد نیاز خواهد بود. خوشبختانه فناوری‌های نوین اطلاعات و ارتباطات برای بهینه‌سازی مدیریت عرضه و تقاضا در شهرها در اختیار دولت‌ها است [۵].

۲-۱-۴-۱ چالش‌ها

کاهش مصرف برای صرفه‌جویی در منابع طبیعی و مالی هدف اصلی در بخش انرژی می‌باشد که سرمایه‌گذاری در منابع تجدیدپذیر یکی از گزینه‌های مناسب می‌باشد. در سطح شهرداری، این وظیفه شامل تعهد به پایداری شهری از طریق ارتقاء اقدامات ساختاری و هماهنگی با ارائه‌دهندگان خدمات است.

۲-۱-۴-۲ راه‌حل‌ها

از جمله راه‌حل‌های موجود برای شهرداران تعویض سیستم‌های روشنایی خیابان و ساختمان‌های عمومی با لامپ‌های کم‌مصرف LED و استفاده از سنسورهای فوتوالکتریک و حرکت برای روشن و خاموش کردن خودکار چراغ‌ها و تنظیم شدت آن‌ها با توجه به نیاز محیط است. علاوه بر این، استفاده از شبکه‌های هوشمند باید به گونه‌ای تنظیم شود تا بتواند استفاده بهینه از برق را در معابر عمومی، خانه‌ها، بیمارستان‌ها، ساختمان‌های عمومی و صنایع نیز ارتقا بخشد.

- تیستد، دانمارک

○ تمرکز: ۱۰۰ درصد پایدار با استفاده از منابع انرژی تجدید پذیر

شهر تیستد با ۱۳۰۰۰ نفر جمعیت، برنده جایزه انرژی تجدید پذیر برای استفاده موفق از منابع انرژی تجدید پذیر شد. همچنین به خاطر توربین‌های بادی بزرگ به‌عنوان دفتر اصلی مرکز تست ملی تعیین شده است. پروژه تبدیل تیستد به یک شهر بدون کربن پیشگام در دنیا با مشارکت شهروندان، نهادهای مردمی و شرکت‌های محلی حاصل شده است و زمانی آغاز شد که کشاورزان شروع به سرمایه‌گذاری بر روی توربین‌های بادی و زیست‌گاز در مزارع خود کردند. جایگزینی منبع تولید انرژی شهر در دهه ۱۹۸۰ با سرمایه‌گذاری بر روی انرژی باد و خورشید و نیروگاه‌های زمین‌گرمایی آغاز شد. امروزه این شهر حدود ۲۷۴ million kWh برق را از منابع تجدید پذیر تولید می‌کند که برای بیش از ۱۰۰٪ نیازهای مصرفی شهر است. این به معنی آن است که ۹۰.۰۰۰ تن CO₂ کمتر وارد هوا می‌شود. با ابتکارات جدید تأمین انرژی، دولت محلی انتظار دارد که هم از محیط‌زیست مراقبت شود و هم از توسعه پایدار انرژی شغل ایجاد کند [۱].

- بدفورد، انگلستان

○ تمرکز: ترکیب چراغ روشنایی هوشمند، انرژی تجدید پذیر، wifi و شارژر الکتریکی

پروژه Totem Power در شهر بدفورد تلاش کرده است با اضافه کردن پنل خورشیدی، سیستم ذخیره انرژی و شارژر خودروی برقی به تیرهای چراغ برق ضمن برطرف کردن مشکل روشنایی معابر مشکل نزدیکی مراکز شارژ خودروهای برقی را نیز برطرف کند. اولین مدل ساخته شده از این چراغ‌های روشنایی شامل یک پنل خورشیدی ۵ کیلووات به همراه باتری ۴۴ کیلووات ساعت می‌باشد که علاوه بر تأمین روشنایی هوشمند معابر قابلیت شارژ خودروهای برقی را نیز دارد. از دیگر تجهیزات نصب شده بر روی این چراغ‌ها می‌توان به مودم‌های ارتباطی wifi و 4G اشاره کرد که یکی از نیازهای اساسی شهرهای هوشمند را برآورده می‌کنند. این چراغ‌ها به دلیل اندازه کوچک قابلیت نصب در پارکینگ‌ها و پیاده‌روها را دارد [۶]. نمونه‌ای از چراغ روشنایی پروژه Totem Power در شکل ۲-۱ آورده شده است.



شکل ۱-۲: نمایی از چراغ‌های روشنایی هوشمند Totem Power [۶]

یکی از مزایای مهم پروژه Totem Power قابلیت رویارویی با شرایط بحرانی می‌باشد. به این ترتیب که این تجهیز به دلیل دارا بودن ذخیره‌ساز انرژی می‌تواند در مواقع اضطراری که شبکه سراسری دچار مشکل می‌شود برق مورد نیاز برخی تجهیزات را نیز تأمین کند. یکی دیگر از مزایای این طرح برقراری خدمات اینترنت در سطح معابر می‌باشد زیرا در آینده‌ای نه چندان دور استفاده از اینترنت اشیا بیش از پیش خواهد شد و نیاز به برقراری ارتباط اینترنت در سطح شهر بیشتر خواهد شد و این چراغ‌های هوشمند به عنوان آنتن‌های مخابراتی عمل می‌کنند.

• سن دیگو، آمریکا

○ تمرکز: سیستم روشنایی هوشمند خیابان

پروژه سن دیگو نمونه خوبی از چگونگی مشارکت بخش‌های دولتی و خصوصی در ایجاد نوآوری و تسریع در بازگشت سرمایه سرمایه‌گذاران است. در سال ۲۰۱۶، سن دیگو به اولین شهر آمریکایی تبدیل شد که از لامپ‌های LED هوشمند در روشنایی خیابان استفاده کرد. با مجهز شدن به حسگرهای فوتوالکتریک، فرستنده‌های بی‌سیم و ریزپردازنده‌ها، تیرهای چراغ‌برق، شبکه‌ای را شکل می‌دهند که علاوه بر پیروی از دستورات راه دور برای کنترل روشنایی تطبیقی و کاهش هزینه، می‌توانند به صورت لحظه‌ای اطلاعات مربوط به مصرف انرژی در هر منطقه از شهر را گزارش دهند. مزیت دیگر این است که همان سیستمی که روشنایی در جاده‌ها را کنترل می‌کند، می‌تواند در صورت وقوع طوفان، از طریق حسگرهایی که قادر به تشخیص شدت باد هستند و کنترل سایر عوامل محیطی مانند روند حرکتی مردم و وسایل نقلیه، طوفان را تشخیص داده و هشدارهایی را صادر کند [۱].

۲-۱-۵ مدیریت هوشمند آب

۲-۱-۵-۱ چالش‌ها

تأمین آب جهانی یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های فنی و انسانی این قرن است. بر اساس یک مطالعه منتشرشده در مجموعه مقالات آکادمی ملی علوم ایالات متحده آمریکا، بیش از ۱ میلیارد نفر از افرادی که در شهرها زندگی می‌کنند، احتمالاً با کمتر از ۱۰۰ لیتر آب در روز زندگی می‌کنند - حد سازمان ملل برای یک زندگی سالم - و بیش از ۳ میلیارد نفر یک ماه در سال آب نخواهند داشت [۷].

۲-۱-۵-۲ راه‌حل‌ها

اقدامات احتمالی شامل سرمایه‌گذاری در فناوری‌های استفاده مجدد از آب است که به ایجاد سیاست‌های تشویقی برای استفاده مسئولانه از آب کمک می‌کند. مشکل مهم دیگر ضایعات ناشی از نشت در خطوط لوله، شبکه‌ها، انشعابات، اتصالات، مخازن و سایر واحدهای عامل در سیستم‌های تأمین است. این نشت‌ها به‌طور عمده در لوله‌های شبکه توزیع رخ می‌دهد. یک راه حل، مدیریت نشت و تلفات با استفاده از سنسورهای جریان، فشار لوله و غیره است.

۲-۱-۵-۳ نمونه‌ها

• سنگاپور

○ تمرکز: استفاده مجدد و شیرین کردن آب

همواره نوشیدن آب برای بیش از ۵ میلیون نفر از مردم جزیره سنگاپور یک مشکل بوده است. نیاز به منبعی از آب شرب برای این جمعیت اتخاذ استراتژی‌های مختلف برای شیرین کردن آب دریا و بازیافت آب فاضلاب را توجیه می‌کند. حدود ۱۰ درصد از آب مصرفی روزانه سنگاپور از آب دریا و ۳۰ درصد آن از پروژه NEWater تأمین می‌شود [۸]. اولین کارخانه آب شیرین‌کن در سال ۲۰۰۵ ساخته شد. اکنون این شهر برای هر نوع آب فاضلاب قوانین خاصی دارد. تبدیل آب توالت‌ها و فاضلاب‌ها مراحل متعددی دارد. ابتدا آب وارد دستگاه‌های مخصوص می‌شود. سپس، توسط میکرو فیلترینگ، اسمز معکوس و امواج فرابنفش پالایش می‌شود. پنج عدد از این کارخانه‌ها در اطراف شهر وجود دارد. برای جلوگیری از اتلاف آب، استفاده از سنسورهای الکترونیکی موجب کاهش نشتی در شبکه توزیع آب شده است. سنسورهای فشار و کیفیت اطراف لوله‌ها وجود دارد که هر میلی ثانیه داده جمع‌آوری می‌کند که چندین برابر سریع‌تر از داده‌های به‌دست‌آمده از سیستم‌های سنتی می‌باشد. وقتی در یک لوله نشتی باشد، یک آلام از طریق WiFi به سرور مرکزی ارسال می‌شود که منبع آن توسط داده‌های جغرافیایی سنسورها شناسایی می‌شود. همچنین مانیتورینگ شبکه موجب می‌شود تا مصرف‌کنندگان از سالم و مناسب بودن آبی که به دستشان می‌رسد اطمینان داشته باشند.

• ناسائو، باهاما

○ تمرکز: تشخیص و مدیریت هدر رفت آب

در ناسائو، شرکت آب و فاضلاب¹ (WSC)، آب آشامیدنی ۲۵۰ هزار نفر را تأمین می‌کند. در طول سه دهه گذشته، این کشور به دنبال راه‌حلی برای کاهش هدر رفت آب بوده است. در سال ۲۰۱۲، حجم آب هدررفته (مقداری که از تفاضل بین آب خالص تولیدی و آب مصرفی محاسبه می‌شود) ناشی از نشت در زیرساخت‌ها، آب دزدی و خطا در اندازه‌گیری، به ۵۸ درصد رسید. از آن زمان، دولت تصمیم گرفت تا با تمرکز بر طیف گسترده‌ای از فناوری‌های نوظهور برای تعمیر و تعویض لوله، کنترل نشتی به صورت فعال، کنترل و مدیریت فشار، مدیریت اندازه‌گیری پیشرفته و مقابله با کلاهبرداری و دزدی، در یک برنامه مهار تلفات فیزیکی سرمایه‌گذاری کند. با کنترل نرم‌افزاری، سیستم نظارت و کنترل طراحی شده، حجم آب هدررفته را در سال ۲۰۱۶ به ۲۹ درصد کاهش داد. با کاهش نشتی‌ها، هزینه‌های نیروی کار هم کاهش پیدا کرده است. برای ارائه خدمات بهتر به مردم، این نرم‌افزار امکان مدیریت بهتر سفارش خدمات را فراهم می‌آورد. پیش‌بینی می‌شود تلفات آب بیش از ۱۰ میلیارد گالن در چرخه عمر پروژه کاهش یابد و این به معنای صرفه‌جویی هفت میلیون لیتر سوخت دیزل و ۳۳ گیگاوات ساعت برق است.

• لاس‌وگاس، آمریکا

○ تمرکز: شبکه هوشمند آب² (SWAN)

لاس‌وگاس با دو میلیون نفر جمعیت در منطقه بیابانی واقع شده است و سالانه ۳۵ میلیون بازدیدکننده و گردشگر را به خود جذب می‌کند. این شهر که در یکی از گرم‌ترین و خشک‌ترین مناطق جهان قرار دارد و در سال‌های اخیر به دلیل تغییر اقلیم که منجر به خشک‌سالی طولانی مدت شده، دچار کمبود آب شده است. بر اساس تحلیل‌های اولیه، آب‌رسانی به شهر یک کار غیرممکن به نظر می‌رسید، به خصوص با توجه به قوانین فدرال که باعث محدود شدن میزان برداشت آب سالانه این شهر از دریاچه مید (یک مخزن مصنوعی با ظرفیت ۱۵ تریلیون متر مکعب آب که در حال حاضر ۹۰ درصد از نیازهای مصرفی در کلان‌شهرها را تأمین می‌کند) و رودخانه کلرادو می‌شود. راه‌حل ارائه شده، ترکیب مقررات سخت‌گیرانه با فناوری مختلف برای کاهش تلفات بود. به عنوان مثال، در سال ۲۰۱۶ برخی از مناطق در جنوب نوادا، یک فناوری مبتنی بر حسگرها را مورد آزمایش قرار دادند که رطوبت خاک را تشخیص می‌دهد و سیستم آبیاری را فقط در مواقعی که خاک به آب نیاز داشت فعال می‌کند. منطقه آب دره لاس‌وگاس³ (LVVWD) بسیار متعهد به استفاده کارآمد از آب است و هدف آن کاهش سرانه مصرفی به ۱۹۹ لیتر در سال ۲۰۳۵ است که این حد توسط Southern Nevada Water Authority تعیین شده است. در پایان سال ۲۰۱۶، در نتیجه اقدامات اتخاذ شده، مصرف به ۲۰۵ لیتر در هر روز به ازای هر نفر کاهش یافته است. البته هنوز کارهای زیادی باید انجام شود؛ بنابراین، LVVWD به دنبال راهکارهای جدید، از جمله استفاده از شبکه‌های آب هوشمند است. مسئولان این ناحیه در تلاش هستند بهترین روش‌ها را برای کاربردهای دیجیتالی فراهم کنند تا عناصر فیزیکی سیستم مانند لوله‌ها، پمپ‌ها، شیرآلات و مخازن را مدیریت و اداره کنند. این سیستم، محاسبات نشتی را بر اساس تحلیل داده‌های لحظه‌ای و قبلی جمع‌آوری شده برای هر دو شبکه ورودی و توزیع انجام می‌دهد. این سیستم نرم‌افزاری قادر است با کنترل فعال نشتی و تبادل داده‌ها با سیستم‌های مدیریت نگهداری، اصلی‌ترین زیرساخت از نظر نشت/تخلف را شناسایی کند، بنابراین معضل تعمیر یا تعویض را برای مدیران حل می‌کند و در صف‌بندی کارهای شبکه‌های توزیع اولویت‌بندی ایجاد می‌کند [۱].

¹ Water and Sewerage Corporation(WSC)

² Smart Water Network(SWAN)

³ Las Vegas Valley Water District(LVVWD)

۲-۱-۲ دفع و مدیریت هوشمند زباله‌ها و پسماندها

۲-۱-۶-۱ چالش‌ها

مدیریت صحیح زباله‌های شهری چالشی مهم برای مسئولان دولتی است که تأثیر مستقیم بر سلامتی، محیط‌زیست و کیفیت زندگی افراد دارد. شهرها از انتشار دهنده‌های قوی متان (CH_4) هستند که ۲۱ برابر بیشتر از CO_2 پتانسیل گرمایش جهانی را دارند. طبق یک مطالعه سازمان ملل متحد، زباله فعلی تولیدشده در جهان حدود ۱.۳ میلیارد تن در سال است و برای سال ۲۰۲۵ حدود ۲.۲ میلیارد تن در سال تخمین زده می‌شود. هزینه‌های مالی و زیست‌محیطی برای مدیریت چنین مقدار قابل توجهی زباله بسیار زیاد است. تخمین زده می‌شود تا سال ۲۰۲۵، ۵۰ درصد بودجه‌های شهرداری صرف جمع‌آوری و دفع زباله شهری شود [۱].

۲-۱-۶-۲ راه‌حل‌ها

در حال حاضر زباله‌های جامد به روشی ناهماهنگ مدیریت می‌شوند. فناوری کمک می‌کند تا یک دید سیستماتیک از فرآیند به دست آید. از جمله متداول‌ترین راه‌حل‌ها عبارت‌اند از: مخازن زیرزمینی با سنسورهای پرشدن سطح که هنگام رسیدن به حداکثر حد مجاز هشدار می‌دهند تا زباله‌ها را جابه‌جا کنند؛ بازیافت؛ جایگزینی انبارهای زباله با محل‌های دفن زباله و دستگاه‌های زباله‌سوزی؛ تصفیه کود (مایع ناشی از تجزیه زباله‌های آلی)؛ و تبدیل زباله‌های مرطوب و متان به انرژی (گاز).

۲-۱-۶-۳ نمونه‌ها

- سانتاندر، اسپانیا

○ تمرکز: جمع‌آوری اتوماتیک زباله

در سانتاندر یکی از خودکارترین خدمات، جمع‌آوری زباله‌های شهری است. سطل زباله‌های عمومی وقتی پر می‌شوند اطلاع می‌دهند، بنابراین از جمع‌آوری غیرضروری زباله جلوگیری می‌کنند. این پروژه شامل پیاده‌سازی یک راه حل تکنولوژی کامل است که شامل، سنسورهایی است که میزان حجم، رطوبت، بو را در سطل‌های زباله اندازه‌گیری می‌کند.

همچنین، این ابتکار فنی شامل مشارکت فعال شهروندانی است که از طریق یک برنامه تلفن همراه می‌توانند مناطقی که نیاز به توجه و نظافت دارند را نیز شناسایی و هشدارهایی را برای مدیریت ارسال کنند. از مزایای این مدل می‌توان به کاهش انتشار CO_2 به دلیل کاهش مصرف سوخت خودروهای جمع‌آوری زباله اشاره کرد.

- ایتو، ساوئوپاولو، برزیل

○ تمرکز: سیستم جمع‌آوری زباله انتخابی (هوشمند)

شهر ایتو برای پیاده‌سازی یک سیستم جمع‌آوری زباله انتخابی با استفاده از ۳ هزار و ۳۰۰ سطل زباله توزیع شده در سطح شهر، یک قرارداد همکاری مشترک دولتی و خصوصی امضا کرده است که تا سال ۲۰۴۱ معتبر است. مردم

زباله‌های خود را که به‌طور صحیح در دو دسته بازیافتی‌ها و غیرقابل بازیافتی‌ها جدا می‌کنند و به‌جای اینکه زباله‌ها از جلوی درب خانه‌ها جمع‌آوری شوند از سطل‌های زباله تعبیه‌شده در سطح شهر جمع‌آوری می‌شوند. این استراتژی نیازمند برنامه‌های آموزشی سازمان‌های محیط‌زیست جهت افزایش آگاهی مردم است تا یاد بگیرند چگونه به‌طور صحیح آنچه را که بازیافت می‌شود جدا کنند. ایتو ۱۰ تن زباله قابل بازیافت در روز جمع‌آوری می‌کند. هدف دولت محلی تبدیل ۷۰ درصد از ۳۶۰۰ تن در ماه پسماندهای مرطوب به برق یا گازها است. موقعیت مکانی ظروف زباله‌های ارگانیک (آلی)، قابل بازیافت یا زیرزمینی (با سنسورهای میزان زباله) بر اساس مطالعاتی که وجود مشاغل تولیدکننده زباله در مناطق مختلف را در نظر می‌گیرد، شناسایی می‌شوند. هر یک از مکان‌های مورد نظر به یک سیستم نظارت متصل است که می‌تواند نیاز به تعمیر یا تعویض را از طریق نرم‌افزاری که برای این منظور تهیه‌شده است، مشخص کند. مسیریابی جمع‌آوری زباله‌ها با توجه به میزان محتوای هر ظرف، باعث کاهش مسیر طی شده توسط ماشین جمع‌آوری زباله شده و در نتیجه زمان جمع‌آوری و هزینه سوخت کاهش می‌یابد. علاوه بر این، به دلیل جمع‌آوری مکانیزه، تعداد حوادث کاری نیز کاهش می‌یابد و مسائل بهداشتی بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد. این سیستم مانع از ماندن زباله در خیابان‌ها در معرض باران و حیوانات شده و همچنین از گسترش، گرفتگی دریاچه‌های تخلیه آب و آبراه‌ها جلوگیری می‌کند [۱].

۲-۱-۲ آموزش و مدارس هوشمند

۲-۱-۷-۱ چالش‌ها

یکی از مسائل مهم در هر شهر، تغییر محتوای آموزشی برای بهبود عملکرد دانش آموزان و کاهش میزان ترک تحصیل است. در بسیاری از راهکارهای ارائه‌شده، مجهز کردن مدارس به کامپیوتر و ارائه کامپیوتر به دانش آموزان به‌عنوان راه‌حل بیان شده است. بر اساس گزارش جهانی فناوری اطلاعات مجمع جهانی اقتصاد (WEF)^۱، نتایج در کشورهای در حال توسعه بهتر از کشورهای توسعه‌یافته است؛ اما حتی در این موارد، طبق ارزیابی WEF، فناوری فقط در صورتی مؤثر خواهد بود که با یک استراتژی برای تولید محتوای آنلاین، ارتباط و همکاری میان شرکت‌کنندگان و جابه‌جایی تمرکز از روی دانش آموزان به آموزش معلمان همراه باشد [۹].

۲-۱-۷-۲ راه‌حل‌ها

آموزش و پرورش می‌تواند از بسیاری جهات در پروژه شهر هوشمند سود ببرد، اما همه آن‌ها به‌عنوان یک شرط اساسی نیازمند تضمین اتصال پهن باند در مدارس هستند. پس از رسیدن به این شرایط، می‌توان راه‌حل‌های مختلفی را شناسایی کرد از قبیل دوربین‌های امنیتی محیط متصل به سیستم امنیت عمومی، سنسورها و آلام‌های در و پنجره، سیستم خاموش کردن خودکار چراغ‌ها و تجهیزات برقی و سنسورهای دود و گاز سمی. در زمینه حمل‌ونقل مدرسه، ردیابی GPS دنبال کردن مسیرهای اتوبوس را امکان‌پذیر می‌سازد و این باعث کاهش زمان دانش آموزان در ترافیک می‌شود. در مدیریت مدرسه، استفاده از بانک‌های اطلاعاتی و سوابق مدرسه، ثبت‌نام آنلاین و انتخاب مکان، دسترسی والدین از طریق اینترنت یا از طریق یک برنامه تلفن همراه به نمرات دانش آموزان و گزارش عملکرد، ارتباط بین مدرسه و خانواده را تسهیل می‌کند. علاوه بر این، پلتفرم‌های مشارکتی برای دسترسی دانش آموزان به محتوا و مطالب درسی،

¹ World Economic Forum (WEF)

ابزارهای مهمی هستند. برای کیفیت آموزش معلمان، استفاده از پلتفرم‌های مشارکتی برای تبادل دانش میان مدارس و دوره‌های آنلاین، مفید می‌باشد.

۳-۷-۱-۲ نمونه‌ها

• تاکوما، آمریکا

○ تمرکز: افزایش میزان قبولی دانش آموزان با تجزیه و تحلیل داده‌ها توسط معلمان

میزان قبولی در بین دانش آموزان دبیرستان‌های دولتی در بندر تاکوما، ایالت واشنگتن، در سال ۲۰۱۰، ۵۵ درصد بوده است که بسیار پایین‌تر از میانگین کشوری (۸۱ درصد) است. مدیریت مدارس دولتی در تاکوما برای ایجاد یک پایگاه داده بزرگ ابری، در یک پروژه مشارکتی دولتی-خصوصی سرمایه‌گذاری کرده که تمام اطلاعات موجود در مورد سوابق تحصیلی هر دانش آموز را جمع‌آوری و ثبت می‌کند. این پایگاه داده نمرات دانش آموزان، میزان حضور آن‌ها در کلاس، اطلاعات مربوط به سلامتی و سایر داده‌های مربوط به زندگی دانش آموزان را شامل می‌شود. این داده‌ها توسط معلمان برای تطبیق با اطلاعات مربوط به میانگین عملکرد قبلی دانش آموزان در دروس مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. معلمان با استفاده از داده‌ها، می‌توانند الگوهای رفتاری و یادگیری دانش آموزان را شناسایی کنند و به آن‌ها در رفع مشکلات کمک کنند. به معلمان در مورد ابزارهای تحلیلی مبتنی بر صفحات الکترونیکی آموزش داده می‌شود تا بتوانند زمانی که دانش آموزان با مشکلات یادگیری مواجه می‌شوند و قبل از تشدید و غیرقابل کنترل شدن مشکل، داده‌ها مرتبط را ردیابی و به موقع برای حل آن ورود کنند. نتیجه این سیستم باعث شد که در پایان سال ۲۰۱۴، میزان قبولی در مدارس تاکوما به طرز چشمگیری افزایش یافت و به ۷۸ درصد رسید [۱۰].

• مونترال، کانادا

○ تمرکز: حذف پرونده‌های کاغذی مدارس و صرفه‌جویی در وقت معلمان با استفاده از برنامه‌های

کاربردی تلفن همراه

هیئت‌مدیره مدرسه مونترال، یک‌نهاد دولتی که مسئول آموزش زبان انگلیسی در مونترال (کانادا) است، از حجم زیاد پرونده‌های کاغذی دانش آموزان ناراضی بود. استفاده از کاغذ نه تنها مانع دسترسی به اطلاعات، بلکه مانع تطابق و تجزیه و تحلیل داده‌ها نیز می‌شود. در یک پروژه مشارکتی دولتی-خصوصی، هیئت‌مدیره به کمک یک استارت‌آپ اطلاعات را به قالب دیجیتال منتقل کرد و برنامه کاربردی Hall Monitor را برای تلفن‌های همراه ایجاد کرد، این برنامه به معلمان و مدیران مدارس امکان نظارت بر دانش آموزان و ضبط داده‌های هر یک از آن‌ها را با استفاده از تلفن همراه و بدون محدودیت زمانی و مکانی فراهم می‌کند. طبق گفته مدارس، نتیجه اصلی به دست آمده، صرفه‌جویی در وقت است. معلمان برای جستجوی داده‌ها یا پر کردن فرم‌های جدید، در هفته پنج ساعت برای بررسی و مشاهده داده‌های آرشیوی زمان صرف می‌کردند. با استفاده از این برنامه، این زمان می‌تواند برای کار با دانش‌جویان صرف شود. با موفقیت این برنامه، مدارس و شرکای فناوری آن، برنامه جدیدی را برای بهبود جمع‌آوری اطلاعات دانش آموزان با نیازهای ویژه ایجاد و این داده‌ها را متمرکز کرده‌اند. برنامه جدید هم باعث شد که معلمان با کیفیت و زمان بیشتری در کنار دانش آموزان خود قرار بگیرند.

۲-۱-۸ سلامت هوشمند

۲-۱-۸-۱ چالش‌ها

شهرهای سراسر جهان صرف‌نظر از اندازه و مرحله توسعه آن‌ها با چالش‌های بهداشتی یکسانی روبرو هستند. توسعه کیفیت خدمات سلامت برای بیشترین تعداد شهروندان، چه در مراکز شهری و چه در مناطق دورافتاده، کاهش هزینه‌ها از طریق برنامه‌های پیشگیری که باعث بهبود کیفیت زندگی جمعیت می‌شود و مدیریت سناریوی طول عمر که در آن بخش فزاینده‌ای از جمعیت به سنین بالاتر برسد. سؤال این است که چگونه می‌توان با تقاضای رو به رشد علی‌رغم بودجه‌های محدود این کار را به گونه‌ای انجام داد که دسترسی به خدمات تخصصی حتی در مکان‌های دورافتاده نیز تضمین شود.

۲-۱-۸-۲ راه‌حل‌ها

فرصت‌ها در حوزه بهداشت کاملاً به تأمین اتصال پهن باند نه‌تنها در بیمارستان‌ها، کلینیک‌ها و مراکز بهداشتی بلکه در خانه‌ها بستگی دارد. اتصال پهن باند (ثابت و متحرک) همراه با پلتفرم‌های ارتباطی یکپارچه و ویدئو کنفرانس چشم‌اندازهای جدیدی را برای ارائه خدمات درمانی مبتنی بر کامپیوتر در منزل، تمرین پزشکی از راه دور در کلینیک‌های دور دست، پشتیبانی از راه دور برای تشخیص و آموزش آنلاین برای متخصصین در مناطق دورافتاده ایجاد می‌کند. در حوزه مانیتورینگ بیمار، سوابق پزشکی الکترونیکی، برنامه‌های موبایل برای نظارت بر فعالیت‌های بدنی، دستگاه‌های پوشیدنی با سنسور برای نظارت بر علائم حیاتی در افراد مسن و معلول، GPS برای تسهیل ردیابی و حرکت آمبولانس‌ها و دکمه‌های اضطراری متصل به مراکز تماس، برخی از فرصت‌های درمانی بی‌شماری هستند که برای شهرها وجود دارند.

۲-۱-۸-۳ نمونه‌ها

• استونی

○ تمرکز: سوابق پزشکی الکترونیکی داده‌های سلامت جمعیت را جمع‌آوری می‌کند

استونی، کشوری کوچک در دریای بالتیک، در نزدیکی خلیج فنلاند و روسیه، احتمالاً یکی از بهترین نمونه‌های یک جامعه دیجیتال است. با ۱.۳ میلیون نفر جمعیت، این کشور توانسته است اطمینان حاصل کند که نزدیک به ۱۰۰ درصد از جمعیت دارای هویت دیجیتالی هستند که در یک کارت شناسایی تعبیه شده است و شهروندان از آن برای تعامل با تقریباً کلیه خدمات عمومی کشور استفاده می‌کنند. یکی از مؤلفه‌های ساختار دولت الکترونیکی استونی سیستم بهداشتی است، که سوابق الکترونیکی پزشکی اساس آن است، سیستمی که تمام داده‌های ارائه‌دهنده‌های خدمات مختلف بهداشتی در سراسر کشور را دریافت و ادغام کرده و آن‌ها را به یک پرونده پزشکی الکترونیکی تبدیل می‌کند. بیمار، پزشکان، بیمارستان‌ها، درمانگاه‌ها و حتی داروخانه‌ها می‌توانند برای نظارت بر سلامت هر شهروند به آن دسترسی داشته باشند. با چک کردن آن، پزشکان می‌توانند به نتایج آزمایش خون بیمار دسترسی پیدا کنند یا تصاویر اشعه ایکس را مستقیماً از مطب خود مشاهده کنند. در مواقع اضطراری، کارت شناسایی بیمار اطلاعات مهمی از قبیل گروه خونی، آلرژی‌ها، درمان‌های اخیر، داروها و حتی داده‌های مراقبت‌های دوران بارداری را برای زنان باردار

ارائه می‌دهد. داده‌های عمومی سیستم همچنین توسط وزارت بهداشت برای تولید آمار، شناسایی الگوها، پیگیری بیماری همه‌گیر و ارزیابی میزان استفاده صحیح از بودجه بهداشت استفاده می‌شود. از کارت شناسایی نیز می‌توان برای دریافت دارو با استفاده از سیستم نسخه الکترونیکی در داروخانه‌ها استفاده کرد [۱۱].

- سانفرانسیسکو، آمریکا

- تمرکز: داده‌های باز و تحلیل برای جلوگیری از مرگ بر اثر موج گرما

از آنجاکه تغییرات آب و هوایی منجر به افزایش موج‌های شدید گرما می‌شود، شهرها به‌طور فزاینده‌ای با خطر بیماری‌های مرتبط با تغییرات اقلیمی روبرو هستند که در صورت عدم درمان، می‌تواند باعث مرگ زودرس کودکان و افراد مسن شود. وزارت بهداشت عمومی سانفرانسیسکو^۱ (SFPD) با سرمایه‌گذاری در مفهوم داده‌های باز، ابزاری را برای کمک به رفع این مشکل با پیش‌بینی ریسک احتمالی توسعه داده است. بر اساس یافته‌های SFPD، در سال ۲۰۱۵، این شهر ۱۱ روز گرمای شدید را تحمل کرده است، بر اساس پیش‌بینی‌های انجام‌شده در زمینه تغییرات آب و هوایی روزهای گرم در سال ۲۰۵۰ به ۲۱ روز و در سال ۲۰۹۰ به ۹۴ می‌رسد. SFPD ادعا می‌کند که ۶۹ درصد از آسیب‌پذیری‌ها در برابر گرمای شدید قابل پیش‌بینی است.

شاخص آسیب‌پذیری سلامت، بر روی نقشه برخط تعاملی، میزان آسیب‌پذیری جمعیت از گرمای شدید را در هر منطقه از شهر مشخص می‌کند. علاوه بر داده‌های مربوط به دما، این شاخص ۲۱ متغیر دیگر، مانند فیزیولوژی مردم محلی، زیرساخت‌های محله‌ای، معماری، ترافیک و حمل‌ونقل، عوامل اجتماعی-اقتصادی (سن، نژاد، سطح تحصیلات، میانگین حقوق، نرخ فقر)، کیفیت هوا، نزدیکی به مناطق سبز، وجود مراکز مراقبت روزانه یا خانه‌های سالمندان و شاخص‌های وضعیت بیماری‌های زمینه‌ای مانند نرخ افراد مبتلا به آسم و بیماری‌های قلب و عروقی را بررسی می‌کند. با پیش‌بینی ریسک موجود در هر منطقه، این ابزار به مدیران شهر اجازه می‌دهد تا پیش از رسیدن گرمای شدید و ایجاد خسارت، اقدامات پیشگیرانه را انجام دهند [۱۲].

- ژاپن

- تمرکز: اپلیکیشن‌های موبایل و تبلت‌ها کیفیت زندگی افراد مسن را بهبود می‌بخشند

گروه پست ژاپن، نهاد مسئول ارائه خدمات پستی، بانکی و بیمه‌ای به ۱۱۵ میلیون نفر در ژاپن، پروژه بی‌سابقه‌ای را برای بهبود کیفیت زندگی سالمندان این کشور با تهیه تبلت‌های مجهز به برنامه‌های کاربردی توسعه‌یافته خاص آغاز کرده است تا آن‌ها را به خدمات درمانی، جامعه و خانواده متصل کند. در ژاپن ۲۵ درصد از جمعیت (۳۳ میلیون نفر) سالمند هستند و تا سال ۲۰۵۰ سالمندان ۴۰ درصد از جمعیت را خواهند بود.

این برنامه‌ها به‌منظور ارائه یادآوری و آلام به کاربران در مورد داروها، برنامه‌های ورزشی و رژیم غذایی و وقت‌های ملاقات پزشکی و همچنین امکان دسترسی سالمندان به خدمات عمومی و خانواده‌هایشان و نیز خرید مواد غذایی خود بدون ترک خانه طراحی شده است. این برنامه‌های کاربردی برای سهولت در استفاده با دکمه‌های بزرگ طراحی شده‌اند و ویژگی‌های دسترسی آن شامل فونت‌های بزرگ و زیرنویس‌ها است. پروژه آزمایشی که توسط پست ژاپن با ۱۰۰۰ نفر در سال ۲۰۱۵ آغاز شده است، قرار است به‌صورت مرحله‌ای توسعه یابد و هدف این است که در سال ۲۰۲۵ به

¹ San Francisco Department of Public Health(SFPD)

چهار تا پنج میلیون نفر برسد. این تبلت ها بدون پرداخت هزینه اضافی و به عنوان بخشی از یک برنامه خدماتی توسط گروه پست ژاپن توزیع می شود.

۹-۱-۲ دولت الکترونیکی

۲-۱-۹-۱ چالش ها

ارتقاء و بهبود بهره‌وری و مدیریت عمومی با ارائه خدمات از طریق کانال‌های دیجیتال (وبسایت‌ها و برنامه‌های تلفن همراه) و تلاش برای مشارکت شهروندان در سیاست‌گذاری‌های عمومی و فرآیندهای تصمیم‌گیری از جمله کارهایی است که نیاز به توجه ویژه دارد. توافقی میان کشورهای عضو سازمان ملل متحد وجود دارد که ترویج توسعه پایدار مستلزم ایجاد پل‌های اعتماد میان شهروندان و نهادهای عمومی است. این نهادها به نوبه خود باید به طور فزاینده‌ای مؤثر، پاسخگو، شفاف و دموکراتیک باشند؛ بنابراین، آن‌ها باید کارایی نهاد را بالا ببرند و ظرفیت دولت را برای برآورده ساختن مطالبات شهروندان افزایش دهند.

۲-۱-۹-۲ راه حل ها

فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات، مؤلفه اجرایی خدمت‌رسانی بهتر به شهروندان و اطمینان از مشارکت آن‌ها در اقدامات دولت الکترونیکی است. از جمله آن‌ها ارائه زیرساخت‌ها و خدمات دیجیتالی، باهدف بهبود فرایندهای اداری و تأثیر آن‌ها بر جامعه است.

۲-۱-۹-۳ نمونه ها

- ریودوژانیرو، برزیل

○ تمرکز: استفاده از برنامه‌های کاربردی برای تعامل با مردم

در اوایل سال ۲۰۱۴، دولت ریودوژانیرو پروژه داده ریو را آغاز کرد. بانک اطلاعاتی ایجادشده برای توسعه برنامه‌هایی که به تسهیل زندگی شهروندان و گردشگران کمک می‌کند، در اختیار بخش‌های تحقیقاتی قرار می‌گیرد. این بانک اطلاعاتی ۱۵۰۰۰ پرونده را شامل می‌شود که از جمله می‌توان به داده‌های مکانی اتوبوس‌ها (مختصات GPS)، داده‌های مربوط به هماهنگ‌سازی چراغ‌های راهنمایی و شماره تلفن مخاطبین مرکز تماس ۱۷۴۶ (شماره‌ای جهت تماس مردم برای ثبت شکایات و انتقادات در مورد خدمات عمومی و زیرساخت‌های شهری) اشاره کرد. این بانک اطلاعاتی بخشی از پروژه Carioca Digital است که از طریق یک پورتال وب قصد دارد خدمات دولتی را به صورت ۲۴ ساعت شبانه‌روز به روشی سریع، شخصی‌سازی شده و آسان به خانه شهروندان بیاورد. خدمات موجود در پورتال شامل وضعیت مالیاتی خودروها و املاک و مستغلات، جریمه‌های راهنمایی و رانندگی، گزارش‌ها در مورد میزان عملکرد دانش آموزان ثبت‌نام‌شده در مدارس دولتی و دسترسی به داده‌های مرکز تماس ۱۷۴۶ است. مرکز تماس ۱۷۴۶ به دولت کمک کرده تا مدیریت شهری را بهبود ببخشد. این سرویس اهدافی را دنبال می‌کند که در صورت برآورده شدن، منجر به اختصاص بودجه بیشتر به سازمان‌های شهری که مسئولیت پاسخگویی به مطالبات مردم را بر عهده دارند، می‌شود و زمان ارائه خدمات را کاهش می‌باید. در ۵ سال اول بهره‌برداری از این سامانه، شاخص رضایت از مرکز تماس ۱۷۴۶ بالای ۷۰ درصد بوده است. از جمله بیشترین خدمات درخواستی می‌توان به آواربرداری، پارکینگ نامنظم، درخواست تعمیر روشنایی خیابان‌ها و معابر، مدیریت درختان و پوشش گیاهی و تعمیر چاله‌ها اشاره کرد. این مرکز در طی ۲۴

ساعت شبانه‌روز فعال بوده و ظرفیت پاسخگویی به ۳۰۰ تماس هم‌زمان و ۶۰۰ تماس در ماه را دارد. تماس با این مرکز از طریق تلفن (شماره‌گیری ۱۷۴۶)، از طریق برنامه‌های تلفن‌های هوشمند و از طریق سایت www.1746.rio امکان‌پذیر است [۱].

- چیهواوا، مکزیک

○ تمرکز: توسعه پهنای باند اینترنت بی‌سیم

شهر چیهواوا که در شمال مکزیک واقع شده است، به ۸۴۳ هزار ساکن خود در مکان‌های عمومی مانند میدان‌ها و پارک‌هایی که در برنامه شهر دیجیتال چیهواوا هستند، دسترسی رایگان به اینترنت WiFi ارائه می‌دهد. این سرویس با تمرکز بر آموزش افراد در استفاده از فناوری، دسترسی به خدمات دولت الکترونیک و برنامه‌های تحول دیجیتال را از طریق مراکز خدمات اینترنتی رایگان موجود در شهر فراهم می‌کند. هدف اصلی فراگیر کردن دسترسی و تشویق شهروندان به حضور در فضاهای عمومی و استفاده از اینترنت سریع برای موضوعات مختلف از جمله ارتباطات، کسب‌وکار، مطالعه، ارتقاء فعالیت‌های اجتماعی و استفاده از خدماتی مانند صدور فرم و گواهی پرداخت مالیات، کمک به شهروندان از طریق سازمان‌های مختلف و همچنین پاسخگویی به فعالیت‌های دولتی است. یکی از سرویس‌های متداول انتشار اطلاعات در مورد مشکلات شناسایی شده با استفاده از نقشه مرجع جغرافیایی است.

۲-۱-۱۰ مشارکت شهروندان

۲-۱-۱۰-۱ چالش‌ها

مشارکت شهروندان در مدیریت شهری به‌منظور ایجاد یک چرخه خوب و هوشمندانه از ارائه خدمات و ارزیابی، هدف اصلی در پیشبرد سیاست‌های شهر هوشمند است؛ بنابراین مهم است که دولت‌ها راه‌هایی را برای مشارکت مردم در شهر ایجاد کنند و به آن‌ها اطلاعات و خدمات باکیفیت بدهند.

۲-۱-۱۰-۲ راه‌حل‌ها

شبکه‌های ارتباطی مرتبط با دستگاه‌های تلفن همراه، به‌ویژه تلفن‌های هوشمند، امکان پذیرش کانال‌های ارتباطی جدید دوطرفه میان دولت و شهروندان را فراهم می‌کنند. برنامه‌های کاربردی تلفن همراه، پلت فرم آنلاین، ارائه خدمات اتصال رایگان و دیجیتالی شدن خدمات عمومی، ابزاری برای تقویت یکپارچگی شهر و ساکنان آن می‌باشند.

۲-۱-۱۰-۳ نمونه‌ها

- نینگبو، چین

○ تمرکز: اپلیکیشن iCityBoss شهر را در دست شهروندان قرار می‌دهد

شهر نینگبو چین با ۱.۵ میلیون نفر جمعیت، شهر هوشمند خود را بر اساس مشارکت‌های دولتی-شخصی مختلفی توسعه می‌دهد. چندین سرویس عمومی و مدیریتی، دیجیتالی شده است. برنامه iCityBoss به‌منظور برقراری ارتباط بین شهروندان و شهر و همچنین برای مشارکت شهروندی تهیه شده است و داده‌هایی را از منابعی همچون دولت، مؤسسات و شرکت‌ها جمع می‌کند تا بتواند یک نقطه مرکزی تعامل با انواع سرویس‌های شهر هوشمند باشد. این

برنامه از قابلیت GPS تلفن‌های هوشمند برای ارسال اطلاعات بلادرنگ موقعیت شهروندان استفاده می‌کند تا شهروندان بتوانند اطلاعات دقیق‌تری در مورد حمل‌ونقل را کسب کنند.

از مزایای موجود برای شهروندان می‌توان به‌طور میانگین کاهش ۱۰ دقیقه در زمان انتظار برای حمل‌ونقل عمومی یا کاهش ۱۵ دقیقه‌ای در زمان صرف شده برای جستجوی یک پارکینگ در شهر را نام برد. دولت تخمین می‌زند که با مدیریت کارآمد ترافیک، اقدامات هماهنگ و تقسیم منابع بین ادارات مختلف شهرداری، سالانه ۴.۹ میلیون دلار را صرفه‌جویی کند. شهروندان می‌توانند با انتقال مشکلات محلی و ارائه پیشنهادهای، با دولت محلی تعامل داشته باشند. بر اساس گفته‌های مسئولان شهر نینگبو، این برنامه کاربردی تاکنون ۱.۲ میلیون دانلود داشته و ۲۰۰.۰۰۰ کاربر فعال دارد [۱۳].

۲-۱-۱۱-۲ ادغام سیستم‌ها و عملیات

۲-۱-۱۱-۱ چالش‌ها

برای مقابله با چالش‌های روزافزون زندگی شهری، شهرهای هوشمند در حال جمع‌آوری و پردازش داده‌های به‌دست‌آمده از دوربین‌ها و سنسورها در یک مکان واحد در شهر هستند. در این مراکز، تیم‌های مختلفی به‌طور مشترک همکاری می‌کنند و با ابزارهای نوین فناوری که تصمیم‌گیری را به‌ویژه در شرایط اضطراری ساده می‌کنند پشتیبانی می‌شوند.

۲-۱-۱۱-۲ راه‌حل‌ها

توسعه یک سیستم به‌هم‌پیوسته مدیریت عمومی و یک سیستم ارتباطی قدرتمند که بتواند از آن پشتیبانی کند.

۲-۱-۱۱-۳ نمونه‌ها

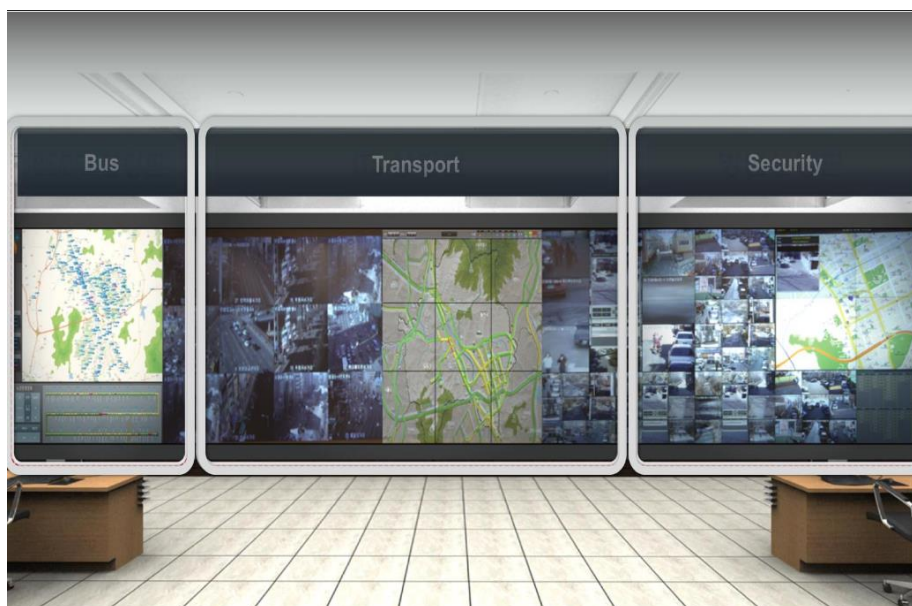
• آنیانگ، کره جنوبی

○ تمرکز: ایجاد هماهنگی در عملیات شهر

اولین پروژه Smart City در این شهر، سیستم اطلاعات اتوبوس در سال ۲۰۰۳ بود که به سیستم حمل‌ونقل هوشمند تبدیل شد. در سال ۲۰۰۷، آدم‌ربایی دو دختر باعث شد که شهروندان علیه جنایت اعتراض کنند. این اتفاق موجب ایجاد انگیزه‌ای برای تولید یک شبکه ایمنی و سیستم پیشگیری از وقوع جرم شد که هم‌اکنون ۳۵۰۰ دوربین مداربسته نظارت بر سطح شهر دارد. در چند سال گذشته، شهر آنیانگ توانسته است اطلاعات بلادرنگ درباره برنامه و مکان اتوبوس‌ها، ترافیک و پیشگیری از وقوع جرم را به شهروندان خود ارائه دهد. این سیستم پیشگیری از وقوع جرم بسیار مؤثر بوده است. با این حال، ادامه توسعه آن ضروری بود و راه انجام این کار، ادغام همه این سیستم‌ها و برخی سیستم‌های دیگر در یک سیستم متمرکز با هماهنگی مرکز شهر هوشمند آنیانگ است.

سیستم یکپارچه کنترل شهری آنیانگ، شبکه‌های نظارتی پیشگیری از وقوع جرم و کنترل ترافیک را با مدیریت خدمات عمومی نظیر نگهداری از معابر عمومی و آتش‌نشانی را ترکیب می‌کند. این سیستم، به یک واحد نظارت و یک واحد عملیاتی تقسیم می‌شود. در واحد نظارت که در یک اتاق وضعیت به‌صورت ۲۴ ساعته و ۷ روز هفته کار می‌کند، ۳۰ متخصص غیرنظامی با سه افسر پلیس همکاری می‌کنند. واحد عملیاتی نیز به‌نوبه خود توسط کارمندان دولت اداره می‌شود. به‌منظور ترقی و استفاده مفید از هم‌افزایی‌ها، اطلاعات در سیستم به‌صورت دوطرفه و بلادرنگ بین مراکز، امکانات میدانی و ادارات عمومی جریان می‌یابد. یکی از عواملی که باعث موفقیت مرکز شده است، ساخت زیرساخت ارتباطی سریع و پایدار اعم از سیمی و بی‌سیم است. پس از پیاده‌سازی این مرکز، میزان جرم و جنایات در

شهر به طور متوسط ۱۷.۸ درصد در سال کاهش یافت. نمایی از مرکز کنترل شهر هوشمند آنیانگ در شکل ۲-۲ آورده شده است.



شکل ۲-۲: مرکز کنترل شهر هوشمند آنیانگ، کره جنوبی [۱]

• بارسلونا

○ نمونه‌ای عالی از شهر هوشمند

بارسلونا، پایتخت کاتالونیا اسپانیا، از جمله شهرهایی است که به تحقق مفهوم واقعی شهر هوشمند نزدیک شده است. دولت ۲۲ برنامه مدیریت هوشمند را به صورت یکپارچه اجرا می‌کند تا عملیات شهری مانند بهبود مدیریت محیط زیست و پایداری اقتصادی و اجتماعی، بهینه‌سازی شود. این شهر دارای ایستگاه‌های اتوبوس هوشمند است که به شبکه فیبر نوری متصل می‌شوند و برنامه‌های اتوبوس به صورت بلادرنگ، اطلاعات توریستی، تبلیغات دیجیتالی و پلاگ‌های شارژ USB برای دستگاه‌های تلفن همراه و همچنین WiFi را در اختیار کاربران قرار می‌دهد. پارکینگ‌ها از طریق یک شبکه پهن باند بی‌سیم، در مورد در دسترس بودن جای پارک خالی، به مشتریان اطلاع‌رسانی می‌کند و به آن‌ها امکان پرداخت هزینه خدمات را می‌دهند.

سنسورهایی در نقاط مختلف شهر توزیع شده‌اند که داده‌های بلادرنگ را در مورد گردش افراد، نویز و سایر اشکال آلودگی محیط زیست و همچنین شرایط ترافیک و آب و هوایی تهیه می‌کنند. برای عابران پیاده و رانندگان نیز دسترسی به سیستم ترافیک فراهم شده است تا در تلفن‌های هوشمند خود بهترین گزینه برای حرکت در سطح شهر را بررسی کنند. سیستم روشنایی بسیار کارآمد به شبکه فیبر زیرزمینی متصل است و دارای ویژگی‌های متعددی از جمله مانیتورینگ خیابان‌ها، سنسورهای کیفیت هوا و WiFi که به مدیریت کردن سطح روشنایی با توجه به شرایط محلی کمک می‌کند و لذا باعث صرفه‌جویی قابل توجهی در انرژی می‌شود.

سطح‌های زباله به شبکه‌های بی‌سیم متصل شده و مجهز به سنسورهایی هستند که میزان ضایعات را مانیتور می‌کنند و حتی وجود مواد خطرناک را نیز تشخیص می‌دهند. داده‌ها توسط مرکز عملیات و شرکت‌های نظافت دریافت می‌شوند

و برنامه‌ریزی بهتر مسیرهای جمع‌آوری زباله را امکان‌پذیر می‌کنند. رانندگان جمع‌آوری زباله به‌صورت بلادرنگ در مورد مسیرها مطلع می‌شوند، در نتیجه هزینه‌های خدمات مدیریت پسماند کاهش می‌یابد. همه این عوامل بیانگر نوآوری‌های رشد شهر پایدار در جنبه‌های مختلف است، از جمله روشنایی هوشمند، حمل‌ونقل، نوآوری اجتماعی، مشارکت پروژه بین مراکز تحقیقاتی، دانشگاه‌ها و شرکای خصوصی و دولتی.

در ادامه به بررسی شهرهای هوشمند در قاره‌های مختلف پرداخته شده است.

۲-۲ شهرهای هوشمند اروپا

۲-۲-۱ لندن، انگلستان

این شهر بزرگ‌ترین و پرجمعیت‌ترین شهر در بریتانیا است. لندن یکی از قطب‌های حمل‌ونقل بین‌المللی در جهان به شمار می‌رود. در این راستا جهت هوشمندسازی شهر پروژه‌ای تحت عنوان "SMARTER LONDON TOGETHER" در نظر گرفته شده است، نقشه راه در نظر گرفته شده برای این پروژه شامل پنج مأموریت می‌باشد: طراحی، به اشتراک‌گذاری داده‌ها، اتصال، مهارت و همکاری [۱۴].

مأموریت ۱: طراحی خدمات بر اساس نیاز کاربر

معمولاً در ایجاد شهرهای هوشمند به دنبال ادغام فناوری‌های دیجیتال جدید هستند بدون اینکه به بررسی و شناخت کافی از نیازهای شهروندان بپردازند. از جمله نقاط قوت این نقشه راه می‌توان به در نظر گرفتن نیازهای کاربران اشاره کرد. از جمله اهداف این مأموریت می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- طراحی و برنامه‌ریزی کردن شهر هوشمند با محوریت قرار دادن نیازهای کاربران
- توسعه راهکارهای جدید به‌منظور دسترسی بیشتر مردم به خدمات عمومی
- راه‌اندازی چالش‌های نوآوری شهری برای تشویق نوآوری در بخش تکنولوژی
- توسعه راهکارها به‌منظور درگیر کردن بیشتر شهروندان
- ایجاد تنوع در فناوری برای رفع نابرابری

مأموریت ۲: رویکرد جدید برای استفاده از داده‌های تولیدشده در شهر

چگونگی برخورد و استفاده از داده‌های ایجادشده، یک مسئله زیرساختی مهم برای شهر است. لازم است سیاست‌های جدید به‌منظور استفاده بهینه از داده‌های جمع‌آوری شده در راستای بهبود خدمات عمومی، تدوین شود. تخمین زده می‌شود استفاده از داده‌های شهری تا سال ۲۰۲۰ حدود ۳۲۲ میلیارد پوند برای کشور انگلستان ارزش اقتصادی ایجاد خواهد کرد. برای این منظور موارد زیر می‌بایست اجرا گردد:

- ایجاد مرکز تجزیه و تحلیل داده‌های شهر
- تدوین استراتژی امنیت سایبری برای پاسخ به تهدیدات سایبری
- ایجاد اعتماد در نحوه استفاده از داده‌های عمومی
- پشتیبانی از افزایش شفافیت و انتشار اطلاعات

مأموریت ۳: اتصال در سطح جهانی و خیابان‌های هوشمندتر

تعداد دستگاه‌های متصل به شبکه مانند تلفن‌های همراه، کنتور هوشمند در خانه و سنسورهای کیفیت هوا در خیابان در حال افزایش است. استفاده از داده‌های تلفن همراه بیش از ۳۰ درصد در سال در حال رشد است. ارائه خدمات ارتباطی در سراسر لندن به‌طور قابل توجهی باید بهبود یابد تا شهر بتواند به‌عنوان یک اقتصاد دیجیتال رشد کند. برای این منظور موارد زیر می‌بایست اجرا گردد:

- راه‌اندازی برنامه‌های جدید در لندن به‌منظور اجرای پروژه 5G
- افزایش پروژه‌های اتصال نقاط مختلف شهر به شبکه اطلاعات، مانند فیبر نوری منازل
- تقویت WiFi عمومی در خیابان‌ها و ساختمان‌های عمومی
- پشتیبانی از نسل جدید زیرساخت‌های هوشمند

مأموریت ۴: بهبود دادن مهارت‌های دیجیتال

اقتصاد لندن در حال دیجیتالی شدن است و نیاز به نیروی کار با مهارت جدید دارد. هوش مصنوعی و اینترنت اشیا تأثیر بسیاری در ساختار کارهای آینده خواهد داشت. در کنار ارتقاء شهروندان نیاز است قوانین جدید در زمینه امنیت داده نیز بروز شود.

برای این منظور موارد زیر می‌بایست اجرا گردد:

- تقویت حوزه دیجیتال به‌منظور ارائه خدمات نوآوری عمومی جدید
- توسعه توانایی دیجیتالی نیروی کار
- پشتیبانی از استعدادهای حوزه دیجیتال در سال‌های اولیه
- شناسایی نقش نهادهای فرهنگی در درگیر کردن شهروندان در دنیای دیجیتال

مأموریت ۵: بهبود یافتن همکاری‌ها در سطح شهر

آخرین مأموریت، تقویت همکاری بخش‌های مختلف با یکدیگر می‌باشد. همه بخش‌های عمومی شهر باید در مورد مدل‌های کسب‌وکار جدید و خدمات فناوری نوین آمادگی لازم را داشته باشند و برنامه‌ریزی‌های لازم در این زمینه را انجام دهند.

برای این منظور موارد زیر می‌بایست اجرا گردد:

- ایجاد دفتر فناوری و نوآوری لندن^۱ (LOTI) برای پشتیبانی از توانایی‌ها و نوآوری‌های آینده
- ترویج نوآوری‌های فناوری درمان، در خدمات بهداشت و سلامت و خدمات اجتماعی

¹ London Office of Technology & Innovation (LOTI)

- بررسی مشارکتهای جدید در بخشهای فناوری و مدلهای کسبوکار
 - همکاری نزدیک با دیگر شهرهای بزرگ و پیشرو در حوزه هوشمندسازی
- در ادامه برخی از دستاوردهای لندن در زمینه هوشمندسازی شهر عنوان شده است.

حمل و نقل هوشمند

برنامه حمل و نقلی (city mappers) که یکی از پرانلودترین برنامههای حمل و نقل حال حاضر در لندن می باشد، به سرعت در حال توسعه تغییر ساختار سیستم حمل و نقل شهری است. این برنامه سریع ترین و بهترین روش جابه جایی در سطح شهر را از طریق وسایل حمل و نقل عمومی در اختیار کاربر خود قرار می دهد و مدت زمان سفر را نیز پیش بینی می کند. از جمله دیگر پروژههای انجام شده در این حوزه استفاده از “کارت های هوشمند” برای پرداخت ها می باشد. این روش نوین، به طور قابل توجهی نحوه پرداخت مشتریانی را که قصد جابه جایی در سطح شهرداری، تغییر داده است. نرم افزار سرویس پرداخت از طریق کارت های هوشمند که در همکاری با شرکت TFL ساخته شده است، فرصتی مناسب جهت جذب سرمایه در زمینه حمل و نقل الکترونیک محسوب می شود.

دوربین های پوشیدنی (Body-Worn Cameras)

پلیس شهر لندن ۲۲ هزار افسر عملیاتی خود را به دوربین های فیلم برداری پوشیدنی مجهز کرده است. این اقدام تأثیر مثبت بسزایی در بالا بردن اعتماد به نفس افسران و همچنین شهروندان داشته است. نصب این دوربین ها امکان پیگرد قانونی سریع تر مجرمان را فراهم ساخته است و همچنین سبب کاهش آمار شکایات به ویژه در زمینه خشونت شهری شده است.

خدمات مشتریان و گزارش دهی

شورای شهر لندن در ادامه برنامه هوشمندسازی طی چند سال گذشته، صدها وبسایت و برنامه تلفن همراه را توسعه داده اند که شهروندان را قادر کند که به ارائه گزارش های مربوط به نگرانی های شهری و مسائل مهم آینده لندن همچون محیط زیست، حمل و نقل، امنیت، اشتغال و اقتصاد را بپردازند. برنامه هایی همچون برنامه (street link) برای ارائه گزارش های شهروندان در جهت حمایت از ساکنان آسیب پذیر شهر هستند.

سلامتی

بیمارستان ها در لندن طیف گسترده ای از راهکارهای بهداشتی درمانی دیجیتال را به کار می برند. تنها برخی از این نمونه ها عبارت اند از دستگاه مدوپد^۱ که یک دستگاه تلفن همراه برای نظارت بر بیماران مبتلا به نارسایی قلب در خانه است. سرویس فیزسترک^۲ نیز که توسط یک شرکت مراقبت های درمانی دیجیتال طراحی شده، امکان دسترسی به راهنمایی های ویدیویی از راه دور را برای بیماران نیازمند خدمات فیزیوتراپی فراهم ساخته است. همچنین صرفه جویی سالانه ۲.۵ میلیون پوند با کاهش قرار ملاقات های از دست رفته با استفاده از برنامه ی رزرو وقت دکتر (Doctor's appointment booking app) از دیگر برنامه های مهم در این زمینه تلقی می شود. سرویس خدمات آمبولانسی

¹ Medopad

² Physitrack

لندن نیز با توسعه طرح (perfect ward) و همچنین حذف کاغذبازی‌های درمانی سبب بهبود وضعیت این خدمات و افزایش سرعت سرویس‌های آمبولانس خود شده است. این سرویس هم‌اکنون در بیش از ۷۰ ایستگاه درمانی سطح شهر در دسترس بوده و در حال فعالیت است.

۲-۲-۲ هلسینکی، فنلاند

پروژه‌های شهر هوشمند در هلسینکی با هماهنگی Forum Virium، یک سازمان غیرانتفاعی خصوصی متعلق به شهر هلسینکی، انجام می‌پذیرد که قصد دارد خدمات جدید دیجیتال شهری را با همکاری بخش خصوصی، شهرداری، سازمان‌های بخش دولتی و ساکنان هلسینکی توسعه دهد [۱۵].

علاوه بر این، شهر هلسینکی در طرح‌های مختلف اروپایی شهر هوشمند، شرکت می‌کند. بررسی این طرح‌ها نشان می‌دهد که پیشرفت‌های شهر هوشمند هلسینکی در درجه اول بر توسعه خدمات دیجیتالی، برنامه‌های کاربردی تلفن همراه و خدمات داده‌بان است. بیشتر راهکارهای محلی شهر هوشمند باهدف تهیه داده‌های عمومی و سوق دادن شهروندان در مشارکت مدنی ارائه شده است. بسیاری از پروژه‌های شهر هوشمند هلسینکی به‌طور مستقیم به اهداف اروپا-۲۰۲۰ کمک نمی‌کنند، اما آن‌ها با ایجاد یک محیط خاص که در آن خدمات و راه‌حل‌های شهر هوشمند ایجاد می‌شود، به‌طور غیرمستقیم سهمیم هستند و به کاهش انتشار CO₂ یا بهبود راندمان انرژی می‌پردازند.

راه‌حل‌های شهر هوشمند در هلسینکی

پلتفرم داده‌باز (منطقه اطلاع‌رسانی هلسینکی)

داده‌باز کردن اطلاعات عمومی نقش مهمی در تحولات شهر هوشمند هلسینکی بازی می‌کند. پروژه Infoshare منطقه هلسینکی قصد دارد تا اطلاعات منطقه‌ای سازمان‌های عمومی راحت‌تر در دسترس مردم قرار گیرد. این داده‌ها رایگان است و می‌تواند توسط مشاغل، دانشگاه‌ها و مؤسسات تحقیقاتی، مؤسسات دولتی یا شهروندان مورد استفاده قرار گیرد. پروژه Infoshare منطقه هلسینکی یکی از پلتفرم‌های شهری داده‌بان و پیشگام است. این پلتفرم اخیراً جایزه نوآوری در مدیریت عمومی، در قاره اروپا را دریافت کرده است. گزارش‌ها نشان می‌دهد که داده‌بان کردن اطلاعات، فرصتی عالی به شهروندان می‌دهد تا در تصمیم‌گیری‌های عمومی بیشتر مشارکت کنند. این یکی از مهم‌ترین برگ خریدهای موفقیت پروژه Infoshare منطقه هلسینکی به حساب می‌آید. به گفته صندوق نوآوری فنلاند و سرمایه‌گذار این پروژه، داده‌بان کردن اطلاعات عمومی می‌تواند جامعه را کارآمدتر کرده و خدمات بهتری را ایجاد کند. به‌عنوان مثال، در سال ۲۰۰۹ سازمان حمل‌ونقل منطقه هلسینکی تمام داده‌های خود را به اشتراک گذاشت و این منجر به حدود ۵۰ برنامه تلفن همراه توسط توسعه‌دهندگان شد تا نیازهای مختلف مسافران را تأمین کند. این خدمات جدید در کاهش ازدحام ترافیک و کاهش تأثیرات منفی محیطی سیستم ترافیک هلسینکی نقش دارند.

به‌طور کلی، مطالعات متعددی پتانسیل اقتصادی داده‌بان کردن داده‌های عمومی را نشان می‌دهند. به‌عنوان مثال، منابع اطلاعاتی بخش عمومی اندازه‌گیری اروپا نشان می‌دهد که بازار اطلاعات بخش عمومی دارای پتانسیل عظیمی است و تخمین زده می‌شود برای اتحادیه اروپا ۱۰.۳ میلیارد تا ۴۴.۹ میلیارد یورو باشد. هنوز برای ارزیابی کامل سهم این فعالیت‌ها در اهداف اروپا-۲۰۲۰ خیلی زود است، اما نشانه‌های اولیه مؤید آن است که خدمات جدید به اهداف اروپا-۲۰۲۰ مانند کاهش انتشار CO₂ کمک می‌کند.

۳-۲-۲ وین، اتریش

پروژه شهر هوشمند پایتخت اتریش، تحت سرپرستی فرمانداری شهر وین اجرا می‌شود. به‌منظور کاهش مصرف انرژی و کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای بدون کم شدن از کیفیت زندگی، شهر به‌طور مداوم در حال نوسازی و مدرنیزه شدن است [۱۶]. این پروژه بلندمدت است و کلیه ابعاد زندگی و کار را شامل می‌شود. این پروژه شامل زیرساخت‌ها، انرژی، حمل‌ونقل و همچنین همه جوانب توسعه شهری است. اهداف اصلی مرتبط با اهداف اروپا-۲۰۲۰ عبارت‌اند از:

- کاهش قابل توجه تولید گازهای گلخانه‌ای و در طولانی مدت ایجاد یک شهر با میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای صفر و با ساختمان‌های با میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای صفر به‌عنوان استاندارد
- کاهش قابل توجهی از مصرف انرژی، بنابراین در درازمدت در ساختمان‌های جدید مصرف انرژی به میزان تقریباً صفر خواهد رسید

• افزایش قابل توجه مصرف انرژی از منابع تجدیدپذیر

• افزایش آگاهی در سطح وسیع مردم در مورد استفاده مسئولانه از منابع

• ارتقاء سیستم‌های حمل‌ونقل با بهبود شبکه حمل‌ونقل عمومی

• تبدیل وین به‌عنوان یک الگوی شهر محیط زیستی اروپا و مرکز پیشرو اروپا برای تحقیق و توسعه فناوری در سطح بین‌المللی.

عوامل موفقیت شهر هوشمند وین

شهر هوشمند وین دارای اهداف متنوعی است. این پروژه به کل شهر می‌پردازد و کلیه حوزه‌های مسئولیت را تحت تأثیر قرار می‌دهد. اهداف موردنظر، موجب توسعه شهری مبتنی بر پایداری و حفظ منابع می‌باشد. طرح " Smart City Vienna" توسط شهردار وین در مارس ۲۰۱۱ آغاز شد. وی تأکید کرد که این شهرهای هوشمند هستند که تضمین کیفیت زندگی خوب برای نسل‌های آینده را می‌دهد. یکی از عناصر اصلی طرح شهر هوشمند وین، فرآیند سرمایه‌گذاری است که طی آن از کلیه سرمایه‌گذاران داخل و خارج از اداره شهر خواسته شد تا در تیم‌های مشاوره عمومی یا تیم‌هایی با تمرکز بر موضوعات خاص شرکت کنند. شش موضوع مورد بحث در پروژه شهر هوشمند وین شامل توسعه جمعیت، محیط‌زیست، حکومت، اقتصاد، انرژی و حمل‌ونقل می‌باشد.

راه‌حل‌ها در شهر هوشمند وین

راه‌حل حمل‌ونقل "eMorail"

eMorail یک پروژه پایلوت است که هدف آن ارائه یک راهکار خلاق، مقرون‌به‌صرفه و سازگار با محیط‌زیست برای مسافران است. این برنامه در شهرهای وین و گراس^۱ اجرا شده است. عناصر اصلی این پروژه یک سرویس حمل‌ونقل یکپارچه و یک اشتراک خودرو الکترونیکی و یک سرویس دوچرخه الکترونیکی است.

شهروندان با تهیه بلیت امکان استفاده از خدمات راه‌آهن فدرال اتریش و همچنین امکان استفاده از وسیله نقلیه الکترونیکی در محل زندگی خود را دارند. خدمات اضافی مانند اطلاعات و تعمیر نیز برای تکمیل این پروژه در نظر

¹ Graz

گرفته شده است. eMorail یک برنامه تلفن هوشمند دارد که باعث افزایش دسترسی مشتریان می شود. یکی از اصلی ترین کارکردها امکان رزرو وسیله نقلیه است. سایر ویژگی ها این برنامه شامل اطلاعات مربوط به تأخیر قطارها، میزان مسافت تقریبی رانندگی بدون نیاز به شارژ اتومبیل یا دوچرخه و بررسی اعتبار باقیمانده موجود برای سفر می باشد. هدف از این راه حل ترویج وسایل نقلیه برقی به عنوان یک شکل دیگر از حمل و نقل است که می تواند با حمل و نقل عمومی ترکیب شود. با این راهکار مسافران ممکن است دیگر نیازی به داشتن خودرو نداشته باشند.

مفهوم حمل و نقل یکپارچه "SMILE"

سیستم اطلاعات حمل و نقل هوشمند و خدمات مؤثر حمل و نقل الکتریکی (SMILE)^۱ نمونه اولیه یک پلتفرم حمل و نقل چندمنظوره است. هدف این پلتفرم پوشش کلیه خدمات حمل و نقل عمومی و شخصی مشتریان، با ارائه اطلاعات جامع در مورد مسیرهای مختلف سفر است. این پلتفرم در یک پروژه تحقیقاتی مشترک توسط دو شرکت (شرکت خدمات عمومی وینر استادورک^۲ و اپراتور حمل و نقل عمومی وینر لینن^۳) و راه آهن فدرال اتریش انجام شده است.

هدف این پروژه کمک به تغییر ساختار بخش حمل و نقل با ارائه "پیوند مفقوده" بین حمل و نقل عمومی و حمل و نقل الکترونیکی است. نیازهای مشتری اساس پلتفرم SMILE می باشد. جنبه مثبت دیگر SMILE این است که پلتفرم حمل و نقل دارای رابط های کاربری باز است. تهیه کنندگان خدمات حمل و نقل مربوطه، مانند اشتراک ماشین الکتریکی، اشتراک دوچرخه الکتریکی، مکان پارکینگ ها و غیره نیز می توانند از این پلتفرم برای ارائه خدمات خود استفاده کنند.

۲-۲-۴ آمستردام، هلند

آمستردام اهداف پایداری شهری و استراتژی انرژی خود را در چشم انداز ۲۰۴۰ تعیین کرده است. در این اسناد اهداف زیر را بیان کردند:

- ۴۰٪ کاهش انتشار CO₂ در سال ۲۰۲۵ در مقایسه با ۱۹۹۰
- کاهش ۷۵ درصدی انتشار CO₂ تا سال ۲۰۴۰.

به منظور حرکت در راستای دستیابی به این اهداف، هیئت اقتصادی آمستردام، اپراتور شبکه Liander و ارائه دهنده خدمات مخابراتی KPN، پلتفرم شهر هوشمند آمستردام را در سال ۲۰۰۹ آغاز کردند [۱۷].

پلتفرم شهر هوشمند آمستردام، مشارکتی بین مشاغل، مسئولان، مؤسسات تحقیقاتی و مردم آمستردام است که موجب حرکت و پیشرفت پروژه های شهر هوشمند در آمستردام می شود. در سال ۲۰۱۳ این پلتفرم موجب همکاری بیش از ۷۰ شرکت بوده است که در ۳۷ پروژه مختلف شهر هوشمند مشغول به کار بوده اند [۱۸]. این پروژه ها با موضوعات مختلفی سروکار دارند و کلیه ویژگی های یک شهر هوشمند از جمله انتقال انرژی و راه حل های هوشمند حمل و نقل را در بر می گیرند. در کل، پروژه های شهر هوشمند در آمستردام تمام اهداف اروپا-۲۰۲۰ را تحت پوشش قرار می دهند.

هدف اصلی پلتفرم شهر هوشمند آمستردام کمک به دستیابی به اهداف مندرج در استراتژی انرژی ۲۰۴۰ و کاهش انتشار کربن در آمستردام است. در سال ۲۰۱۱ گزارش Smart Stories منتشر شد که پروژه های شهر هوشمند را از

¹ Smart Mobility Info and Ticketing System Leading the Way for Effective E-Mobility Services

² Wiener Stadtwerke

³ Wiener Linien

سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۱ ارزیابی کرده است. در این گزارش آمده است که پروژه‌های شهر هوشمند آمستردام موجب کاهش تولید ۱۲.۷ کیلو تن CO₂ در سال که معادل با کاهش ۵٪ از انتشار کل CO₂ آمستردام در سال است، شده است. پروژه اولیه شهر هوشمند آمستردام که از سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۱ اجرا شد بودجه ۳.۴ میلیون یورویی داشته است و توسط صندوق اروپا برای توسعه منطقه‌ای (۴۰٪)، بودجه خصوصی (۴۰٪) و بودجه دولت (۲۰٪) پشتیبانی می‌شد. در ادامه برخی از پروژه‌های انجام‌شده در شهر آمستردام آورده شده است.

کشتی-به-شبکه (انرژی سبز)

بندر آمستردام در نظر دارد تا سال ۲۰۲۰ به یکی از بندرگاه‌های پایدار در اروپا تبدیل شود و برای این منظور در پروژه برق کشتی-به-شبکه سرمایه‌گذاری کرده است. این پروژه به کشتی‌های داخل کشور در بندر آمستردام اجازه می‌دهد تا از انرژی شبکه به جای ژنراتورهای دیزلی ثابت خودشان استفاده کنند. این روش میزان انتشار گاز CO₂ را کاهش داده و منجر به کاهش سروصدا و آلودگی هوا می‌شود. در کل ۱۹۵ نقطه اتصال کشتی-به-شبکه در بندر آمستردام نصب شده است.

سیستم‌های مدیریت ساختمان هوشمند (پروژه برج ITO)

پروژه سیستم مدیریت هوشمند ساختمان باهدف کاهش مصرف انرژی و هزینه‌های عملیاتی ساختمان‌های اداری انجام‌شده است. این پروژه آزمایشی در برج ITO، اجرا شده است. هدف اصلی کاهش مصرف انرژی با جمع‌آوری، تجزیه و تحلیل داده‌ها در مورد میزان انرژی مصرفی و استفاده از راهکارهای صرفه‌جویی در مصرف انرژی بر اساس این اطلاعات بود. پروژه آزمایشی سیستم مدیریت ساختمان هوشمند شامل نصب دوشاخه‌های هوشمند و لامپ‌های LED است. تجهیزات نصب‌شده هوشمند می‌توانند میزان مصرف انرژی را در یک پریز برق اندازه‌گیری کرده و دستگاه‌های الکترونیکی را به‌طور خودکار خاموش کنند. حدود ۳۶۰ تجهیز هوشمند در طبقات اداری نصب شدند. بخش دوم (دارای هوشمندی کمتر اما یک اقدام مؤثر برای ساختمان‌های اداری) نصب چراغ‌های روشنایی در اتاق‌ها بود. میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی ناشی از اتوماسیون ساختمان‌های هوشمند که همراه با خاموش کردن روشنایی و وسایل خارج از ساعت اداری بود، مصرف برق را ۱۸ درصد کاهش داد و موجب کاهش سالانه ۲۰ مگاوات ساعت شد.

آزمایشگاه سلامت

living-lab، شبکه‌ای از آزمایشگاه‌های سلامت در منطقه آمستردام است که محققان، پزشکان و کاربران مراقبت‌های پزشکی را با کمک فناوری‌های ICT و راهکارهای خلاق مراقبت‌های پزشکی گرد هم آورده است. این برنامه بر افزایش بهره‌وری و نوآوری‌های فناوری در بخش سلامت متمرکز است. اهداف آزمایشگاه سلامت عبارت‌اند از:

- ایجاد بسترهایی که همه افراد درگیر در آن بتوانند درمورد تحولات و اجرای راهکارهای جدید در مراقبت، با یکدیگر بحث و تبادل نظر کنند.
- پشتیبانی از راه‌اندازی چندین مکان living lab که در آن راهکارهای جدید فناوری قابل‌آزمایش و توسعه است.

۲-۲-۵ بارسلونا، اسپانیا

بارسلونا یک شهر بسیار فعال با طرح‌های هوشمند فراوان است. در ادامه عوامل موفقیت و راه‌حل‌های آن مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. شهر بارسلونا قصد دارد به یک الگوی شهر هوشمند برای کل جهان تبدیل شود. چشم‌انداز آینده آن به این صورت است:

- ادغام فناوری‌های اطلاعات در شهر

- مرتبط کردن حوزه‌ها و بخش‌های مختلف باهم

بارسلونا از رویکرد جامع اجرای ICT برای استفاده و راحتی شهروندان پیروی می‌کند. یکی از ویژگی‌های این شهر، استفاده از داده‌های باز می‌باشد. داده‌های باز پایه‌ای برای محصولات و خدمات جدید در تجارت اطلاعات است، به‌عنوان مثال برنامه‌های کاربردی جدید که بر اساس تجزیه و تحلیل منابع داده جدید ساخته شده‌اند. در طولانی‌مدت، این مدل‌های تجاری راه‌حل‌ها و شغل‌های کارآمدتری ایجاد می‌کنند [۱۹].

راه‌حل‌های موجود در شهر هوشمند بارسلونا

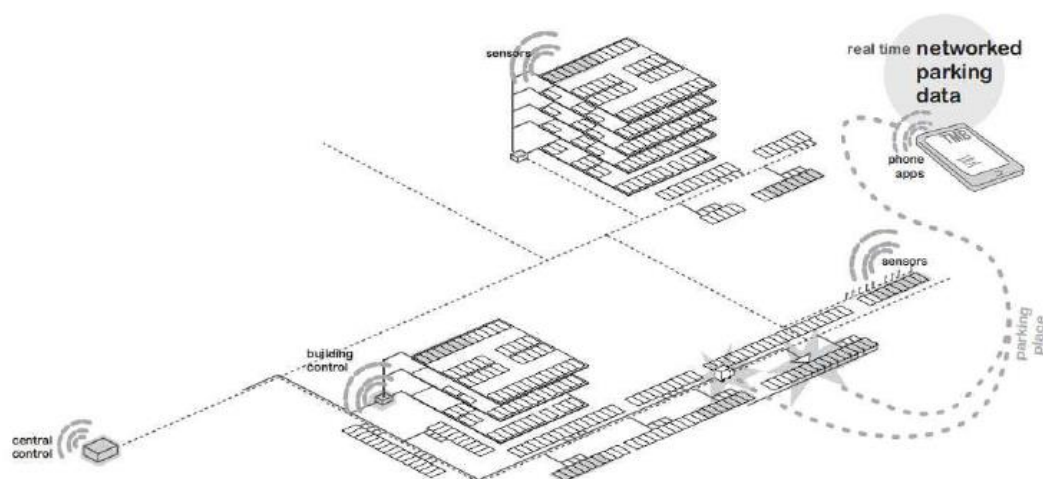
کنترل مناطق روشنایی

هدف از این پروژه رفع مشکل استفاده ناکارآمد از روشنایی خیابان‌های عمومی بیان شده است. این پروژه دو بخش دارد: بخش اول، لامپ‌های خیابانی مجهز به فناوری LED می‌شوند که نسبت به لامپ‌های معمولی به انرژی بسیار کمتری نیاز دارند. بخش دوم، لامپ‌ها برای دریافت اطلاعاتی در مورد محیط (دما، رطوبت، آلودگی) و همچنین سروصدا و حضور افراد به سنسورها مجهز شده‌اند.

این چراغ‌ها با یک واحد کنترل در هر خیابان ارتباط برقرار می‌کنند، سپس اطلاعات به یک واحد کنترل مرکزی ارسال می‌شود. در این مرکز کنترل امکان مشاهده کلیه فعالیت‌ها و خدمات در یک مکان خاص (به‌عنوان مثال یک خیابان)، نظارت بر آن‌ها، دریافت هشدار و مدیریت آن‌ها از این نقطه واحد امکان‌پذیر است.

پارکینگ هوشمند

با قرار دادن سنسورهای بی‌سیم در پارکینگ‌ها، می‌توان محل پارکینگ‌های آزاد را به رانندگان خودرو نشان داد و این‌گونه ترافیک شهر را کاهش داد. این اطلاعات به یک مرکز داده ارسال می‌شود و این داده‌ها به‌صورت بی‌درنگ بر روی تلفن‌های هوشمند کاربران در دسترس است. در این روش، سیستم، راننده را به نزدیک‌ترین پارکینگ راهنمایی می‌کند. در شکل ۲-۳ شبکه پارکینگ هوشمند بارسلونا آورده شده است [۲۰].



شکل ۲-۳: شبکه پارکینگ هوشمند بارسلونا [۲۰]

۶-۲-۲ منچستر، انگلستان

شهر منچستر طی ۲۵ سال گذشته به‌طور اساسی تغییر کرده است. درواقع جهت‌گیری اصلی آن از تولید و صنعت (نساجی)، به سمت اقتصاد خدمات تغییر کرده است. این تغییرات شامل پروژه‌های بازسازی شهری و سرمایه‌گذاری در یک اقتصاد دانش‌بنیان و خلاق است. در اواخر سال ۲۰۰۰ منچستر خود را به‌عنوان یک شهر پیشرو در تحولات دیجیتال تبلیغ می‌کرد [۲۱]. این اهداف در استراتژی دیجیتال منچستر در سال ۲۰۰۸ ثبت‌شده است و یک برنامه دیجیتالی محلی برای منچستر به‌عنوان یک شهر هوشمند با سه اولویت اصلی تعیین‌شده است:

- فعال کردن شهروندان در کل جامعه و حضور مجدد مردم در مشارکت مدنی به روش دیجیتالی
- ایجاد فرصت‌های شغلی از طریق توسعه مهارت و آموزش افراد محلی از طریق صنایع دیجیتال
- ایجاد خدمات دیجیتال خلاق و بدیع با سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های دیجیتال نسل بعدی از طریق نوآوری دیجیتال.

در سال ۲۰۱۲ استراتژی دیجیتال باهدف تبدیل منچستر به یکی از شهرهای پیشرو در زمینه دیجیتال در سال ۲۰۲۰ به‌روز شد: "چشم‌انداز منچستر، ایجاد یک اقتصاد دیجیتالی پویا و یک منطقه شهری دیجیتالی جامع است که از کیفیت زندگی پیشرفته برای هر کس که در منچستر به زندگی یا کار یا تحصیل مشغول است، پشتیبانی می‌کند". سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های دیجیتال، مهیاکردن اینترنت پهن باند برای همه ساکنان و آموزش فناوری اطلاعات و ارتباطات نقش مهمی در این استراتژی ایفا می‌کند. حوزه فناوری اطلاعات در شهر منچستر، دارای بیش از ۸۰۰۰ شرکت با اشتغال ۵۰،۰۰۰ نفر است. به گزارش آی بی ام، رشد بخش فناوری اطلاعات طی ده سال گذشته ۵۰ درصد افزایش یافته است که بیش از پنج برابر میانگین ملی است. برای توسعه و اجرای استراتژی دیجیتال، دفتر توسعه دیجیتال منچستر در سال ۲۰۰۸ تأسیس شد. رویکرد این دفتر ایجاد مشارکت بین دولت‌ها، تجارت و صنعت، دانشگاه‌ها و شهروندان است.

دفتر توسعه دیجیتال منچستر در توسعه به‌عنوان یک شهر هوشمند، چندین عامل موفقیت داشته است که می‌تواند در سایر شهرها و استراتژی‌های آینده به کار رود.

- مشارکت فعال مردم محلی و تحقیقات دقیق محلی ضروری است.

- سهام‌داران عمومی باید تعهد بلندمدت خود را نسبت به مشارکت جامعه و ایجاد ظرفیت نشان دهند.

- پروژه‌های آزمایشی باید مرزها را برای ایجاد آگاهی و الهام بخشی بین سهام‌داران محلی توسعه دهند.

مرکز توسعه شهر هوشمند منچستر همچنین نقش مهمی در هماهنگی چندین طرح شهر هوشمند اروپا، مانند پلتفرم اتحادیه اروپا برای شهرهای هوشمند، NiCE، Common4EU، IREEN (FP7) CitySDK و SMARTiP ایفا می‌کند. برخی از این طرح‌ها به‌طور مستقیم به اهداف کاهش انتشار کربن یا افزایش راندمان انرژی اروپا-۲۰۲۰ کمک می‌کند.

راه حل ها در شهر هوشمند منچستر

بهره‌مندی دیجیتال - EastServe

در استراتژی‌های توسعه شهر هوشمند منچستر (استراتژی دیجیتال)، بهره‌مندی دیجیتالی شهروندان در جامعه نقش مهمی ایفا می‌کند. دسترسی به اینترنت پهن باند و آموزش دیجیتالی شهروندان به عنوان عناصر اساسی برای پرورش محیط شهر هوشمند دیده می‌شود. در سال ۲۰۰۱، پروژه Eastserve در شرق منچستر به عنوان یک شبکه living lab برای بهره‌مندی دیجیتالی تأسیس شد و تأثیر عمده‌ای در دیجیتالی شدن منچستر داشته است. در منطقه شهری شرق منچستر که میزان بیکاری آن سه برابر میانگین شهر است، آزمایشگاه Eastserve Living Lab به نصب و بهبود اتصالات اینترنت پهن باند کمک کرده است. موضوع اصلی این است که فناوری اطلاعات و ارتباطات می‌تواند عامل مهمی برای کاهش جرم، بهبود سطح سلامت و تحصیلات باشد و از این طریق به اهداف اروپا-۲۰۲۰ در زمینه اشتغال، آموزش و فقر کمک کند. آزمایشگاه‌های living lab از سال ۲۰۰۱ تا به امروز به اشکال مختلف استقرار یافته است [۲۲].

سیستم دیجیتال مدیریت انرژی محیط خانه

سیستم دیجیتال مدیریت انرژی محیط خانه (DEHEMS) توسط شورای شهر منچستر هدایت می‌شود و شامل شرکایی مانند آکادمی‌ها و شهرداری‌های سراسر اروپا است. هدف این پروژه کمک به اهداف اروپا-۲۰۲۰ در کاهش انتشار کربن از طریق تجزیه و تحلیل و مدیریت بهتر مصرف انرژی است. DEHEMS سیستمی از کنتورهای هوشمند با رابط کاربری گرافیکی است که باعث می‌شود به جای اینکه فقط مصرف کل را اندازه‌گیری کند، عملکرد و بازخورد را در مورد عملکرد انرژی نمایش دهد. این سیستم از اندازه‌گیری بی‌درنگ توان استفاده می‌کند و با ترکیب ابعاد رفتاری انسان، بازخورد را در اختیار کاربران قرار می‌دهد. DEHEMS در محیط یک living lab در منچستر مورد آزمایش قرار گرفت که در آن حدود ۲۵۰ خانوار شرکت داشتند. اولین نتایج DEHEMS نشان داد که استفاده از کنتورهای هوشمند تأثیر سریعی بر مصرف انرژی شرکت‌کنندگان در آزمایش دارد و انتظار می‌رود که اثری ماندگار بر روی تغییر رفتار مصرفی داشته باشد. در این مرحله آزمایشی، تأثیر صرفه‌جویی در مصرف انرژی ۲۰٪ بود، بنابراین به اهداف اروپا-۲۰۲۰ برای کاهش مصرف انرژی و انتشار CO2 کمک می‌کند.

۲-۳ شهرهای هوشمند آسیا و اقیانوسیه

۲-۳-۱ سئول، کره جنوبی

سئول یک شهر در حال رشد جهانی است که دارای پنج میراث جهانی یونسکو و همچنین مراکز خرید بیشمار و جاذبه‌های فرهنگی است که گردشگران بین‌المللی زیادی را به خود جلب می‌کند. یکی از مشکلات این شهر جمع‌آوری مکرر زباله و سرریز شدن زباله‌های شهری بود. به دلیل اینکه برنامه‌ریزان جمع‌آوری زباله نمی‌دانند که سطل زباله چقدر پر هستند یا چقدر سریع پر می‌شود، جمع‌آوری‌کننده‌های زباله‌های سئول دائماً با بطری‌های پلاستیکی و لیوان‌های کاغذی که در سطل‌ها انباشته بودند، مواجه می‌شدند. باهدف اصلی بهبود منظره شهری و کاهش هزینه‌های جمع‌آوری زباله، شهرداری سئول در سال ۲۰۱۴ تصمیم گرفت ۸۵ سطل زباله هوشمند را برای زباله‌های عمومی و بازیافتی مخصوصاً در مناطق شلوغ مرکز شهر نصب کند. تنها با گذشت سه ماه از استفاده از راه‌حل‌های آزمایشگاه‌های

Ecube، این شهر توانست پیشرفت‌های چشمگیری در بهداشت عمومی داشته باشد. از زمان نصب سطل‌های زباله هوشمند، سرریزی زباله‌ها از بین رفته و کاهش قابل توجهی در زباله‌های خیابانی دیده می‌شود. از طریق اطلاعات وضعیت و میزان پر شدن سطل‌های زباله، تیم جمع‌آوری زباله قادر به مدیریت زمان‌بندی کارآمد جمع‌آوری زباله‌های و نیز جمع‌آوری سطل‌های بازیافت قبل از اشباع و انباشته شدن بطری‌ها و لیوان‌ها در سطل‌ها شده است. راه‌حل آزمایشگاه Ecube در مدیریت هوشمند زباله‌ها موجب شده است که شهر هم برای ساکنان و هم برای گردشگران تمیزتر و دل‌پذیرتر باشد [۲۳].

۲-۳-۲ هوشی‌مین، ویتنام

در سال ۲۰۱۵، طبق اعلام اداره حمل‌ونقل این شهر، کلان‌شهر جنوبی ویتنام بیش از ۷.۵ میلیون وسیله نقلیه داشت که تقریباً نسبت به سال گذشته ۷٪ افزایش داشته است، درحالی‌که در همان زمان، حمل‌ونقل عمومی فقط ۵٪ کل ترافیک را به خود اختصاص می‌داد. ترافیک هرساله ۸۲۰ میلیون دلار برای هوشی‌مین هزینه ایجاد می‌کرد. همچنین یک مطالعه جدید نشان می‌دهد که بدون اجرای راه‌حل‌های حمل‌ونقل هوشمند تا سال ۲۰۴۵ ترافیک حدود ۹۷ میلیارد دلار برای شهر هزینه خواهد داشت. در سال ۲۰۱۵، بانک جهانی پروژه توسعه حمل‌ونقل سبز شهر هوشی‌مین را تصویب کرد. قدم اول برای تبدیل شدن به یک شهر هوشمند ایجاد زیرساخت‌های الکترونیکی برای بهبود مدیریت عمومی است و گام بعدی ایجاد زیرساخت حمل‌ونقل می‌باشد. به همان اندازه که یک شهر هوشمند می‌تواند گردشگری هوشمند را ایجاد کرده و آن را حفظ کند، گردشگری هوشمند نیز از قدرت زیادی برای توسعه شهرهای هوشمندتر برخوردار است. بر اساس توسعه گردشگری هوشمند، برای تبدیل شدن ویتنام به یک مقصد گردشگری، شهرهای بزرگ در ویتنام فناوری‌های مختلف دیجیتال را به کار گرفته‌اند. شهر هوشی‌مین به‌طور گسترده از کاربردهای فناوری در صنعت گردشگری استفاده می‌کند. این شهر فعالیت برخی از ایستگاه‌های اطلاعات گردشگری هوشمند و نرم‌افزارهای مسافرتی هوشمند مانند "اتوبوس سای گون"، "راهنمای سفر هوشی‌مین" و "راهنما و نقشه شهر هوشی‌مین" را آغاز کرده است [۲۴].

۲-۳-۳ اوکلند، نیوزلند

شهر هوشمند اوکلند هزینه‌های زیادی برای ایجاد یک انجمن نوآوری در این شهر کرده است، ازجمله ایجاد قطب نوآوری GridAKL، برای ارائه خدمات به مبتدیان و کارآفرینان. تقریباً نیمی از شرکت‌های ICT در نیوزلند در اوکلند واقع شده‌اند که بیشتر آن‌ها بر روی پروژه‌های مربوط به شهر هوشمند در حال فعالیت می‌باشند. بودجه GridAKL توسط سازمان جهانگردی، رویدادها و توسعه اقتصادی اوکلند تأمین شده است. انجمن‌های نوآوری، مانند فضاهای همکاری، شبکه‌های راه‌اندازی و پارک‌های تجاری و ... می‌توانند به ایجاد یک محیط خلاق کمک کنند و این نیز به‌نوبه خود می‌تواند به توسعه شهر هوشمند کمک کند [۲۵].

۲-۳-۴ شهر Woven، ژاپن

تویوتا قصد دارد شهری هوشمند به مساحت ۷۰ هکتار در دامنه کوه فوجی ژاپن بسازد که از فناوری‌های مختلفی مانند پیل سوختی هیدروژن، خودرو خودران، رباتیک، هوش مصنوعی و خانه‌ی هوشمند بهره خواهد برد. این شهر وون (Woven) نام دارد و این شهر یک آزمایشگاه زنده است که محققان در آن زندگی خواهند کرد و بر روی پروژه‌های مختلفی ازجمله فناوری خودرو خودران، حمل‌ونقل شخصی، خانه‌ی هوشمند و همچنین رباتیک و هوش مصنوعی تحقیق خواهند کرد. طراحی این شهر به‌گونه‌ای خواهد بود که با محیط‌زیست سازگار باشد. ساختمان‌ها مجهز به

پنل‌های خورشیدی خواهند بود تا آن‌ها نیز برق تولید کرده و به نیروی برق تولیدشده توسط پنل‌های سوختی هیدروژن کمک کنند.

در شهر هوشمند توپوتا سه نوع خیابان مختلف طراحی می‌شود که هر یک برای سرعت حمل‌ونقل متفاوتی است. یکی از آن‌ها مخصوص خودروهای سریع‌تر می‌باشد. نوع دوم یک تفرجگاه تفریحی خواهد بود و مخصوص حرکت عابران پیاده و وسایل نقلیه آهسته مانند دوچرخه، اسکوتر و I-Walk توپوتا است. نوع سوم فقط به عابران پیاده اختصاص داده شده است و به عنوان یک پارک طراحی می‌شود که دارای گیاهان و جانوران می‌باشد. این شهر فقط به وسایل نقلیه‌ای اجازه تردد در قسمت‌های اصلی شهر را می‌دهد که میزان انتشار کربن صفر داشته باشند و کاملاً خودران باشند، مانند Toyota e-Palette. از وسایل نقلیه الکترونیکی بدون راننده و چندمنظوره e-Palette برای خدمات حمل‌ونقل عمومی استفاده می‌شود.

ساختمان‌های توسعه شهری بیشتر از چوب و با استفاده از ترکیبی از چوب سنتی ژاپنی برای قسمت‌های مختلف ساختمان و ماژول تاتامی برای کف ساختمان و با روش‌های ساخت رباتیک ساخته می‌شوند. این ساختمان‌ها برای اقامت ساکنین، فروشندگان و افراد شاغل از چوب که کربن را جذب می‌کند ساخته خواهد شد و بر روی سقف‌ها پنل‌هایی برای تولید انرژی خورشیدی نصب می‌شوند. خانه‌های هوشمند در شهر مجهز به روبات‌های داخل خانه خواهد بود تا به انسان‌ها در فعالیت‌های روزانه خانواده کمک کنند. ساکنین خانه با استفاده از فناوری هوش مصنوعی هم سلامت خود را مانیتور می‌کنند و هم کارهایی مانند تحویل مواد غذایی، دفع زباله و رسیدگی به لباس‌های کثیف را به صورت خودکار انجام می‌دهند. فضاهای تحقیق و توسعه کمپانی توپوتا شامل آزمایشگاه‌هایی است که بر روی موضوعاتی مانند چاپ سه بعدی، ساخت و تحرک رباتیک متمرکز شده‌اند [۲۶].

۲-۳-۵ شهر نئوم، عربستان سعودی

عربستان سعودی مدتی است که در حال توسعه یک پروژه شهری به نام نئوم (Neom) است. این شهر قرار است در نزدیکی سواحل دریای سرخ، در شمال غربی استان تبوک، بنا شود. این شهر مساحتی حدود ۱۶ هزار کیلومترمربع را در برمی‌گیرد و هزینه احداث آن حداقل ۵۰۰ میلیارد دلار برآورد شده است که بخشی از آن توسط سرمایه‌گذاری عمومی در داخل عربستان و بخشی توسط سرمایه‌گذاران خارجی تأمین خواهد شد. این پروژه یک پروژه عظیم در جامعه سعودی است که بر اساس آن این کشور از وابستگی به درآمد نفتی رها شده و آن را به یک قطب فناوری و گردشگری تبدیل می‌کند. از سال ۲۰۱۷ سه موسسه مشاوره بزرگ دنیا، McKinsey & Co و Boston Consulting و Oliver Wyman در تکمیل این پروژه همکاری می‌کنند. در ژانویه ۲۰۱۹ نیز یک شرکت به نام نئوم برای مدیریت امور مربوط به ساخت این شهر تأسیس شد [۲۷].

برای افزایش میزان بارش‌ها در نئوم، قرار است از ابرهای مصنوعی استفاده شود تا بتواند میزان بارش‌ها را نسبت به میزان طبیعی آن‌ها در صحرای عربستان افزایش دهد. همچنین قرار است از سیستم آموزشی جدیدی استفاده کند و در کلاس‌های درس آن از تصاویر هلوگرافیک معلمان استفاده شود. کمپانی نئوم در حال توسعه بستری مناسب است تا بتوان از تاکسی‌های پرنده در این شهر استفاده کند.

NEOM بر اساس پنج اصل پایه و به هم پیوسته ساخته می‌شود:

- پایداری
- ارتباط

- تکنولوژی
- طبیعت
- زیست‌پذیری

در حوزه‌های مختلف پروژه‌های متعددی برای این شهر تعریف شده است که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- انرژی
 - نئوم قصد دارد صنعتی احداث کند و با استفاده از انرژی باد و آب تمام انرژی موردنیاز نئوم را تأمین کند.
- آب
 - استفاده از جدیدترین تکنولوژی تصفیه آب دریا و فاضلاب
 - استفاده از شبکه اینترنت آب برای به حداقل رساندن اتلاف آب
- غذا
 - اصلاح صنعت تولید غذا به نحوی که برای محیط‌زیست بی‌ضرر باشد
- سلامت
 - استفاده از شبکه متخصصین جهانی و مراکز مجهز برای ارائه جدیدترین روش‌های درمانی دنیا
 - تخصیص زیرساخت‌های لازم و هوش مصنوعی و ژنتیک و تکنولوژی‌های هوشمند برای ارزیابی بی‌درنگ سلامت ساکنین
- تکنولوژی
 - استفاده از تکنولوژی برای کم کردن فاصله میان انسان و ماشین
 - آزمایشگاه‌های بدیع و خلاق برای تولید دانش موردنیاز در آینده تکنولوژی

۲-۳-۶-۲ مصدر، امارات

شهر مصدر، شهری است که از ابتدا بر اساس ایده شهری سبز و بدون کربن بنا شده است ولی هنوز شهروندی در شهر مصدر ساکن نشده است. بنا بر طرح مطرح‌شده، این شهر تماماً بر اساس انرژی‌های تجدیدپذیر کار می‌کند و هیچ زباله ضایعاتی و آلودگی محیط زیستی تولید نمی‌کند و از این نظر یک معیار جهانی خواهد بود. این شهر در ابوظبی، امارات بنا شده است [۲۸].

یکی از قوانینی که برای بدون کربن نگه‌داشتن شهر مطرح‌شده است، این است که هیچ ماشین غیر الکترونیکی اجازه نزدیک شدن به شعاع ۳ کیلومتری شهر را ندارد. یکی از راهکارهای ارائه‌شده برای تأمین انرژی شهر راه‌اندازی مزارع خورشیدی است. این شهر در مقایسه با شهری با همین مساحت و با استانداردهای معمول به‌اندازه یک‌پنجم آن انرژی مصرف می‌کند. به گفته طراحان، مصدر می‌تواند تا ۴۰ هزار سکنه داشته باشد و روزانه ۵۰ هزار نفر به شهر سفر کنند.

در ابتدا قرار بود که این شهر تا سال ۲۰۱۶ تکمیل گردد؛ اما مشکلاتی در ساخت آن پیش آمد و مسئولان افتتاح آن را تا سال ۲۰۳۰ به تعویق انداخته‌اند. علی‌رغم مشکلات و موانعی که در ساخت این پروژه قرار گرفته است، بازهم سرمایه‌گذاران و شرکت‌های بزرگی به ادامه پروژه پایبند مانده‌اند. به‌طور مثال شرکت زیمنس دفتر مرکزی خاورمیانه خود را در شهر بنا کرده است. همچنین MIT نیز به تأسیس موسسه علوم و فناوری کمک کرده است. در این شهر جابه‌جایی افراد با استفاده از اتومبیل‌های برقی خودران انجام می‌شود که مجهز به تکنولوژی‌های مقاوم در برابر نور

آفتاب است. برای مقابله با گرمای زیاد هوای این منطقه، بادگیری ۴۵ متری با روکش تفلون قرار گرفته تا به صورت کانالی نسیم‌های خنک را به خیابان سایه‌دار اطراف برساند. از راهکارهای دیگر صرفه‌جویی در انرژی ایده استفاده از نور طبیعی در ساختمان‌هاست. در این صورت نیاز به وجود چراغ‌های سقفی کم می‌شود. همچنین بر روی بام‌ها از آبگرم‌کن‌ها خورشیدی استفاده می‌شود.

۲-۳-۷ سانگدو، کره جنوبی

این شهر در جهت گسترش جوامع شهرنشینی، در نزدیکی فرودگاه بین‌المللی اینچئون، پر رفت‌وآمدترین فرودگاه در کره جنوبی ساخته شده است. در حال حاضر جمعیت ساکن سانگدو حدود ۴۰ هزار نفر است. البته با تکمیل طرح این شهر در آینده، افراد بیشتری در آن ساکن خواهند شد [۲۹]. اهمیت زیادی به فضای سبز در این شهر داده شده است تا جایی که حدود ۴۰ درصد از کل فضای شهری به فضای سبز اختصاص داده شده است. در زیرساخت‌ها و فناوری‌های این شهر از به‌روزترین فناوری‌های پایدار استفاده شده است. در سانگدو ده‌ها ساختمان مبتنی بر طراحی بهینه زیست‌محیطی و انرژی سبز وجود دارد. سیستم جمع‌آوری زباله از خانه‌ها به مرکز جمع‌آوری، توسط لوله‌های مخصوصی انجام می‌شود. سپس مواد موجود در آن‌ها به صورت خودکار دسته‌بندی شده و بازیافت می‌شوند. از جمله برنامه آینده سانگدو تبدیل زباله‌ها به انرژی تجدید پذیر است. به منظور تشخیص شرایط ترافیکی شهر هم از سنسورها و هم از اطلاعات شهروندان استفاده می‌شود. سنسورهایی در زیر خیابان‌ها تعبیه شده تا مکان‌های پرتراфик را شناسایی کنند و سیگنال‌های مربوطه را ارسال کنند. اتومبیل‌ها نیز می‌توانند با تگ شناسایی رادیویی خود مشکلات ترافیکی را گزارش کنند.

۲-۴-۱ شهرهای هوشمند آمریکا

۲-۴-۱ نیویورک، آمریکا

شهر نیویورک با بیش از ۸ میلیون جمعیت در سواحل شرقی آمریکا واقع شده است که به دلیل آسمان‌خراش‌های خیره‌کننده، بناهای توریستی و پارک مرکزی بزرگی که دارد مشهور شده است. تمرکز اصلی این شهر در حوزه هوشمندسازی در زمینه استانداردهای داده‌ای دقیق و پیشگام بودن در پایداری هوشمند است. در کنار این موضوعات، این شهر در راستای دستیابی به عدالت و برابری شهری و زندگی راحت‌تر شهروندان، طرح‌های متنوعی در جهت کاربرد فناوری‌های جدید در ساخت‌وسازهای هوشمند تدوین و اجرا کرده است که در ادامه بیان شده‌اند [۳۰].

- چشم‌انداز جامع حمل‌ونقل آینده: PlaNYC 2030، ابتکاری است که توسط شهردار سابق نیویورک (مایکل بلومبرگ)^۱ برای ارتقاء پایداری ایجاد شد. این طرح راه‌حلی را برای توسعه حمل‌ونقل از طریق فناوری‌های هوشمند و مقابله با چالش‌های مربوط به افزایش جمعیت و فرسودگی زیرساخت‌ها در نیویورک ارائه می‌دهد. هدف اصلی این طرح فراهم کردن امکان رسیدن ۹۰ درصد از شهروندان به ۲۰۰ هزار محل کار در زمانی کمتر از ۴۵ دقیقه است.

- داده‌های شهروندان: شهر نیویورک طیف وسیعی از ابتکارات را در مورد استفاده و بهره‌برداری مسئولانه از داده‌های شهروندان ارائه داده است. به عنوان مثال، دولت مجموعه‌ای از دستورالعمل‌های اینترنت اشیا (IoT) را

¹ Michael Bloomberg

تدوین کرده است که معیارهای حفظ حریم خصوصی را برای استقرار دستگاه‌ها و تجهیزات IoT در فضاهای عمومی تعیین می‌کند. این شهر همچنین اخیراً قوانینی را وضع کرده است که ایجاد کارگروه برای نظارت بر نحوه استفاده بخش عمومی از سیستم‌های تصمیم‌گیری الگوریتمی را الزام کرده است.

- شهر WiFi:

- انتقال بی‌سیم WiFi رایگان: کاربران شبکه حمل‌ونقل عمومی نیویورک نه تنها به WiFi عمومی رایگان، بلکه به خدمات شبکه تلفن همراه (برای چهار شرکت اصلی اپراتور بی‌سیم ایالات متحده یعنی AT&T، Sprint، T-Mobile و Verizon) از طریق باند ایمنی عمومی دسترسی دارند. WiFi عمومی رایگان در تمام ۲۷۷ ایستگاه مترو زیرزمینی شهری هم وجود دارد.

- WiFi فضاهای عمومی: شبکه‌ای از کیوسک‌های WiFi عمومی در خیابان‌های شهر وجود دارد که ایستگاه‌های شارژ و پورتال‌های اطلاعاتی را هم شامل می‌شوند.

- نورپردازی هوشمند در محیط‌های داخلی: دولت NYC برنامه شتاب‌دهنده حفاظت و کارایی (ACE¹) را در سال ۲۰۱۳ باهدف پایداری بیشتر روشنایی ساختمان‌ها اجرا کرد. برای این برنامه در بیش از ۶۵۰ ساختمان متعلق به ۱۶ آژانس شهری، سیستم هوشمند روشنایی به همراه لامپ‌های LED نصب شده است و ۳۵۰ میلیون دلار بودجه هزینه شده است. تخمین زده شده است که از طریق این برنامه سالانه بیش از ۸۰۰ هزار دلار در هزینه برق صرفه‌جویی می‌شود و انتشار گازهای گلخانه‌ای حدود ۹۰۰ تن کاهش می‌یابد.

- پایش کیفیت هوا: بخش بهداشت سلامت و روان شهر نیویورک از سال ۲۰۰۸ بررسی‌هایی را در زمینه کیفیت هوا انجام داده است. این بخش ۷۵ ایستگاه نظارت موقت را به مدت دو هفته و به‌صورت هم‌زمان در سطح شهر نصب کرده و دارای ۸ ایستگاه نظارت دائمی هوا است که داده‌های مرتبط را در فواصل ۱۵ دقیقه گزارش می‌کنند. این برنامه داده‌های مهمی را جمع‌آوری می‌کند که به دولت اجازه می‌دهد اقدامات مربوط به بهبود کیفیت هوا را تدوین و پیاده‌سازی کند. به‌عنوان مثال، این برنامه مشخص کرد که سوخت روغنی ارزان‌قیمتی که در تعداد کمی از ساختمان‌های شهر نیویورک برای گرمایش استفاده می‌شود، آلودگی بیشتر از وسایل نقلیه موجود در شهر تولید می‌کنند. در نتیجه، قانون منع استفاده از این سوخت‌ها تدوین و صادر شد.

۲-۴-۲ سان‌فرانسیسکو، آمریکا

سان‌فرانسیسکو یکی از برجسته‌ترین شهرهای هوشمند ایالات متحده است. این شهر در سواحل غربی آمریکا در کالیفرنیا شمالی واقع شده است و بیش از ۸۷۰ هزار جمعیت را در خود جای داده است. تمرکز اصلی این شهر در حوزه هوشمندسازی در زمینه مشارکت مدنی (شهری)، اینترنت اشیاء و ایجاد اکوسیستم استارت‌آپی قوی است که برخی از این پروژه‌ها در ادامه ذکر شده‌اند [۳۰]:

- داده باز: سان‌فرانسیسکو برای کمک به مقامات شهرداری در ارزیابی سود و ارزش انتشار مجموعه داده در برابر خطرات شناسایی مجدد داده‌ها، یک ابزار انتشار اطلاعات آزاد داده ایجاد کرده است. این ابزار تعدادی از

¹ Accelerated Conservation and Efficiency

فرآیندهای واضح و عملی را برای به حداقل رساندن خطرات فراهم می‌کند و به کاربران اجازه می‌دهد تا داده‌ها را به روشی مسئولانه‌تر و با حفظ حریم خصوصی استفاده و نشر دهند.

- اکوسیستم استارت‌آپی: سان‌فرانسیسکو یکی از شهرهایی است که اکوسیستم کارآفرینی قدرتمندی دارد. بسیاری از مشهورترین استارت‌آپ‌های فناوری جهان مانند Dropbox, Lyft, Uber, Craigslist, Airbnb و Twitter در این شهر شکل گرفته و فعالیت می‌کنند. اکوسیستم استارت‌آپی سان‌فرانسیسکو در زمینه ابداعات شهری توسط شهرداری این شهر پشتیبانی می‌شود که در سال ۲۰۱۲ توسط شهردار Edwin M. Lee راه‌اندازی شد و امروزه استعدادهای بسیاری را از سراسر جهان به خود جذب می‌کند. اگرچه به همین دلیل هزینه‌ها در منطقه رو به افزایش است، اما همچنان این شهر به‌عنوان یک مرکز مهم شهری برای نوآوری در فناوری شناخته می‌شود.

- توسعه شهری پایدار: سان‌فرانسیسکو سال‌ها در پایداری و توسعه شهر هوشمند پیشرو بوده است. حضور مداوم در رتبه‌های بالا در رده‌بندی شهرهای سبز آمریکا بیانگر این موضوع است (در سال ۲۰۱۸ مقام دوم را داشته است).

- مناطق زیست‌محیطی: در سال ۲۰۱۲، دپارتمان برنامه‌ریزی سان‌فرانسیسکو برنامه‌هایی را برای چهار نوع مختلف "مناطق زیست‌محیطی" در سطح شهر ایجاد کرده است که به‌منظور کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و کاهش تلفات، مصرف آب و مصرف انرژی طراحی شده‌اند.

- ساختمان‌ها: در این شهر بیش از ۳۰۰ خانه وجود دارند که دارای گواهینامه LEED¹ هستند. LEED گواهینامه‌ای است که برای خانه‌های سبز داده می‌شود و دارای درجه و کیفیت مختلفی است. این گواهینامه طراحی و نوع مصالح به‌کاررفته در ساخت یک ساختمان یا مجموعه را به همراه استراتژی‌های بهبود عملکرد با توجه به معیارها و استانداردهای مهم مانند ذخیره انرژی، بهره‌وری مناسب از آب، کاهش انتشار دی‌اکسید کربن، بالا بردن کیفیت محیط‌های داخلی و نظارت بر میزان مصرف، به‌منظور تعیین سطح ساختمان‌ها و اعطای گواهینامه به آن‌ها در نظر می‌گیرد.

- تلفات و پسماند: سان‌فرانسیسکو در تلاش است تا سال ۲۰۲۰ تبدیل به شهری بدون هدررفت انرژی و پسماند باشد. تا سال ۲۰۱۷، هم بخش زیادی از این مسیر را طی کرده و هدررفت را ۷۸ درصد کاهش داده است. در سال ۲۰۰۷، سان‌فرانسیسکو اولین شهر آمریکا بود که استفاده از کیسه‌های پلاستیکی را ممنوع کرد؛ و همه مغازه‌ها، رستوران‌ها، مجتمع‌ها و خانه‌های مسکونی را ملزم به تعبیه سطل‌های تفکیک زباله کرد. از سال ۲۰۰۹، سان‌فرانسیسکو همچنین یکی از بزرگ‌ترین برنامه‌های مدیریت ضایعات مواد غذایی شهری و تبدیل آن به کود در آمریکا را رهبری کرده است. در نتیجه از دهه ۱۹۹۰ میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ۱۲٪ کاهش یافته است.

- آب: سان‌فرانسیسکو سال‌هاست که روی کاهش میزان آب مصرفی کار می‌کند. در نتیجه، مصرف آب در این شهر در مقایسه با میانگین ملی که ۸۰ تا ۱۰۰ گالن است به‌طور متوسط به ۴۹ گالن آب در

¹Leadership in Energy and Environmental Design

روز کاهش یافته است. یکی از دلایل این امر، علاوه بر وفاداری شخصی ساکنان به صرفه‌جویی در مصرف آب، دستگاه‌های کاهش مصرف آب مانند سر دوش حمام با راندمان بالا است که شهرداری به ساکنان و مشاغل ارائه می‌دهد.

• حمل‌ونقل هوشمند

○ اولویت دادن به نوآوری‌ها در زمینه حمل‌ونقل هوشمند: آژانس حمل‌ونقل شهری سان‌فرانسیسکو (SFMTA¹) در تلاش است ضمن بهبود حمل‌ونقل، آن را با محیط‌زیست سازگارتر کند و به هدف حمل‌ونقل صفر کربن برسد. در سال ۲۰۱۶، این شهر ۱۱ میلیون دلار بودجه از وزارت حمل‌ونقل آمریکا برای شش پروژه ابتکاری باهدف کاهش ازدحام (تراکم) ترافیک و ایجاد یک سیستم حمل‌ونقل ایمن‌تر و کارآمدتر دریافت کرد.

○ خودروهای دوستدار محیط‌زیست: بیش از نیمی از اتوبوس‌های عمومی و قطارهای سبک شهری سان‌فرانسیسکو هیچ آلودگی تولید نمی‌کنند و مابقی آن‌ها تا سال ۲۰۲۰ به دیزل ترکیبی منتقل می‌شوند. مطابق قوانینی که در سال ۱۹۹۹ توسط قانون هوای سالم و پیشگیری از دود در شهر تنظیم شده است، بیش از ۷۰۰ خودروهای دوستدار محیط‌زیست در این شهر ارائه شده‌اند که از گاز طبیعی فشرده، ترکیبی و منبع انرژی الکتریکی برای کارکرد خود استفاده می‌کنند.

۲-۴-۳ سیاتل، آمریکا

سیاتل با بیش از ۷۲۵ هزار جمعیت، بزرگ‌ترین شهر ایالت واشنگتن در آمریکا محسوب می‌شود. تمرکز اصلی هوشمندی این شهر مربوط به حوزه‌های حریم خصوصی داده و ساختمان‌های پایدار است. در ادامه برخی از پروژه‌های شهر هوشمند سیاتل مطرح شده‌اند [۳۰].

• شبکه Metrolab: این شبکه در سال ۲۰۱۵ به‌عنوان بخشی از ابتکارات شهرهای هوشمند کاخ سفید راه-اندازی شد. این شبکه مشارکت دانشگاه و شهر را با هدف ایجاد "آزمایشگاه‌های زنده" برای آزمایش راه‌حل‌های فناورانه در سراسر کشور تسهیل می‌کند. دانشگاه واشنگتن و شهر سیاتل در سال ۲۰۱۵ به این شبکه پیوستند.

• برنامه جامع حریم خصوصی شهری: چارچوبی مبتنی بر مجموعه اصول و سیاست‌های حفظ حریم خصوصی که تعهدات و الزامات ارگان‌های شهری را در مورد مدیریت و استفاده از داده‌ها تعیین می‌کند و "مدافعان حریم خصوصی" را برای پشتیبانی از اجرای آن‌ها منصوب و تعیین می‌کند.

• قطب استارت آپ: سیاتل یکی از مهم‌ترین قطب‌های استارت‌آپ آمریکای شمالی است. این امر به این دلیل است که این شهر، تنها شهر آمریکای شمالی با بیش از ۱۰۰۰ مجموعه داده باز است. بااینکه این یک اقدام در راستای شفاف‌سازی محسوب می‌شود، اما از رشد استارت‌آپ‌ها، بخصوص آن‌هایی که برنامه‌ها و فناوری‌هایی را در جهت بهبود حمل‌ونقل و کیفیت زندگی در شهر ایجاد می‌کنند، پشتیبانی می‌کند.

¹ San Francisco Municipal Transportation Agency

۲-۴-۴ بوستون، آمریکا

بوستون پایتخت ایالت ماساچوست و بزرگ‌ترین شهر آن است. این شهر یکی از قدیمی‌ترین شهرهای آمریکا محسوب می‌شود که در سال ۱۶۳۰ پدید آمده است و به دلیل ارتباط با انقلاب آمریکا و دانشگاه‌های عالی‌رتبه خود مشهور شده است. این شهر بالغ بر ۷۰۰ هزار جمعیت را در خود جای داده است و تمرکز اصلی آن در حوزه هوشمندسازی در زمینه سلامت عمومی و خدمات اجتماعی است که برخی از این پروژه‌ها در ادامه ذکر شده‌اند [۳۰]:

- پیشگام در شهر هوشمند: بوستون یکی از اولین شهرهایی بود که در سال ۲۰۱۰ اجرای ابتکارات هوشمندانه را به صورت آزمایشی آغاز کرد و یک "طرح جامع هوشمند" ارائه کرد. بر اساس تصمیم و هدایت شهردار وقت بوستون، چشم‌انداز شهر، میزبانی از ایده‌های نوآورانه بود.
- منطقه نوآوری: بندر بوستون در سال ۲۰۱۲ به عنوان منطقه اصلی نوآوری در بوستون شناخته شد. سپس، بوستون به نخستین شهر رسمی آمریکا تبدیل شد که در بین ۸۰ شهر دیگر در سراسر جهان دارای منطقه نوآوری بود. حدود ۴۰۰ هکتار مجتمع اسکله‌ای که در بندر بوستون ایجاد شد، منجر به ایجاد بیش از ۵۰۰ شغل و ۲۰۰ شرکت جدید شد.
- مشارکت اجتماعی: مشارکت اجتماعی در توسعه هوشمند یکی از ستون‌های اصلی "طرح جامع هوشمند" بوستون است. یکی از راه‌های انجام این کار از طریق صفحه "ویترین برنامه" است که بخشی از وبسایت رسمی شهر بوستون که اطلاعاتی در مورد برنامه‌هایی که ساکنان شهر می‌توانند برای شرکت در مدیریت شهر استفاده کنند، می‌دهد. به عنوان مثال، برنامه flagship به شهروندان اجازه می‌دهد مشکلات خدماتی مانند چاله‌ها و نقاشی‌های دیواری را گزارش دهند. از دیگر برنامه‌ها می‌توان به دریافت اطلاعات پارکینگ‌های عمومی، وضعیت ترافیکی خیابان‌ها و ردیابی اتوبوس مدرسه کودکان اشاره کرد.
- دولت هوشمند: از طریق برنامه‌های اجتماعی متعدد از جمله Street Bump و Citizens Connect، شهرداری بوستون قادر به جمع‌آوری داده‌ها از تلفن‌های هوشمند شهروندان و بهبود عملکرد و خدمات عمومی شهر بر اساس آن‌ها است. هم‌اکنون بیش از ۱۵۰ تراکنش مرتبط با امور شهری (مانند ترافیک، جای پارک، اعلام چاله در خیابان و ...) به طور کامل به صورت آنلاین انجام می‌شوند.
- حمل و نقل هوشمند

○ مقابله با نابرابری حمل و نقل عمومی از طریق فناوری‌های هوشمند: کمپین Go Boston 2030 شهر بوستون یک برنامه عملیاتی چندجانبه برای رفع نابرابری حمل و نقل عمومی از طریق Mobility microHUBهای مجاور هم است. microHUBها کیوسک‌های دیجیتالی هستند که با قرارگیری در اطراف ایستگاه‌های قطار (مترو)، اتوبوس و معابر پرتردد مانند مراکز اجتماعات و مناطق تجاری بزرگ و کوچک، برای ارائه و شناسایی طیف وسیعی از گزینه‌های موجود برای رسیدن به مقصد مورد نظر از طریق حمل و نقل عمومی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این HUBها در سطح شهر قرار

¹ App Showcase

دارند و داده‌های لحظه‌ای را برای کمک به مردم جهت تصمیم‌گیری‌های آگاهانه به‌منظور استفاده از حمل‌ونقل عمومی فراهم می‌کنند، مردم را برای استفاده از گزینه‌های کارآمدتر حمل‌ونقل عمومی مانند اتوبوس، مترو، دوچرخه‌ها و خودروهای اشتراکی (مشارکتی) و موارد دیگر ترغیب می‌کنند.

○ مدیریت هوشمند ترافیک: چراغ‌های راهنمایی و رانندگی پویا در نواحی پرازدحام و تراکم بالا برای کاهش تأخیر از طریق پاسخگویی هوشمندانه چراغ‌ها به جریان ترافیک معرفی و پیاده‌سازی شده‌اند. مرکز مدیریت ترافیک با همکاری Waze داده‌های لحظه‌ای خود را تکمیل‌تر می‌کند تا بهتر به شرایط لحظه‌ای پاسخ دهد. microHUBs هم به سنسورهای هوشمند مجهز شده‌اند تا به بهبود بهره‌وری حمل‌ونقل کمک کنند.

۲-۴-۵ مونترال، کانادا

این شهر در شرق کانادا و در جنوب غرب استان کبک واقع شده است و پس از تورنتو دومین شهر بزرگ کشور کانادا محسوب می‌شود. این شهر در حدود ۱ میلیون و ۷۸۰ هزار جمعیت را در خود جای داده است. مونترال قبل از شروع پروژه شهر هوشمند خود، تحلیل مقایسه‌ای بین شهرهای هوشمند دیگر در سراسر جهان انجام داد تا بهترین شیوه‌ها را در شهرهای هوشمند شناسایی کند. پس از این مطالعه، کمیته مسئول این تحلیل، شش حوزه اصلی را مشخص کرد که چارچوب استراتژیک برای پروژه هوشمند شهر مونترال را شکل دادند که حمل‌ونقل شهری، خدمات مستقیم به شهروندان، محیط زندگی، دموکراسی، توسعه پایدار و توسعه اقتصادی را شامل می‌شوند. بر همین اساس برنامه عملیاتی شهر هوشمند و دیجیتال مونترال برای سال‌های ۲۰۱۵-۲۰۱۷ تهیه شد که موارد زیر را در برمی‌گیرد [۳۱]:

• توسعه زیرساخت‌های مخابراتی با سرعت بسیار بالای چند خدمتی

○ فراهم کردن دسترسی به WiFi عمومی رایگان در سراسر مونترال

○ ترویج دسترسی مناطق مسکونی و تجاری به خدمات پرسرعت مخابراتی و اینترنتی

○ دخیل کردن سیستم‌های ارتباطی و مخابراتی در برنامه‌ریزی شهری

• انتشار، تحلیل و استفاده از داده‌های باز اولویت‌دار

○ استفاده از داده‌های شهرداری و توسعه برنامه‌هایی برای آسان‌تر کردن زندگی شهروندان (مانند برنامه MTL InfoSnow)

○ ترویج توسعه روابط متقابل بین داده‌های باز بخش‌ها، ناحیه‌ها و مناطق شهری مختلف و متعدد

• ایجاد یک معماری فناوری باز و تعامل‌پذیر

○ تعریف یک معماری فناوری که تفکیک‌ناپذیری سیستمی و گردش داده‌ای را تسهیل کند.

○ استفاده از برنامه‌های سرمایه‌گذاری برای ارتقاء زیرساخت‌های فناوری اطلاعات و اشتراک‌گذاری مؤثر داده‌ها در سطح شهر

- توسعه راه‌حل‌ها در مسائل شهری با همکاری افراد جامعه
 - تجهیز مشاغل، مؤسسات دولتی، دانشگاه‌ها و شهروندان برای یافتن و آزمایش راه‌حل‌هایی برای مشکلات روزمره
- بهینه‌سازی جابجایی مردم از طریق داده‌های لحظه‌ای (زمان واقعی)
 - جمع‌آوری، پردازش و توزیع داده‌ها و اطلاعات جابجایی در زمان واقعی به‌منظور بهبود جریان انواع حمل‌ونقل‌های عمومی؛ و ارائه آن‌ها به شهروندان به‌منظور برنامه‌ریزی بهتر برای سفرها و جابجایی‌ها

۲-۴-۶ ونکوور، کانادا

ونکوور یک شهر ساحلی و بندری مهم در کانادا محسوب می‌شود که در استان بریتیش کلمبیا واقع شده است. ونکوور در حدود ۲ میلیون و ۵۸۱ هزار جمعیت را در خود جای داده است که بر اساس این آمار سومین کلان‌شهر کانادا از لحاظ جمعیت محسوب می‌شود؛ و تمرکز اصلی آن در حوزه هوشمندسازی در زمینه شهر سبز (انرژی‌های پاک)، پایداری شهری، خدمات اجتماعی و اینترنت پرسرعت است که برخی از این پروژه‌ها در ادامه ذکر شده‌اند [۳۲]:

- پایداری شهری: یکی از بلند پروازانه‌ترین اقدامات در راستای تغییرات آب و هوایی در مقیاس شهری متعلق به شهر ونکوور است. در سال ۲۰۱۱ این شهر اعلام کرد که از طریق معرفی و اجرای برنامه عملیاتی سبزترین شهر (GCAP¹) قصد دارد در سال ۲۰۲۰ به سبزترین شهر جهان تبدیل شود. استفاده از انرژی‌های پاک و تجدید پذیر یکی از مهم‌ترین اولویت‌های این طرح می‌باشد. علاوه بر GCAP، اقدامات و برنامه‌های بسیاری در زمینه رسیدن به هدف مذکور، در این شهر طراحی و در حال اجرا می‌باشند که در ادامه به برخی از مهم‌ترین آن‌ها اشاره شده است:

- عملیات تغییر آب و هوایی اضطراری: شورای شهر در سال ۲۰۱۹ شرایط اضطراری آب و هوایی را اعلام کرد، زیرا شاهد تأثیرات فزاینده تغییرات آب‌وهوا و مخاطرات مرتبط با آن بود.
- ساختمان‌هایی با آلودگی صفر: این برنامه در تلاش است تا سال ۲۰۳۰ ساختمان‌های جدید هیچ‌گونه گاز گلخانه‌ای را منتشر نکند.
- ضایعات و پسماند صفر ۲۰۴۰: یک چشم‌انداز استراتژیک بلندمدت برای شهر ونکوور به‌منظور دستیابی به هدف ضایعات صفر در سال ۲۰۴۰ است.
- استراتژی سازگاری با تغییرات اقلیمی: برنامه‌های این استراتژی در راستای این است که ونکوور در مواجهه با تغییرات آب و هوایی مقاومت می‌کند و قابلیت سکونت و زندگی کردن خود را از دست نمی‌دهد.

- تحلیل داده‌های شهری: دولت‌ها اغلب داده‌های موردنیاز خود را از بانک‌های اطلاعاتی پراکنده و انفرادی جمع‌آوری می‌کنند که دسترسی به آن‌ها بسیار محدود است. به همین منظور در ونکوور پلتفرم تحلیل داده‌ای

¹ Greenest City Action Plan

بانام UrbanLogiq طراحی شده که دیدی یکپارچه از رفتار شهری را برای برنامه‌ریزی هوشمندتر فراهم می‌کند. این پلتفرم از یک متدولوژی اختصاصی مبتنی بر هوش مصنوعی استفاده می‌کند که از طریق آن می‌تواند بینش‌های عملی را برای درک بهتر نحوه رفتار افراد در جامعه ارائه دهد. این پلتفرم برای حل مشکلات ترافیکی و برنامه‌ریزی حمل‌ونقل و برنامه‌ریزی شهری طراحی شده است.

- مشارکت شهروندان: PlaceSpeak یک پلتفرم مبتنی بر موقعیت مکانی به‌منظور تعامل با شهروندان است که برای ایجاد امکان همفکری آنلاین با افراد یک منطقه خاص جغرافیایی طراحی شده است. از برنامه‌ریزی شهری گرفته تا توسعه اقتصادی، از حمل‌ونقل عمومی گرفته تا توسعه پارک‌ها و تفرجگاه‌ها، تصمیم‌گیرندگان برای اتخاذ تصمیم درست و مناسب به نظرات شهروندان، ذینفعان واقعی ساکن در محدوده‌ی جغرافیایی موردنظر نیاز دارند. مأموریت اصلی این پلتفرم تسهیل فرآیندهای مشارکت قانونی و قابل دفاع شهروندان به‌صورت آنلاین از طریق اتصال هویت دیجیتالی شرکت‌کنندگان به مکان فیزیکی آن‌ها است. چشم‌انداز این پلتفرم توانمندسازی مردم برای ایجاد تغییرات مهم و تأثیرگذار بر جوامع محل زندگی، کار و تفریحی خود است. VanConnect برنامه کاربردی دیگری است که برای تعامل با شهروندان و اطلاع‌رسانی به آن‌ها طراحی شده است. ازجمله خدمات آن می‌توان به ثبت درخواست سرویس در هر لحظه و مکان اشاره کرد. شهروندان می‌توانند وجود زباله، نقاشی‌های دیواری، چراغ‌های شکسته خیابانی، خانه خالی و موارد دیگر را به همراه توضیحی کوتاه، مختصات مکان موردنظر (GPS) و بارگذاری عکس مرتبط گزارش کنند و مراحل رسیدگی به درخواست خود را به‌صورت لحظه‌ای و آنلاین دنبال کنند. از طریق این برنامه اخبار، رویدادهای مهم و اطلاعات ضروری در اختیار شهروندان قرار می‌گیرد. امکان تماشای جلسات مجلس و ارتباط با مسئولین مانند شهردار از طریق این برنامه امکان‌پذیر است. VanWiFi یکی دیگر از خدماتی که در راستای مشارکت و رفاه شهری برای شهروندان ونکوور ارائه شده است. ونکوور یکی از بزرگ‌ترین ارائه‌دهنده WiFi عمومی رایگان در آمریکای شمالی است. اینترنت رایگان در بیش از ۷۶۸ نقطه شهر شامل کتابخانه‌های عمومی، پارک‌ها و مراکز خرید ارائه می‌شود که دارای سرعت بسیار بالایی است.

- کاهش ترافیک: اشتراک خودرو و وسایل نقلیه یکی از موضوعاتی است که در ونکوور دارای قدمت بسیار زیادی است. این طرح هم در راستای تبدیل شدن به سبزترین شهر جهان است، زیرا به کاهش تعداد خودرو و ترافیک شهری کمک می‌کند. شرکت‌های بسیاری ازجمله Zipcar، Modo، Evo، car2go و Zipcar در این زمینه فعال هستند. فراهم کردن جای پارک به‌صورت مجانی یا با هزینه کم از دیگر مزایای طرح به اشتراک‌گذاری خودرو است. سیستم اشتراک‌گذاری دوچرخه بانام Mobi هم از تابستان ۲۰۱۶ در این شهر عملیاتی شده است. از پاییز ۲۰۱۷، Mobi با داشتن ۱۲۵ ایستگاه، ۱۲۰۰ دوچرخه می‌تواند بالغ بر ۶۵۰ هزار سفر را که بیش از ۲ میلیون کیلومتر را شامل می‌شود، پوشش دهد.

- خودروهای برقی و ایستگاه‌های شارژ: برای حمایت از حرکت به سمت حمل‌ونقل با سوخت تجدید پذیر، این شهر در حال بهبود و گسترش شبکه ایستگاه‌های شارژ عمومی، اجرای سیاست‌های حمایت از شارژ در منزل، افزایش تعداد خودروهای برقی ناوگان حمل‌ونقل است. یکی از هدف‌گذاری‌های این طرح این است که تا سال ۲۰۳۰، ۵۰ درصد از مسافت‌های طی شده در خیابان‌ها و جاده‌های ونکوور با وسایل نقلیه بدون انتشار آلودگی خواهد بود. به همین دلیل فروش خودروهای برقی از سال ۲۰۱۱ با رشد ۷۰ درصدی سالانه روبرو شده است.

قیمت پایین شارژ این خودروها و ایجاد بیش از ۳۰۰ ایستگاه شارژ از موارد تشویقی این طرح محسوب می‌شوند. تخمین زده می‌شود که ۱۷۵ ایستگاه شارژ دیگر که توسط پارکینگ‌ها، هتل‌ها، مراکز خرید و سایر ساختمان‌ها خدماتی اداره می‌شوند، در دسترس رانندگان خودروهای برقی در ونکوور قرار گیرد. تا سال ۲۰۲۱، امکان رسیدن به هاب‌های شارژ سریع DC با حداکثر ۱۰ دقیقه رانندگی از هر جای ونکوور فراهم خواهد شد.

۲-۵ جمع بندی

در این فصل ابتدا به دسته بندی پروژه های مختلف شهر هوشمند دنیا بر اساس چالش های مختلف زندگی شهری پرداخته شد. برخی از این چالشها مانند افزایش امنیت شهروندان، حمل و نقل شهری، مدیریت حوادث، افزایش بهره وری انرژی، مدیریت هوشمند پسماند و غیره بیان گردید و راه کارهای ارائه شده برای آنها مورد بررسی قرار گرفت و شهرهای مختلف دنیا که برای این چالشها پروژه هایی را اجرا کرده اند مورد بررسی قرار گرفت. سپس به مرور پروژه های شهرهای هوشمند در قاره های آسیا اقیانوسیه، اروپا و آمریکا پرداخته شد.

- [1]<https://publications.iadb.org/en/road-toward-smart-cities-migrating-traditional-city-management-smart-city>
- [2]<http://www.elespectador.com/noticias/infografia/transformacion-de-transmilenio-tras-15-anos-deoperacio-articulo-603632>
- [3]<http://www.seguridadjusticiaypaz.org.mx>
- [4]<http://www.japantimes.co.jp/news/national/media-national/planning-pays-off-asnhk-takes-its-quake-news-global/#.V2kydvkrJpg>
- [5]<http://www.unep.org/geo/>
- [6]<https://www.treehugger.com/solar-technology/totem-power-combined-solarlighting-wifi-energy-storage-and-ev-charger.html>
- [7]<http://www.pnas.org/content/108/15/6312.full.pdf>
- [8]Singapore: NEWater Project (<http://www.pub.gov.sg/water/newater/Pages/default.aspx>)
- [9]<http://reports.weforum.org/global-informationtechnology-report-2015/>
- [10]Microsoft. Schools use real-time data to improve learning outcomes and boost graduation rates (http://blogs.technet.com/b/microsoft_in_education/archive/2015/11/10/schools-use-realtime-data-to-improve-learning-outcomes-andboost-graduation-rates.aspx)
- [11] <https://e-estonia.com/>
- [12] <http://www.sfhealthequity.org/elements/climate>
- [13] http://www.rtinsights.com/smart_cities_ningbo/
- [14]<https://www.london.gov.uk/what-we-do/business-and-economy/supporting-londons-sectors/smart-london/smarter-london-together>
- [15] <http://www.gsma.com/connectedliving/wp-content>
- [16] <https://smartcity.wien.gv.at/site/en/>
- [17]<https://amsterdameconomicboard.com/en>
- [18]www.amsterdamsmartcity.com
- [19]<http://opendata.bcn.cat/opendata/en/what-isopen-data>
- [20]Major Cities of Europe, ‘Barcelona Urban Habitat, The vision, approach and projects of the City of Barcelona towards smart cities’, Vienna, 6th June 2015.
- [21]<http://www.manchester.gov.uk/>
- [22][https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/join/2014/507480/IPOL-ITRE_ET\(2014\)507480_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/join/2014/507480/IPOL-ITRE_ET(2014)507480_EN.pdf)
- [23]<https://www.ecubelabs.com/>
- [24]<http://e.vnexpress.net/news/news/traffic-jamscost-ho-chi-minh-city-820-million-each-year-3378587.html>

- [25]<http://www.wynyardquarter.co.nz/grid-akl>
- [26]<https://www.woven-city.global/>
- [27]<https://www.t-systems.com/en/best-practice/01-2018/fokus/smart-world/neom-782556>
- [28]<https://masdar.ae/en/masdar-city>
- [29]<https://www.citylab.com/life/2018/06/sleepy-in-songdo-koreas-smartest-city/561374/>
- [30]<https://hub.beesmart.city/strategy/leading-north-american-smart-cities-to-watch-in-2019>
- [31]A. Cocchia, "Smart and digital city: A systematic literature review," in *Smart city*, ed: Springer, 2014, pp. 13-43
- [32]<https://vancouver.ca/>

فصل سوم: انرژی الکتریکی هوشمند و کاربردهای آن در مدیریت انرژی الکتریکی در شهر هوشمند

شهرنشینی و رشد سریع جمعیت شهرها تأثیر بسیاری بر مصرف انرژی و در نتیجه انتشار گازهای سمی و گلخانه‌ای داشته است. می‌توان گفت شهرها با مجموعه‌ای از چالش‌های پیچیده و به هم پیوسته در بخش‌های مختلف از جمله ساخت‌وساز، حمل‌ونقل، مدیریت آب و پسماند و خدمات عمومی روبرو هستند. بررسی مجدد این چالش‌ها با در نظر گرفتن اصول مدیریت هوشمند انرژی (SEM^1) برای توسعه شهری پایدار و کم‌کربن بسیار مهم و ضروری است. علاوه بر این، مدیریت انرژی مصرفی یکی از چالش برانگیزترین اهداف برای شهرها است و با توسعه و تبدیل شدن شهرهای موجود به شهرهای هوشمند، SEM به بخشی جدایی‌ناپذیر در تحول شهری تبدیل شده است. مدیریت و کاهش تقاضا و مصرف انرژی به همراه کاهش انتشار گازهای سمی و گلخانه‌ای یکی از چالش‌های اساسی در برنامه‌ریزی شهری محسوب می‌شود. برای درک بهتر SEM، ابتدا باید با مفاهیم و اصول مدیریت انرژی آشنا شد.

مدیریت انرژی را می‌توان به عنوان علمی برای برنامه‌ریزی، هدایت و کنترل تأمین و مصرف انرژی به منظور به حداکثر رساندن بهره‌وری و راحتی و به حداقل رساندن هزینه‌های انرژی و آلودگی تعریف کرد. به عبارت ساده‌تر، مدیریت انرژی به معنی استفاده آگاهانه، خردمندانه و کارآمد از انرژی است. مدیریت انرژی نیازمند فرآیند نظارت، کنترل و صرفه‌جویی در انرژی، استفاده بهینه از انرژی، مدیریت منابع انرژی است. با توجه به کمبود منابع انرژی محلی و نیازهای ذینفعان، انتظار می‌رود شهرهای هوشمند خودمختارتر شوند و مصرف انرژی را به‌طور مؤثر مدیریت کنند. شهر هوشمند، شهری است پایدار و کارآمد که با بهینه‌سازی منابع، زندگی با کیفیت بالایی را برای ساکنان خود فراهم می‌کند؛ بنابراین مدیریت انرژی یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های شهر هوشمند محسوب می‌شود.

۳-۲ مفاهیم انرژی هوشمند و مدیریت هوشمند انرژی

مدیریت هوشمند انرژی مؤلفه‌ای از توسعه شهر هوشمند است که هدف آن، حرکت مداوم و پیوسته به سمت پایداری، خودکفایی و تاب‌آوری سیستم‌های انرژی در کنار تضمین دسترسی، مقرون به صرفه بودن و کافی بودن خدمات انرژی از طریق ادغام بهینه مدیریت مصرف انرژی، بهره‌وری انرژی و منابع انرژی تجدیدپذیر محلی است. این ویژگی‌ها از طریق ترکیب فناوری‌ها با فناوری‌های اطلاعاتی و ارتباطی قابل‌دستیابی است. هدف از انرژی هوشمند، کنترل مؤثر مصرف انرژی و افزایش استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر است [۱].

در حال حاضر، در بسیاری تحقیقات مربوط به مفهوم انرژی هوشمند شبکه‌ای از انرژی در نظر گرفته می‌شود که به منابع مختلف انرژی دسترسی دارد و به هماهنگی منابع مختلف باهدف بهینه‌سازی پرداخته می‌شود. اکثر تعاریف انرژی هوشمند از منظر کل صنعت انرژی است. از منظر توسعه شهری، هنوز تعریف واحدی از انرژی هوشمند وجود ندارد، اما اساساً به سه نکته زیر پرداخته است [۲-۳]:

۱. انرژی هوشمند می‌تواند به‌طور مؤثر انرژی و مشکلات زیست‌محیطی شهرها را برطرف کند. در ساخت شهرهای هوشمند، مصرف انرژی شهری یکی از مهم‌ترین موضوعات مورد توجه است. دولت‌ها هوشمندی، زندگی سبز، توسعه کارایی انرژی و حفاظت از محیط‌زیست را اولویت اصلی ساخت‌وساز شهر هوشمند می‌دانند. انرژی هوشمند، برای حل مسائل انرژی و زیست‌محیطی که در توسعه شهرهای هوشمند وجود دارد و برای رفع نیازهای توسعه شهرهای هوشمند، از علوم و فن‌آوری مدرن برای ساختن منابع انرژی سبز و مصارف انرژی کم‌کربن استفاده می‌کند.

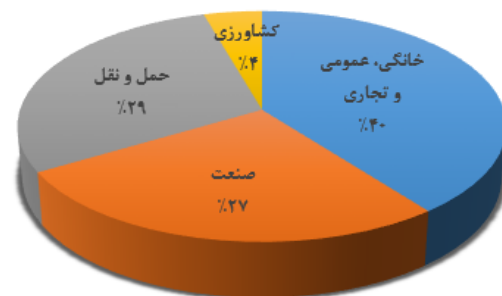
¹ Smart Energy Management

۲. ساخت زیرساخت‌های انرژی برای انرژی هوشمند می‌تواند نیازهای امنیتی انرژی شهر را تضمین کرده و خدمات سالم‌تری را به ساکنان شهری ارائه دهد. در شهرهای هوشمند، زیرساخت‌های انرژی گذشته نمی‌توانند تقاضای انرژی توسعه شهری را برآورده کنند. هوشمندسازی تأسیسات انرژی موجود، موجب ایجاد زیرساخت‌های انرژی می‌شود که با توسعه شهری سازگار است و امنیت انرژی و همچنین خدمات انرژی بهتری را در اختیار شهرها قرار می‌دهد.

۳. تدوین اطلاعات مورد نیاز انرژی هوشمند می‌تواند موجب شود تا منابع انرژی منطقه‌ای به صورت هماهنگ‌تر و مکمل با یکدیگر همکاری کنند و همچنین اطلاعات مورد نیاز ساخت شهر هوشمند را آماده کند. شهرهای هوشمند از فن‌آوری اطلاعات برای اتوماسیون بهتر و رفع هوشمندانه نیازهای بهره‌برداری و مدیریت و خدمات شهری استفاده می‌کنند. در فرآیند ساخت اطلاعات، آن‌ها نیاز به داده‌هایی در مورد محیط‌زیست، انرژی و حمل‌ونقل دارند تا بتوانند بستر ابری اطلاعات مکانی-زمانی هوشمند شهر را بسازند. شهرها اکوسیستم‌های پیچیده‌ای هستند که طیف گسترده‌ای از بخش‌های مختلف را در بر می‌گیرند. در ادامه مدیریت هوشمند انرژی در بخش‌های مختلف شهر هوشمند مورد بررسی قرار می‌گیرند.

۳-۲-۱ تقویت مدیریت انرژی پایدار ساختمان‌ها

ساختمان‌های قدیمی یا جدید، دولتی یا خصوصی، تجاری یا مسکونی محل زندگی و کار مردم هستند و چشم انداز یک شهر را تشکیل می‌دهند. درعین حال، ساختمان‌ها (خانگی، عمومی و تجاری) با حدود ۴۰ درصد مصرف، یکی از بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان انرژی هستند (شکل ۳-۱). در ساختمان‌ها روزانه از انرژی برای سرمایش و گرمایش، روشنایی، استفاده از تجهیزات برقی برای ایمنی و آسایش افراد استفاده می‌شود. این امکانات سه چهارم از کل انتشار گازهای گلخانه‌ای در مناطق شهری را تشکیل می‌دهد. در نتیجه، شهرها باید ساختمان‌هایی با بهره‌وری بیشتر، هوشمندتر، سبزتر و پایدارتر از لحاظ انرژی ایجاد کنند. هدف اصلی راه‌حل‌های مدیریت هوشمند انرژی در ساختمان‌ها به حداقل رساندن تأثیر محیطی خدمات مختلف انرژی بر چرخه عمر ساختمان و کاهش هزینه‌های انرژی است. راه‌حل‌های مدیریت هوشمند انرژی در ساختمان‌ها بر اساس کاربرد در سه دسته قرار می‌گیرد: (۱) راه‌حل‌هایی که با کنترل کارآمد سیستم‌های انرژی ساختمان، مصرف انرژی را مدیریت می‌کنند؛ (۲) راه‌حل‌هایی که در حوزه پاسخگویی به تقاضای انرژی قرار می‌گیرند؛ و (۳) راه‌حل‌هایی که در طراحی انرژی خورشیدی و مواد پایدار را در نظر می‌گیرند.



شکل ۳-۱: سهم بخش‌های مختلف از مصرف انرژی کل کشور (ایران) در سال ۱۳۹۴ [۴]

با ادغام تولید، ذخیره‌سازی، توزیع و اتوماسیون انرژی، راه‌حل‌های دسته اول راحتی، کارایی و انعطاف‌پذیری بیشتری را فراهم می‌کنند. در حقیقت، بهینه‌سازی عملکرد و مدیریت می‌تواند ۲۰ تا ۳۰ درصد از مصرف انرژی ساختمان را بدون تغییر ساختار سیستم یا پیکربندی سخت‌افزاری کاهش دهد. چیلرهای سرعت متغیر، سیستم‌های کنترل

خودکار دمای خانه و کنترل‌کننده‌های فازی تطبیقی تعدادی از دستاوردهای سیستم هوشمند گرمایش، تهویه و کنترل هوا (HVAC¹) در همین راستا محسوب می‌شوند. کنترل روشنایی از طریق ابزارهای مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، سنسورهای حضور، تجهیزات مجهز به فوتومتریک و لامپ‌های LED روش‌های رایج در روشنایی هوشمند هستند.

راه‌حل‌های دسته دوم روش‌های پاسخگویی به تقاضا هستند. به‌طور کلی، اکثر ساختمان‌ها مصرف‌کننده منفعل انرژی هستند؛ اما برای دستیابی به اهداف مورد انتظار، نقش ساختمان‌ها باید از مصرف‌کنندگان منفعل به مشارکت-کنندگان فعال در سیستم‌های انرژی تبدیل شود. این تغییر اساسی از طریق ریزشبکه‌ها، برنامه‌های پاسخگویی به تقاضا، سیستم‌های اطلاعاتی و کنترلی برای مدیریت بار و مصرف و تجهیزات ذخیره انرژی قابل‌دستیابی است. در رویکرد سیستم‌های منفعل فعلی، عایق‌بندی ساختمان، جرم حرارتی^۲، جاییابی پنجره (با در نظر گرفتن نوع شیشه، نور و سایه) تعدادی از فناوری‌های کلیدی هستند.

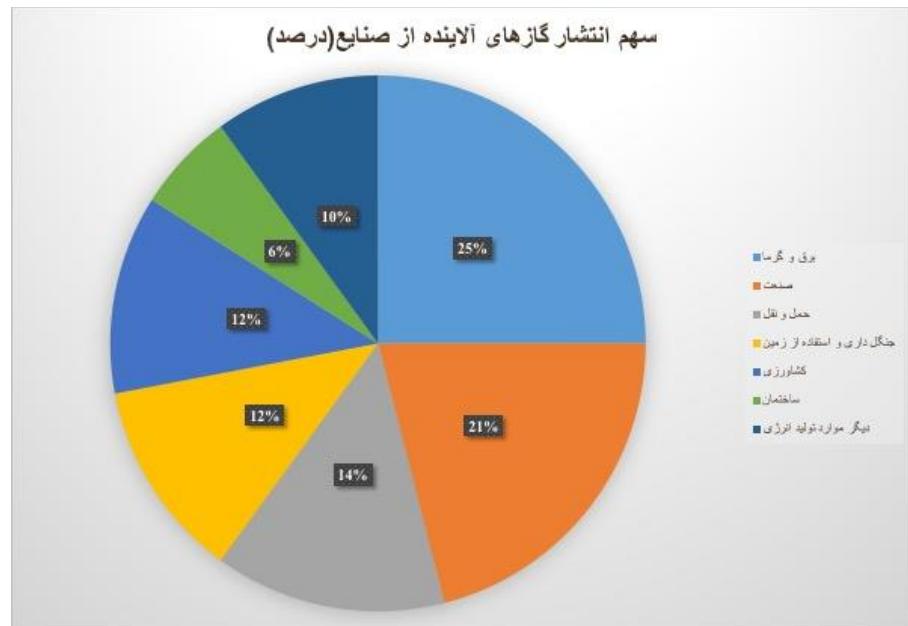
برخی از این روش‌ها و استراتژی‌های مدیریت انرژی ساختمان‌های هوشمند در حال حاضر در ایران وجود دارند. به‌عنوان مثال، کنتورهای هوشمند، پنل‌های خورشیدی، روشنایی هوشمند، لامپ‌های LED و سیستم‌های هوشمند HVAC برای دستیابی به معماری ساختمان هوشمند استفاده می‌شوند؛ اما به دلیل دانش ناکافی و تخصص محدود، بسیاری از راه‌حل‌های پیشرفته دیگر (مانند سیستم‌های مدیریت انرژی ساختمان هوشمند، ریزشبکه‌ها، کنترلهای اتوماسیون خانگی) محدود به پروژه‌های مقیاس کوچک یا آزمایشی هستند. کاربرد گسترده فناوری‌های مدیریت هوشمند انرژی در ساختمان‌ها به مهندسان، برنامه‌ریزان و طراحان کمک می‌کند تا به اهداف هزینه انرژی کمتر و کاهش اثرات زیست‌محیطی بر چرخه عمر ساختمان دست یابند [۱].

۲-۲-۳ دستیابی به حمل‌ونقل هوشمند و سبز (کم کربن)

حمل‌ونقل نقش اساسی در توسعه یک کشور دارد. شبکه حمل‌ونقل وظیفه جابجایی مسافرین و بارها را در سراسر کشور دارد و از این طریق باعث افزایش بهره‌وری و رشد اجتماعی-اقتصادی یک کشور می‌شود. افزایش تقاضای حمل‌ونقل عمومی به همراه فرسوده بودن خودروها، این بخش را به یکی از پرمصرف‌ترین و آلوده‌کننده‌ترین بخش‌ها در ایران تبدیل کرده است. بر اساس شکل ۳-۱، بخش حمل‌ونقل ۲۹ درصد از کل مصرف انرژی کشور را تشکیل می‌دهد. از طرف دیگر، این بخش حدود ۱۴ درصد از کل انتشار کربن و گازهای آلاینده را تشکیل می‌دهد (شکل ۳-۲). با افزایش نگرانی‌ها در مورد اهمیت انرژی و تغییرات آب و هوایی، سازمان‌های مرتبط به‌صورت رسمی اعلام کرده‌اند که بخش حمل‌ونقل باید اتکای خود را به سوخت‌های فسیلی، به‌منظور کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کاهش دهد. میزان مصرف انرژی و انتشار کربن در بخش حمل‌ونقل به عواملی مانند راندمان وسیله نقلیه، میزان استفاده از وسایل نقلیه و مسافت طی شده آن‌ها، نوع سوخت و انرژی مصرفی و همچنین بازدهی سیستم کلی زیرساخت‌های حمل‌ونقل بستگی دارد. برای رفع این چالش‌ها، سیاست‌ها و برنامه‌های متعددی پیشنهاد شده است که تمرکز اغلب آن‌ها بر بهبود سیستم‌های سوخت‌رسانی و برق‌رسانی خودرو تمرکز دارند.

¹ Heating, Ventilation, and Air Conditioning

² Thermal mass: به روش یا ایده‌ای گفته می‌شود که در طراحی ساختمان برای مقابله با نوسانات شدید دمای داخلی ساختمان به کار برده می‌شود.



شکل ۳-۲: سهم بخش‌های مختلف در انتشار گازهای آلاینده [۵]

استفاده از خودروهای برقی و هیبریدی از دیگر راهکارهای این حوزه محسوب می‌شود. کاهش مالیات و امکان ورود رایگان به محدوده طرح آلودگی از طرح‌های تشویقی است که در ایران برای خودروهای هیبریدی در نظر گرفته شده است که ضمن کاهش مصرف سوخت و انرژی، انتشار گازهای گلخانه‌ای را هم کاهش می‌دهند. علاوه بر این، راهکارهایی مانند طرح اشتراک دوچرخه‌های عمومی، سیستم‌های مدیریت هوشمند حمل‌ونقل، پلتفرم مدیریت یکپارچه حمل‌ونقل و توسعه برنامه‌های مبتنی بر ICT در حمل‌ونقل عمومی در شهرهای هوشمند مطرح هستند.

آینده حمل‌ونقل سبز (کم کربن) را خودروهای برقی شکل می‌دهند که برای جابجایی از انرژی‌های تجدیدپذیر استفاده می‌کنند. استفاده از وسایل نقلیه عمومی به جای خودروهای شخصی و سرمایه گذاری در حمل‌ونقل غیر موتوری (NMT¹) مانند دوچرخه‌سواری و پیاده‌روی منجر به برنامه ریزی بهتر شهری می‌شود. علاوه بر این، اگر برقی شدن حمل‌ونقل به سطح قابل توجهی برسد، زیرساخت شبکه برق فعلی نیازمند تغییر و تقویت خواهد بود. از آنجاکه بخش حمل‌ونقل بر روی بخش‌های مختلف دیگر تأثیرگذار است، باید بررسی‌های جامعی که شامل امکان‌سنجی اقتصادی و زیست‌محیطی گزینه‌های مختلف حمل‌ونقل پایدار است، انجام پذیرد. برای دستیابی به حمل‌ونقل پایدار و کم‌کربن در شهرها، تصمیم‌گیری آگاهانه توسط سیاست‌گذاران و مهم جلوه دادن آن برای شهروندان مورد نیاز است. کارهای انجام شده در این حوزه شامل ارائه خدمات تاکسی‌های اشتراکی، ارائه یارانه برای خودروهای برقی و پشتیبانی از گزینه‌های NMT مانند تراموا می‌باشند. همچنین شهرها باید راه‌حل‌های نوآورانه مبتنی بر ICT از طریق استفاده کارآمد از داده‌ها و مدیریت انرژی را ترویج کنند. سیاست‌های بخش حمل‌ونقل نباید به صورت جداگانه توسعه یابد، بلکه سیاست‌های بخش‌های دیگر مانند انرژی، محیط‌زیست، اقتصاد و فرهنگ باید مورد توجه قرار گیرند [۸].

¹ Non-Motorized Transport

۳-۲-۳ بهبود رابطه آب و انرژی

به منظور اطمینان از مدیریت مؤثر منابع آب، نمی توان از ارتباط میان بخش های آب و انرژی چشم پوشی کرد. آب یکی از اساسی ترین نیازمندی ها برای رفع نیاز و تأمین انرژی محسوب می شود. شواهد نشان می دهد که نیروگاه های حرارتی درصد بالایی از کل مصرف آب صنعتی کشور را تشکیل می دهند. با این حال، بخش آب در حال حاضر با مشکلات و چالش های بسیاری روبرو است که مانع مدیریت مؤثر منابع آب می شود. با توجه به محدودیت منابع آبی، سرانه مصرف آب در حال کاهش است و فشارها در مورد منابع آبی رو به افزایش است. علاوه بر این، بخشی از آب در سیستم های تأمین شهری به دلیل مکانیزم های توزیع ناکارآمد از بین می رود. اصلی ترین نگرانی در مدیریت ارتباط بین آب و انرژی این است که سیستم های تأمین این منابع به طور مستقل عمل می کنند. حل این نگرانی نیازمند ارائه یک رویکرد یکپارچه است. مدیریت هوشمند انرژی آب به طور کلی به "یک رویکرد جامع برای مدیریت این منبع بارزش و سیستم های زیربنایی آن از جمله منابع تولیدی، تصفیه و تحویل" اشاره دارد. مدیریت هوشمند انرژی میزان انرژی استفاده شده برای مصرف، تأمین و توزیع آب، در هر دو بخش مصارف عمومی و خصوصی را شناسایی می کند. این کار باعث بهبود راندمان سیستم های آبی و کاهش هدر رفت می شود. فن آوری هوشمند در بخش آب معمولاً از چهار مؤلفه تشکیل شده است: (۱) تجهیزات خروجی دیجیتال (مانند کنتور و حسگر) که به جمع آوری و انتقال اطلاعات در زمان واقعی می پردازند، (۲) سیستم های جمع آوری داده و کنترل نظارتی (SCADA¹) که اطلاعات را پردازش می کنند و از راه دور بر عملکرد سیستم ها نظارت می کنند و آن ها را بهینه می کنند، (۳) سیستم های اطلاعات جغرافیایی (GIS²) که اطلاعات مکانی را ذخیره، مدیریت و تجزیه و تحلیل می کنند، (۴) برنامه های نرم افزاری که از مدل سازی زیرساخت ها و سیستم های محیطی از طریق مدیریت داده و گزارش گیری پشتیبانی می کنند و منجر به بهبود طراحی، تصمیم گیری و مدیریت ریسک می شوند [۱].

بخش های مصرف کننده انرژی را می تواند به بخش های کشاورزی، ساخت و ساز، صنعتی و خانگی تقسیم بندی کرد. رشد مصرف انرژی که در سال های اخیر در بخش های مذکور اتفاق افتاده، منجر به افزایش مصرف آب هم می شود. برای پیاده سازی راه حل های هوشمند آب، جمع آوری داده های لحظه ای و تبدیل آن ها به اطلاعات معنادار که برای تصمیم گیری مناسب باشند، بسیار ضروری است. شرکت های توزیع آب می توانند از این اطلاعات برای توزیع مؤثر و مناسب آب استفاده کنند. تکنیک هایی مانند هوش مصنوعی و پردازش تصویر به کمک داده های کنتورهای هوشمند آب می توانند تشخیص نشتی را با مشخص کردن مکان دقیق نشتی بهبود بخشند، هشدارهای نشت کاذب را کاهش دهند و کیفیت آب و خدمات مشترکین را بهبود دهند. تأکید بر استفاده مجدد و بازیافت فاضلاب در ساختمان ها باید توسط سیستم تصفیه غیرمتمرکز آب در سطح شهرها تکمیل شود. علاوه بر ارائه طرح های تشویقی برای مشترکین کم مصرف، می توان از منابع انرژی جایگزین در بخش های پرمصرف آب استفاده کرد. به عنوان مثال، می توان از انرژی خورشیدی برای تولید برق به منظور کاهش بار تولیدی نیروگاه های حرارتی که به آب زیادی نیاز دارند، استفاده کرد. برای ادغام مدیریت هوشمند انرژی در بخش آب، عوامل مختلفی باید در نظر گرفته شوند. برخی از چالش های حوزه آب، به دلیل عدم اندازه گیری مناسب مصرف است که منجر به عدم محاسبه هزینه واقعی قیمت آب می شود. مکانیزم های ارزیابی و قیمت گذاری برای اندازه گیری میزان سودمندی سیستم های آب (مانند پمپ ها) بسیار کم هستند و نیازمند مطالعه بیشتر می باشند. اتوماسیون سیستم های آب بسیار محدود است. یکی از چالش های به کارگیری انرژی های تجدید پذیر در حوزه آب متغیر بودن و غیرقابل پیش بینی بودن آن ها است.

¹ Supervisory Control And Data Acquisition

² Geographic Information System

علاوه بر این، تغییرات مکانی، زمانی، اقتصادی و اجتماعی و برخی شرایط سیاسی می‌توانند در دسترس بودن آب مؤثر باشند. با کمک شیوه‌های سیستم‌های مدیریت انرژی، تلفات آب و انرژی کاهش می‌یابد و می‌توان بهره‌وری سیستم آب را بهبود بخشید.

۳-۲-۴ بهینه‌سازی فرآیندهای مدیریت پسماند

اکثر کشورهای پیشرفته و برخی از کشورهای در حال توسعه حدود ۷۰٪ پسماندها و زباله‌های تولیدی خود را بازیافت می‌کنند. در حالی که این میزان در ایران تنها حدود ۱۷٪ است. با توجه به مضرات پسماندها و زباله‌ها، اکثر کشورها سعی می‌کنند این معضل جهانی را مدیریت و آثار سوء آن را کاهش دهند. این اقدامات نتایج خوبی داشته و در حال حاضر زباله به منبع درآمد بسیاری از کشورها و حتی خانواده‌ها تبدیل شده است؛ اما در ایران هنوز بسیاری از ابتدایی‌ترین اقدامات مدیریت پسماند که یکی از آن‌ها تفکیک از مبدأ است، انجام نمی‌شود و میزان تولید پسماند، روزانه در حال افزایش است.

سالانه در ایران بیش از ۱۰ میلیون تن زباله تولید می‌شود به طوری که متوسط سرانه تولید زباله‌های شهری در ایران ۲۴۰ کیلوگرم در سال است. بیشترین سرانه تولید با ۴۵۰ کیلوگرم به ازای هر نفر مربوط به تهران است. در حالی که نرخ رشد سالانه جمعیت در ایران در سال ۹۸ به کمتر از ۱ درصد رسیده است، نرخ رشد سالیانه تولید پسماند به ۳/۴۴ درصد رسیده است. در این شرایط، مدیریت پسماندهای جامد مهم‌ترین نگرانی برای شهرها است. مدیریت مؤثر پسماند نیاز به مدیریت و یکپارچه‌سازی داده‌ها در سطوح مختلف، ترویج بخش خصوصی و ایجاد ارتباط بین بخش‌های مختلف دارد. علاوه بر این، شهرداری‌ها برای پشتیبانی از دفع زباله و پسماند مناسب و کیفیت بهتر زندگی باید بر توسعه مکانیزم‌های سازگار با محیط‌زیست متمرکز شوند. راه‌حل‌های مدیریت هوشمند انرژی که زباله‌ها و پسماندها را به انرژی مفید تبدیل می‌کنند منجر به کاهش میزان زباله تولیدشده و همچنین بهبود فرآیند مدیریت پسماند می‌شوند. به عنوان مثال، یک کارخانه برای تبدیل پسماند به انرژی (WtE^1) روزانه حداقل به ۳۰۰ تن زباله جامد نیاز دارد تا سیستم از نظر اقتصادی پایدار باشد. اگر مقادیر زیادی از زباله‌های شهری تولیدشده به انرژی تبدیل شود، بار بر روی منابع انرژی سنتی و موجود کاهش پیدا می‌کند و نیاز به فضای باز برای دفع زباله‌های غیر قابل بازیافت کمتر خواهد شد. با این حال، این کارخانه‌ها نیاز به تلاش مضاعف برای تأمین کافی زباله موردنظر، زیرساخت بازار و ظرفیت فنی دارند. از طریق پشتیبانی مناسب و فراهم کردن فناوری‌های هوشمند، شهرداری‌ها می‌توانند از این طریق یک بخش تولید انرژی فعال را ایجاد کنند و به سایر بخش‌ها هم سود برسانند. فناوری‌های متعددی می‌توانند برای مدیریت هوشمند انرژی در حوزه‌های مختلف پسماند از جمله جمع‌آوری، پردازش و دفع استفاده شوند. به عنوان مثال، سیستم مسیریابی سیستم موقعیت‌یابی جهانی (GPS) و سیستم‌های شناسایی پر شدن ظروف زباله می‌توانند زمان و تلاش صرف شده برای جمع‌آوری پسماندها را کاهش دهند. در حال حاضر راه‌حل‌های نوآورانه و هوشمندانه در حال ورود به صنعت بازیافت زباله هستند. این راه‌حل‌ها علاوه بر افزایش تولید انرژی از پسماند، منجر به استفاده بهینه از نیروی انسانی نیز می‌شود. با وجود فناوری‌های نقشه‌برداری و مسیریابی هوشمند، تفکیک زباله‌ها، به‌ویژه در سطح خانگی، هنوز با محدودیت‌هایی روبرو است. این بخش نیازمند راه‌حل‌های اقتصادی و فنی کاربرپسند است. مسئله اصلی دیگر در این بخش عدم وجود مسئولیت‌پذیری و شفافیت است. با توجه به دانش محدود ذینفعان و کمبود راه‌حل‌های ابتکاری، اغلب روش‌های مورداستفاده برای مدیریت مؤثر زباله

¹ Waste-to-Energy

بهینه نیستند؛ بنابراین، تهیه برنامه‌هایی برای ایجاد ظرفیت و آگاه کردن مسئولان و شهروندان ذی‌ربط به‌منظور ایجاد تغییرات رفتاری و گنجاندن شیوه‌های هوشمند در بخش مدیریت پسماند بسیار مهم است [۴].

۳-۲-۵ افزایش بهره‌وری در ارائه خدمات عمومی

طیف وسیعی از خدمات عمومی شهری مانند روشنایی خیابان، مدیریت امنیت، نظارت ویدئویی، سیستم‌های هواشناسی و زیرساخت‌های ارتباطی ضمن افزایش کیفیت زندگی در شهرها، امنیت، ایمنی و اطلاعات را برای شهروندان فراهم می‌کند. برای مدیریت و اداره بهتر، خدمات عمومی باید با راه‌حل‌های هوشمندانه‌تر، خلاقانه‌تر و کارآمدتر از لحاظ انرژی ادغام شوند. مدیریت هوشمند انرژی در خدمات عمومی به دولت‌ها و ارائه‌دهندگان خدمات شهری کمک می‌کند تا مصرف انرژی را کاهش داده و بهره‌وری و کیفیت خدمات شهری را به حداکثر برساند. سه نوع راه‌حل مدیریت هوشمند انرژی مختلف در بخش خدمات عمومی وجود دارد:

- ۱- راه‌حل‌هایی که انرژی تولیدی و توزیع‌شده توسط شرکت‌های توزیع را کنترل و نظارت می‌کنند.
 - ۲- راه‌حل‌هایی که انرژی تولیدشده توسط مشترکین، افراد شخص ثالث یا شبکه برق را ذخیره می‌کند.
 - ۳- راه‌حل‌هایی که از منابع طبیعی انرژی تولید می‌کنند و استقلال نسبی یا کلی از شبکه انرژی ایجاد می‌کنند.
- شبکه هوشمند یک فناوری مهم در جهت انتقال توان شبکه برق به کاربران صنعتی، تجاری و مسکونی به روشی کارآمد، مطمئن و ایمن محسوب می‌شود. شبکه هوشمند، شبکه‌ای مستقل است که قادر به تبادل برق و اطلاعات در زمان واقعی است. یک شبکه هوشمند در مقیاس ریز/کلان^۱ نه تنها می‌تواند باعث کاهش تلفات انرژی شود، بلکه باعث بهبود روند استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر نیز می‌شود. ایستگاه‌های پست و کنتورهای هوشمند از ملزومات هوشمندسازی شبکه برق محسوب می‌شوند. راه‌حل‌های ذخیره انرژی (ESS^۲) برای ذخیره انواع انرژی (مانند انرژی برق، گرما، جنبشی) استفاده می‌شوند. در خدمات عمومی شهری، ESS می‌تواند برای تکمیل چرخه انرژی‌های تجدیدپذیر و پشتیبانی از برنامه‌های پاسخ به تقاضا استفاده شود. یک مزیت مهم ESS این است که مشترکین یا تولیدکنندگان شخص ثالث می‌توانند زمانی که قیمت انرژی در حد پایین قرار دارد آن را ذخیره و در زمان‌هایی که قیمت بالاتر است از آن استفاده کنند و هزینه‌های انرژی خود را کاهش دهند. پیشرفت‌های اخیر در فناوری ذخیره انرژی شامل باتری‌ها، آبرخازن‌ها^۳، چرخ‌های طیار^۴، سلول‌های سوخت هیدروژنی، ذخیره‌ساز هوای فشرده و ذخیره‌ساز حرارتی است. کاربردهای کلیدی این فناوری‌ها شامل سیستم‌های شبکه مبتنی بر باتری، فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر در مقیاس کوچک و ریزشبکه و ایستگاه‌های شارژ هوشمند برای خودروهای برقی است. نهایتاً، یکی از اهداف مهم شهرهای هوشمند انتقال تدریجی زیرساخت‌های برقی و حرارتی به یک سیستم کاملاً مبتنی بر انرژی تجدیدپذیر است. شهرها برای به حداکثر رساندن کارایی، باید مصرف برق را محلی‌سازی کنند، گرمایش و سرمایش کم‌کربن را فراهم کنند و انرژی و منابع خود را بازیافت کنند. راه‌حل‌هایی که از این رویکرد پشتیبانی می‌کنند عبارت‌اند از: سیستم‌های فتوولتائیک، جمع‌کننده‌های خورشیدی، نیروگاه‌های خورشیدی متمرکز، توربین‌های بادی کوچک و کم‌مصرف و انرژی زمین‌گرمایی. ادغام مدل‌های اطلاعاتی با زیرساخت‌های مدیریت شهری (ایستگاه‌های نظارت بر آب‌وهوا، کنترل مدیریت روشنایی و خاموشی و ایستگاه‌های مدیریت داده و ارتباطات) یکی دیگر از مهم‌ترین نیازمندی‌های این حوزه محسوب می‌شود. استفاده از راه‌حل‌های مدیریت هوشمند انرژی در خدمات

^۱ micro/macro

^۲ Energy storage solution

^۳ supercapacitor

^۴ flywheel

عمومی می‌تواند از طریق برنامه‌ریزی توزیع و انتقال کارآمد، تغییر ساختار شبکه توزیع و تغییرات فناوری‌ها در دستیابی به اهداف مدیریت شهری کمک کند [۱].

۳-۳ جمع‌بندی

در این فصل به بررسی مفاهیم انرژی هوشمند و مدیریت هوشمند انرژی پرداخته شد و مروری بر بخش‌های مختلف شهر هوشمند که در ارتباط با انرژی هوشمند هستند مانند ساختمان هوشمند، محیط‌زیست هوشمند، مدیریت پسماند، خدمات عمومی و حمل‌ونقل هوشمند، پرداخته شد. سپس به بیان چالش‌های پیش رو انرژی هوشمند شهرهای هوشمند پرداخته شد. با توجه به افزایش زندگی شهرنشینی در سال‌های آینده نیاز به مدیریت هوشمند انرژی که یکی از نیازهای اصلی شهرهای هوشمند می‌باشد بیش‌ازپیش احساس می‌شود. جدول ۳-۱ خلاصه‌ای از راه‌حل‌های مهم مدیریت هوشمند انرژی در حوزه‌های مطرح‌شده را بیان می‌کند.

جدول ۳-۱: خلاصه‌ای از راه‌حل‌های مهم مدیریت هوشمند انرژی در حوزه‌های مختلف

ساختمان‌ها	آب	حمل‌ونقل	پسماند	خدمات عمومی
- اتصال به شبکه هوشمند	- جمع‌آوری و نظارت لحظه‌ای بر داده‌ها	- سرویس‌های زیرساختی و نظارتی	- تبدیل پسماند به انرژی	- حسگرهای هوشمند
- بهبود سیستم‌های تهویه هوا	- کنترل‌های هوشمند	- شارژ خودروهای برقی	- نظارت هوشمند بر پسماند غیرقابل بازیافت	- امنیت عمومی
- بهبود سیستم‌های کنترل روشنایی	- تشخیص نشتی	- حرکت به سمت خودروهای برقی و هیبریدی	- سطل‌های زباله هوشمند	- نظارت ویدئویی
- بهبود بازیابی و ذخیره گرما	- سیستم‌های پمپاژ کارآمد	- سیستم‌های مدیریت ترافیک	- مدیریت و مسیریابی پویا	- خدمات شهر دیجیتالی
- سیستم‌های تهویه هیبریدی	- یکپارچه‌سازی سیستم‌های توان، کنترل و امنیت	- مدیریت ترافیک	- جمع‌آوری زباله	- مدیریت خاموشی
- ژنراتورهای با راندمان بالا	- تجهیزات تصفیه و استفاده مجدد از آب	- سیستم حمل‌ونقل یکپارچه، چند مدلی و اشتراکی	- تجهیزات و امکانات هوشمند	- سرمایه‌گذاری
- استفاده از انرژی خورشیدی	- مدیریت آب حاصل از بارندگی و سیلاب شهری	- بهبود حمل‌ونقل عمومی	- بازیافت	- کنترل توزیع‌شده خودکار
		- بهبود زیرساخت حمل‌ونقل	- تصفیه حرارتی بیولوژیکی و پیشرفته	- منابع انرژی تولید
			- بازیابی گرمای تولیدشده در صنعت	- پراکنده و تجدیدپذیر
				- ذخیره‌سازی انرژی حرارتی و الکتریکی

و همچنین جدول ۳-۱ چالش‌های کلیدی مدیریت هوشمند انرژی در بخش‌های مختلف را بیان می‌کند.

جدول ۲-۳۳: چالش‌های کلیدی مدیریت هوشمند انرژی در بخش‌های مختلف

خدمات عمومی	پسماند	حمل و نقل	آب	ساختمان‌ها
- استفاده کم از سیستم‌های هوشمند - استفاده محدود از منابع انرژی تجدیدپذیر - کمبود ارائه خدمات عمومی کم-کربن - کمبود همکاری-های بین سازمانی - مدیریت داده و زیرساخت ناکافی برای عملیاتی - چارچوب‌های سیاست‌گذاری و مقرراتی ناکارآمد	- کمبود منابع انسانی و آگاهی شهروندان - عدم وجود تفکیک زباله مؤثر و فناوری-های هوشمند برای مدیریت پسماند - تبدیل محدود پسماند به انرژی - راه‌حل‌های بازیافت هوشمند محدود - عدم وجود مسئولیت‌پذیری و شفافیت	- کمبود راه‌حل‌های حمل و نقلی کم کربن و زیرساخت-های انرژی کارآمد - کمبود تعداد خودروهای سازگار با محیط‌زیست - محدود بودن تجهیزات و امکانات حمل و نقل عمومی - استفاده کم از راه‌حل‌های ICT و مدیریت داده	- ناکافی بودن سیستم‌های تأمین و توزیع - عدم توجه به بازیافت و استفاده مجدد از فاضلاب - تلفات بیش از حد آب - محدودیت در فناوری‌های هوشمند و جمع-آوری لحظه‌ای داده‌ها - کمبود سیستم-های تصفیه غیرمتمرکز - استفاده محدود از منابع انرژی جایگزین	- محدودیت در فناوری‌های ذخیره‌سازی انرژی، گرمایش و سرمایش - دانش و تخصص ناکافی برای افزایش بهره‌وری - استفاده محدود از فناوری‌های معماری ساختمان هوشمند - استفاده محدود از منابع انرژی تجدیدپذیر - کم بودن تعداد پروژه‌های خلاقانه

فصل چهارم: بررسی راهکارها، کاربردها و چالش‌های مدیریت هوشمند انرژی الکتریکی در شهر هوشمند

۴-۱ مقدمه

برای دستیابی به مدیریت هوشمند انرژی در یک سیستم بسیار پیچیده مانند یک شهر هوشمند، نه تنها بیشتر عناصر انرژی آن نیاز به شناسایی و مطالعه دارند بلکه باید روابط ضمنی بین آن‌ها نیز مورد توجه قرار گیرد. علاوه بر این، مدل سازی و شبیه سازی دقیق برای تأیید و بهبود سیستم های موجود و جدید مورد نیاز است. برای این منظور با مروری بر رویکردهای موجود تمام حوزه های پیشنهادی برای مداخله انرژی در سطح شهر و روابط آن‌ها در نظر گرفته می شود؛ و نیز مدل های مختلف انرژی و ابزارهای شبیه سازی موجود یا نوین مورد استفاده قرار می گیرند.

طی دهه های متمادی مدل ها و شبیه سازها در بافت شهری مورد استفاده گسترده قرار گرفته اند. این نوع ابزار معمولاً برای بهره برداری و مدیریت سیستم ها یا برای برنامه ریزی توسعه یا ساخت سیستم های جدید استفاده می شود. مدل های کنونی معمولاً با اهداف مشخصی از جمله طراحی کنترل ترافیک، برنامه ریزی توسعه شهری، برنامه ریزی برای گسترش ظرفیت تولید یا خطوط انتقال و غیره طراحی می شوند؛ بنابراین، عناصر در نظر گرفته شده محدود هستند و بسیاری از تعامل های مهم درون سیستم را در نظر نمی گیرند.

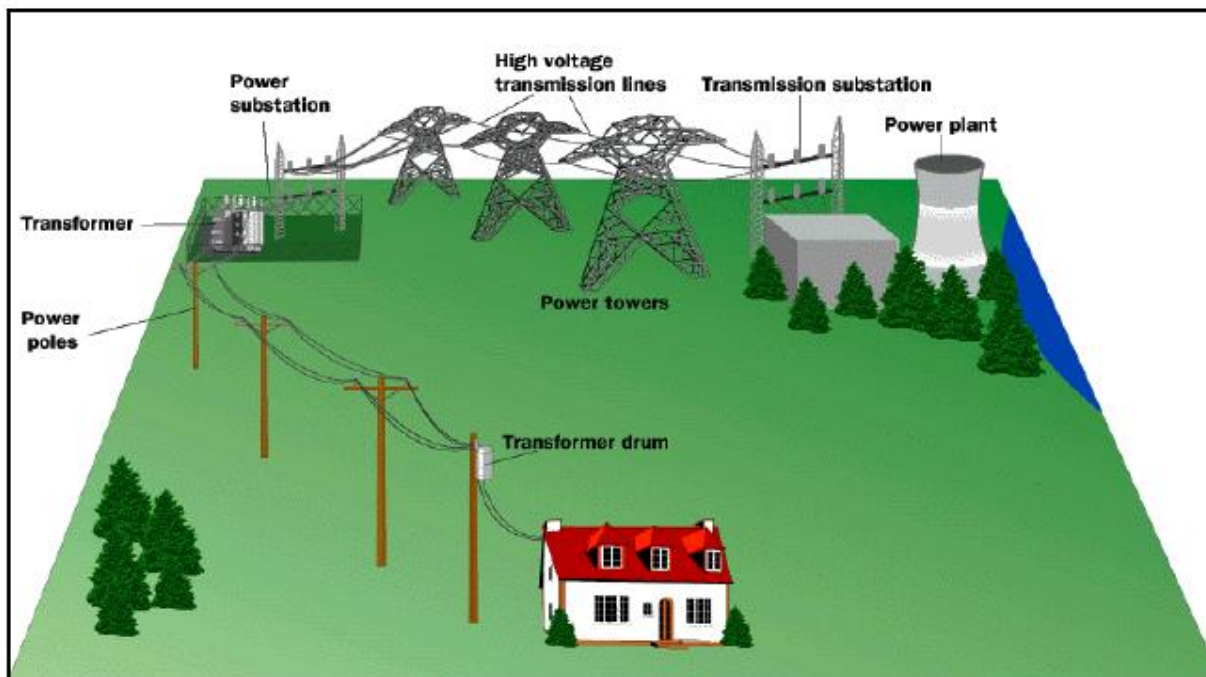
ضرورت یک الگوی جامع و کامل شهر هوشمند برای توسعه انرژی هوشمند بسیار احساس می شود. حتی ممکن است تلفیق همه عناصر در یک مدل محاسباتی واحد بسیار دشوار باشد، اما حداقل باید تمام حوزه هایی که با یکدیگر تعامل و مداخله ای دارند را در نظر گرفته و تکنولوژی های مربوطه را در بر بگیرد. علاوه بر این، این مدل باید برای هر نوع شهری قابل اجرا باشد و با فناوری ها و سیستم های جدید سازگار باشد.

عناصر بسیاری وجود دارد که باید هنگام مدل سازی سیستم های انرژی مورد توجه قرار گیرد. باین حال، برخی از آن ها نسبت به سایرین مهم تر هستند. باید به انتخاب مناسب پارامترهای سیستم و محدودیت های انرژی توجه ویژه ای شود. اطلاعات دقیق جغرافیایی در مورد منابع طبیعی (باد، خورشیدی و ...) نیز برای نتیجه مناسب یک فرایند برنامه ریزی مهم است. علاوه بر این، استفاده از انواع الگوریتم های بهینه سازی به طور قابل توجهی عملکرد سیستم را افزایش خواهد بخشید. سرانجام، با توجه به پیچیدگی سیستم ها، اهداف مدل باید به وضوح مشخص و در اولویت قرار گیرند. پرداختن به همه این موضوعات امکان ایجاد یک مدل انرژی کامل و کافی از شهر هوشمند را فراهم می کند و به تصمیم گیرندگان در دولت و صنعت کمک می کند تا بهترین سیستم ها را با حداقل هزینه، شبیه سازی و پیاده سازی کنند و موجب ایجاد شهری هوشمندتر و کارآمدتر شوند.

به معنای کلی، انرژی هوشمند به خودکارسازی زنجیره ارزش الکتریکی اشاره دارد. زنجیره ارزش سنتی از تولید به انتقال و توزیع و به مصرف کننده نهایی منتهی می شود. همان طور که در شکل ۴-۱ نشان داده شده است، هوشمند سازی شامل هر چهار دسته است [۶-۷].

تولید

همان طور که در شکل زیر آمده است، هر مرحله در امتداد زنجیره ارزش، فرصت های انرژی هوشمند را فراهم می کند. این زنجیره از زمانی که نیروگاه برق تولید می کند شروع می شود. فن آوری دیجیتال می تواند به ارسال، نظارت و کنترل از راه دور تولید و اتصال ایمن آن به شبکه کمک کند. به همین ترتیب، نرم افزارها اغلب به اتوماسیون یا بهینه سازی بخش هایی از فرآیند تولید از برنامه ریزی منابع تا مدیریت دارایی کمک می کند.



شکل ۴-۱: بررسی اجمالی سیستم قدرت (نیرو در نیروگاه تولید می‌شود، سپس از طریق پست‌های انتقال حرکت می‌کند تا به مصرف‌کننده نهایی برسد).

تولید هم نیروگاه‌های بزرگ و متمرکز و هم نسل جدید "تولید توزیع‌شده" را در بر می‌گیرد. تولید توزیع شده به جایگزینی نیروگاه‌های بزرگ و متمرکز با نیروگاه‌های کوچک‌تر پراکنده در سراسر شبکه اشاره دارد.

علاوه بر اتصال DG ها به شبکه که توضیح داده شد، فناوری‌های تولیدی نیز مانند هیدرو نیرو، سلول‌های سوختی، باد، خورشیدی یا سایر فناوری‌های تولید وجود دارند.

انتقال

پس از تولید، ولتاژ برق توسط یک پست انتقال به یک ولتاژ بالا که می‌تواند در مسافت‌های طولانی انتقال یابد، به صورت پله‌ای افزایش می‌یابد. محصولات انرژی هوشمند می‌توانند به طراحی، تجزیه و تحلیل، کنترل، سوئیچ، نظارت، محافظت و بهینه‌سازی انتقال کمک کنند. مثال‌های آن شامل برنامه‌ریزی و شبیه‌سازی شبکه، نظارت و کنترل شبکه، اتوماسیون پست‌ها و موارد دیگر می‌باشد.

توزیع

به‌طور سنتی، توزیع از پست برق شروع می‌شود و در کنترل مشتری به پایان می‌رسد. ترانسفورماتورهای داخل پست‌های برق ولتاژها را برای توزیع ایمن در مناطق پرجمعیت کاهش می‌دهند. رله‌ها و قطع‌کننده‌های مدار از خطرات پیشگیری می‌کنند. ترانسفورماتورهای قدرت، ولتاژ را تا سطح مناسب برای استفاده‌کنندگان نهایی پایین می‌آورند. سیستم‌های اندازه‌گیری، برق مصرفی را اندازه‌گیری و ثبت می‌کنند. تجهیزات دیجیتال هوشمند می‌توانند نقش مهمی در تمام این فعالیت‌ها داشته باشند. بسیاری از مفاهیم و محصولات که برای انتقال به کار می‌روند، برای توزیع نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند.

مصرف کننده نهایی

فرصت‌های بسیاری برای برقراری ارتباط، کنترل و بهینه‌سازی وسایل برقی مورد استفاده مشتریان صنعتی، تجاری و مسکونی وجود دارد. به عنوان مثال، مشتریان می‌توانند از اطلاعات کنتورهای پیشرفته برای بهینه‌سازی مصرف انرژی استفاده کنند. موتورها و لوازم هوشمند می‌توانند راندمان را افزایش داده و پیک بار را کاهش دهند. میکروگریدهای DC می‌توانند جریان DC را مستقیماً به رایانه‌ها و سایر دستگاه‌های دیجیتالی برسانند، بدون اینکه مراحل هدر رفتن انرژی (و ایجاد گرما) برای تبدیل آن به AC و سپس دوباره به DC انجام شود.

۴-۲ بررسی کاربردها و چالش‌های مدیریت هوشمند انرژی الکتریکی در شهر هوشمند

در حالی که لزوم کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی تقریباً پذیرفته شده است و جای بحث چندانی ندارد، بحث در مورد چگونگی دستیابی به این مهم ادامه دارد. انرژی بادی و خورشیدی دو گزینه آشکار است و کشورهایی مانند آلمان و ایالات متحده آمریکا این راه را در پیش گرفته‌اند. امروزه آلمان تقریباً ۳۰ درصد از برق خود را از انرژی تجدیدپذیر تولید می‌کند و هدف خود را برای رسیدن به ۴۵ درصد تولید تا سال ۲۰۳۰ تعیین کرده است. در ایالات متحده، هاوایی برنامه بزرگ‌تری برای دستیابی به ۱۰۰ درصد انرژی تجدیدپذیر تا سال ۲۰۴۵ دارد. گرچه مسیر رسیدن به انرژی پایدار هموار نبوده است.

مدیریت انرژی برای کاهش هزینه‌های انرژی در صنعت بسیار حیاتی است و باعث دوام تشکیلات اقتصادی و انجام اهداف کاهش CO2 می‌شود. استاندارد بین‌المللی ISO 50001 - مدیریت انرژی، چارچوبی را برای یک سیستم مدیریت انرژی با استفاده از الگوی جهانی "برنامه، انجام، بررسی، عمل" که اغلب برای مدیریت پیشرفت در دنیای مهندسی به کار می‌رود، فراهم می‌کند. نحوه مدیریت انرژی با مسئولیت‌ها و نقش‌های مرتبط با آن، بسته به نوع سازمان و چرخه عمر تأسیسات، می‌تواند متفاوت باشد. برای موفقیت در مدیریت انرژی، باید یک سیستم مبتنی بر فرآیند وجود داشته باشد تا تغییرات را با یک فن‌آوری که از نزدیک نوع و مکان و چرایی و چگونگی مصرف انرژی را ارزیابی می‌کند، پشتیبانی کند.

با بالا رفتن هزینه‌های انرژی، نگرانی در مورد منابع انرژی انعطاف‌پذیر و تعهدات قانونی در مورد تولید گازهای گلخانه‌ای و تغییرات آب‌وهوا، چالش‌های بسیاری در مدیریت انرژی به وجود آمده است. نحوه انجام مدیریت انرژی بستگی به نوع سازمان و چرخه عمر تأسیسات دارد.

۴-۲-۱ چالش‌های انرژی هوشمند

استفاده از اینترنت برای ارتباطات انرژی هوشمند موجب صرفه‌جویی در زیرساخت‌ها می‌شود، اما همچنین تهدید قابل توجهی در رابطه با امنیت ایجاد می‌کند. موارد جدی حملات سایبری به شبکه وجود داشته است. خطرناک‌ترین حمله بدافزار در حمله به نیروگاه هسته‌ای ایران (نیروگاه هسته‌ای بوشهر) به سیستم SCADA بود که برای نظارت و کنترل یک شبکه الکتریکی استفاده می‌شد. حملاتی که تجهیزات تولیدی یا ایستگاه‌های توزیع و کنترل را هدف قرار می‌دهند، می‌توانند منجر به خسارات فاجعه باری از جمله خاموشی یا تخریب زیرساخت‌ها شوند.

اینترنت در بخش انرژی هوشمند از ارتباطات نظیر به نظیر پشتیبانی می‌کند، بنابراین اگر هر یک به هر گره‌ای نفوذ کند، می‌تواند به هر نقطه از شبکه حمله کند و برای محرمانگی اطلاعات و مصرف برق مشتری ایجاد مشکل کند. مکانیسم

امنیتی که برای ایجاد یک سیستم شبکه هوشمند ایمن، قابل اعتماد و پایدار لازم است، احراز هویت، محافظت از صحت اطلاعات و رمزگذاری است.

شبکه هوشمند انرژی یک شبکه پیچیده خواهد بود که بخش‌های مختلف مانند شبکه هوشمند برق، حسگرها، منابع تولید پراکنده و غیره را ترکیب می‌کند و شامل نظارت و کنترل غیرمتمرکز می‌باشد. مدیریت مجموعه داده‌های عظیم از دستگاه‌های ارتباطی مختلف و نظارت و کنترل بلادرنگ منابع عظیم، پیچیدگی سیستم را به همراه دارد.

علاوه بر این، ماهیت متناوب تولید انرژی تجدیدپذیر و تغییرپذیری بارها، دستیابی به یک سیستم مدیریت برق هوشمند و مقاوم را کاملاً چالش برانگیز می‌کند. باوجود اینکه ذخیره‌سازی به حفظ پایداری سیستم کمک می‌کند، کماکان چالش‌هایی برای اطمینان از تغذیه پیوسته بارهای بحرانی، مانند مدیریت بخش تقاضا از طریق قیمت‌گذاری انرژی، وجود دارد.

مدل‌های تجاری شبکه سنتی مبتنی بر مولدهای بزرگ متمرکز و شرکت‌های تأسیساتی با سهم بزرگی از بازار از تولید تا مصرف‌کننده است. هم به دلایل فنی و هم به دلایل تجاری، سیستم فعلی بخش بزرگی از تولید تجدیدپذیر یا ذخیره انرژی توزیع شده را به راحتی در خود جای نمی‌دهد و همچنین در صورت حساب مصرف‌کننده با مشکل مواجه می‌شود؛ بنابراین برای ایجاد بازار شفاف و ایجاد امکان مبادله انرژی نظیر به نظیر، نیاز به مدل‌های تجاری جدیدی است. مقررات زدایی و تحول در بازار انرژی امروز یک چالش اساسی برای دستیابی به بازار انرژی هوشمند در آینده است.

در ادامه این فصل به بررسی پروژه‌های انرژی هوشمند در شهرهای هوشمند قاره‌های مختلف پرداخته شده است.

۳-۴ پروژه‌های مدیریت هوشمند انرژی در قاره اروپا

۱-۳-۴ مقدمه

در این بخش پروژه‌های مهمی که در زمینه مدیریت هوشمند انرژی بخصوص برق در اروپا انجام شده مورد بررسی قرار گرفته است و در مورد هر یک توضیحاتی آورده شده است.

پروژه انرژی هوشمند - اروپا^۱ (IEE) کمکی را به سازمان‌هایی که مایل به بهبود پایداری انرژی هستند، ارائه داده است. این برنامه که در سال ۲۰۰۳ توسط کمیسیون اروپا راه اندازی شد، از سیاست‌های بهره‌وری انرژی و انرژی‌های تجدیدپذیر اتحادیه اروپا با هدف دستیابی به اهداف اتحادیه اروپا ۲۰۲۰ (۲۰ درصد کاهش در انتشار گازهای گلخانه‌ای، ۲۰ درصد بهبود در بهره‌وری انرژی و ۲۰ درصد انرژی‌های تجدیدپذیر در مصرف انرژی اتحادیه اروپا) پشتیبانی می‌کند. اکثر قسمت‌های برنامه IEE توسط آژانس اجرایی رقابت و نوآوری^۲ (EACI) که از آن زمان به آژانس اجرایی^۳ (SMEs) تبدیل شده است از طرف کمیسیون اروپا اداره می‌شود. بخش عمده‌ای از بودجه برنامه از طریق فراخوان‌های سالانه برای حمایت از پروژه‌هایی که مفهوم "انرژی هوشمند" را در عمل به کار می‌بردند، در دسترس قرار گرفت.

تعدادی از پورتال‌های آنلاین برای کمک برنامه انرژی هوشمند - اروپا (IEE) ایجاد شده‌اند تا اطلاعات ارزشمندی را به همه کسانی که در زمینه بهره‌وری انرژی و انرژی‌های تجدیدپذیر در سطح محلی و منطقه‌ای و در رابطه با ساختمان و

^۱Intelligent Energy Europe

^۲Executive Agency for Competitiveness and Innovation

^۳Executive Agency for SMEs

حمل و نقل کار می‌کنند، ارائه دهند. این موارد عبارت‌اند از: BUILD UP, Clean Vehicle Europe, Eltis, ManagEnergy, BUILD UP Skills, Covenant of Mayors for Climate & Energy, U4Energy.

زمینه‌های سرمایه‌گذاری در این برنامه در چهار دسته اصلی زیر قرار دارند:

- بهره‌وری انرژی و استفاده منطقی از انرژی: سرمایه‌گذاری در این زمینه عمدتاً بهبود بهره‌وری انرژی و استفاده منطقی از منابع در صنعت، محصولات و بخش‌های ساختمانی است.
 - منابع جدید و تجدیدپذیر: در این زمینه بودجه‌ای برای افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در تولید برق، گرما و سرمایش و ادغام آن‌ها در سیستم‌های انرژی محلی تأمین می‌شود.
 - انرژی در حمل و نقل: این شاخه اقداماتی را باهدف صرفه‌جویی در مصرف انرژی و بهره‌وری انرژی در بخش حمل و نقل، از جمله تحریک تقاضا برای سوخت‌های جایگزین و وسایل نقلیه پاک و با مصرف انرژی کم، شامل می‌شود.
 - ابتکارات ترکیبی: این طرح‌ها هم‌زمان چندین بخش اقتصادی یا چندین زمینه اصلی بهره‌وری انرژی، منابع جدید و تجدیدپذیر و انرژی در حمل و نقل را پوشش می‌دهد. همچنین پروژه‌های آموزش کودکان، ذخیره‌سازی انرژی و مصرف‌کنندگان فردا، تحت این قسمت از برنامه قرار می‌گیرد.
- در هر یک از زمینه‌های بالا پروژه‌های مختلفی تعریف شده است که در ادامه به بررسی و دسته‌بندی آن‌ها پرداخته می‌شود.

۴-۳-۲ بهره‌وری انرژی و استفاده منطقی از انرژی

این زمینه از برنامه به هفت دسته کلی ساختمان، صنعت، تجارت، رفتار مصرف‌کننده، مصرف‌کننده و محصولات، وسایل و محصولات و خدمات انرژی تقسیم‌بندی شده و ذیل آن‌ها پروژه‌های زیادی تعریف شده است. در ادامه سعی شده تعدادی از پروژه‌ها مورد بررسی قرار داده شوند.

۱-۲-۳-۴ ساختمان

در زمینه ساختمان و اماکن پروژه‌های مختلفی تعریف شده که در ادامه به صورت مختصر به دو نمونه از این پروژه‌ها پرداخته شده است.

۴-۳-۲-۱ پروژه ZEBRA 2020

پروژه ZEBRA 2020 در سال ۲۰۱۴ شروع به کار کرده و در سال ۲۰۱۸ نیز خاتمه یافته است. پایداری جامعه و اقتصاد اروپا مبتنی بر انرژی تجدیدپذیر و بهره‌وری منابع خواهد بود. برای بخش ساختمان، این امر به معنای استقرار گسترده ساختمان‌های انرژی تقریباً صفر^۱ (nZEB) است. این فن‌آوری در دسترس و اثبات شده است. هدف اصلی ZEBRA2020 ارائه داده‌ها و همچنین توصیه‌هایی در مورد چگونگی دستیابی به استاندارد nZEB بوده است. همچنین توصیه‌هایی در سطح ملی و اتحادیه اروپا استخراج شده است. این پروژه ۱۷ کشور اروپایی و تقریباً ۹۰٪ سهام ساختمانی و جمعیت اتحادیه اروپا را تحت پوشش قرار داده است؛ بنابراین، این پروژه به‌طور فعال در تحقق هدف بلند

¹Nearly Zero-Energy Buildings

پروازانه سهم صد درصدی nZEB برای ساختمان‌های جدید از سال ۲۰۲۰ فعالیت کرده است. میزان بودجه این پروژه ۱.۶۷۷.۹۰۵ یورو و درصد مشارکت اتحادیه اروپا در این پروژه ۷۵ درصد بوده است [۸].

۴-۳-۲-۳-۲ پروژه STEP2SPORT

پروژه قدم به قدم تا نوسازی اماکن ورزشی با مصرف انرژی تقریباً صفر یا STEP2SPORT از ماه مارس سال ۲۰۱۴ شروع شده و تا ماه فوریه سال ۲۰۱۷ ادامه پیدا کرده است. پروژه STEP-2-SPORT از نوسازی ساختمان‌های موجود ورزشی از طریق نوسازی گام به گام به سمت ساختمان‌های انرژی تقریباً صفر (nZEB) پشتیبانی کرده است. ممیزی انرژی و صدور گواهینامه عملکرد انرژی در تأسیسات ورزشی آزمایشی از ۷ کشور مختلف (سوئد، لهستان، پرتغال، اسپانیا، ایتالیا، یونان و بلغارستان) انجام شد. برنامه‌های عملیاتی برای نوسازی این نمونه‌ها، مشخص کرد که هر ساختمان نمونه برای ۱۰ سال آینده باید چه معیارهای بهبود انرژی را پیاده‌سازی کند تا nZEB باشد. به دنبال توصیه‌های تعریف شده در برنامه‌های عملیاتی، معیارهای بهبود مصرف انرژی در طول پروژه تنظیم شد. همچنین یک نقشه راه باهدف دستیابی به nZEB در ساختمان‌های ورزشی اتحادیه اروپا در میان مدت تا بلندمدت تعریف شده است. مهم‌ترین مانع شناسایی شده برای دارندگان اماکن ورزش کمبود سرمایه برای اجرای نوسازی کامل به سمت nZEB است. به همین دلیل، طرح‌های نوآورانه مدل تجاری و به‌ویژه ESCO ها از آنجاکه می‌توانستند اقدامات بهبود انرژی را تأمین مالی کنند، ارتقا یافتند. میزان بودجه این پروژه ۱.۸۶۲.۹۰۸ یورو و درصد مشارکت اتحادیه اروپا در این پروژه ۷۰ درصد بوده است [۹].

۴-۳-۲-۲-۲ صنعت

در زمینه صنایع مختلف پروژه‌های زیادی تعریف شده که به‌صورت مختصر یک نمونه از این پروژه‌ها مورد بررسی قرار گرفته است.

۴-۳-۲-۲-۱ پروژه TESLA

هدف اصلی این پروژه گسترش بهترین روش‌های موجود برای ارزیابی وضعیت انرژی و اتخاذ اقدامات بهبودی در بخش محصولات غذایی کشاورزی بوده است. به‌ویژه، پروژه TESLA در صنایع زراعی، کارخانه‌های روغن‌زیتون، کارخانه‌های تولید خوراک دام و کارخانه‌های فرآوری میوه و سبزیجات متمرکز شده است. این پروژه مشکل مصرف انرژی را که علاوه بر ماده اولیه، ورودی اصلی این فرایندهای کشت و صنعت است، برطرف کرده است. اجرای این طرح مستلزم انجام ۱۱۰ ممیزی انرژی در شرکت‌های متعلق به این بخش‌ها بوده است. این ممیزی‌های انرژی توسط یک تیم چند رشته‌ای، ازجمله کارشناسان در زمینه بهره‌وری انرژی و مهندسی مواد غذایی، برای این پروژه انجام شده که در این مدت آموزش دیده‌اند. در ممیزی‌های انرژی حدود ۶۸۰ اقدام بهینه‌سازی شده برای بهره‌وری انرژی مشخص شده است و ۶۷ شرکت قبلاً با حمایت و مساعدت فنی مشارکت‌کنندگان یک، دو یا چند اقدام بهینه‌سازی انرژی را اجرا کرده‌اند. اعضای کنسرسیوم از ابزارها و دانش به‌دست آمده در این پروژه برای انجام انتشار و آگاهی بخشی در میان ۷۳۷۲ شرکت وابسته استفاده کرده‌اند. کتاب‌های راهنمای بهره‌وری انرژی و راهنمای فنی دقیق در مورد بهترین روش‌های بهبود بهره‌وری انرژی ویرایش شده، در وبسایت این پروژه بارگذاری شده و در طی انجام پروژه و بعد از آن توزیع شده است. کل بودجه این پروژه ۱.۵۷۰.۳۱۸ یورو بوده که ۷۵ درصد از آن توسط اتحادیه اروپا پرداخت شده است [۱۰].

۴-۳-۲-۳ رفتار مصرف‌کنندگان

برای جوانان استفاده از فن آوری اطلاعات بخش مهمی از زندگی روزمره آنها است اما برای بیشتر آنها آگاهی از تأثیرات زیست محیطی استفاده از فن آوری اطلاعات در مورد نحوه صرفه جویی در مصرف انرژی هنگام استفاده از دستگاهها هنوز تبیین نشده است. نامرئی بودن خدمات و کالاهای مجازی به ظاهر غیرمادی و تأثیرات آن بر تقاضای انرژی و محیط زیست، یک زمینه عملی چالش برانگیز در ارتباط با اهداف ۲۰۲۰ اروپا است. هدف پروژه "useITsmartly" پر کردن این شکاف با توسعه راه حل های نوآورانه برای تسهیل ظرفیت سازی در جوانان برای استفاده هوشمند از فن آوری اطلاعات و ایده هایی در مورد چگونگی رسیدن جوانان به این موضوع است. ایده پروژه شامل مراحل زیر بوده است:

- نقشه برداری از شیوه های استفاده کننده فن آوری اطلاعات و زمینه های جوانان برای تغییر رفتار و تغییر فناوری
 - کشف راه حل ها و ایده های نوآورانه برای تسهیل و تشویق شیوه های کم مصرف انرژی IT
 - توسعه و اجرای آموزش با فن آوری اطلاعات در همه کشورهای مشارکت کننده از جمله نمونه های ابتکاری
- تجسم جنبه های مصرف انرژی پایدار
- کل بودجه این پروژه ۲.۱۸۳.۰۶۴ یورو بوده که ۷۵ درصد از آن توسط اتحادیه اروپا پرداخت شده است.

۴-۳-۲-۴ وسایل و محصولات

پروژه ComeOn Labels باهدف جمع آوری، جمع بندی و به اشتراک گذاری بهترین تجربه اروپایی مربوط به برچسب گذاری انرژی لوازم خانگی و تعریف و به کارگیری مؤثرترین اقدامات حمایتی برای اجرای صحیح طرح جدید برچسب گذاری است. زمینه های اصلی تمرکز عبارت بودند از:

۱. درک قوانین: تهیه خلاصه ها و توضیحات (جدید) قانون، برای تولید کنندگان، تأمین کنندگان و مسئولان
۲. اطلاعات مناسب در مورد برچسب ها: جمع آوری و گردش آزمایش انطباق محصول، از جمله بهترین اقدامات مربوط به بهبود سطح نظارت بر بازار است.
۳. نمایش مناسب برچسب های انرژی: بازدید از بیش از ۹۰۰ مغازه باهدف نظارت بر وجود برچسب های انرژی، ارزیابی نتایج بر اساس نوع محصول و نوع فروشگاه و نظارت برافزایش استفاده از برچسب های انرژی جدید.
۴. آگاهی از مصرف کننده: سازمان دهی فعالیتهای متعدد مصرف کننده که منجر به تهیه بیش از ۵۸۰ هزار مطلب و بیش از ۱۱۵ مقاله در مورد برچسب های انرژی جدید با بیش از ۳ میلیون خواننده و بیننده شد.
۵. طرح های جایگزینی محصول: جمع آوری و تعریف ویژگی های اصلی طرح های موفقیت آمیز زودهنگام جایگزینی محصول.

کل بودجه این پروژه ۱.۶۶۱.۸۴۵ یورو بوده که ۷۵ درصد از آن توسط اتحادیه اروپا پرداخت شده است [۱۱].

۴-۳-۳ منابع جدید و تجدیدپذیر

این زمینه از برنامه انرژی هوشمند اروپا نیز دارای شاخه های مختلفی است که عبارتند از: بیو تجارت، بیو انرژی، بیو سوخت، تولید الکتریسیته، شبکه سازی در اروپا برای اقدام محلی، سرمایه گذاری و گرمایش، مصرف کنندگان انرژی تجدیدپذیر و کاربردهای مقیاس کوچک. در این زمینه پروژه های زیادی انجام شده که به برخی از آنها در حوزه های مختلف در ادامه اشاره می شود.

۴-۳-۳-۱ تولید الکتریسیته

در زمینه تولید الکتریسیته پروژه‌های زیادی تعریف شده که به دو مورد از این پروژه‌ها به طور مختصر پرداخته شده است.

۴-۳-۳-۱-۱ WINDSPEED پروژه

استفاده از انرژی باد در ساحل دریا می‌تواند به میزان قابل توجهی در افزایش سهم انرژی تجدیدپذیر در ترکیب انرژی اروپا کمک کند. با این حال، استفاده رقابتی از دریا، هزینه‌ها، یکپارچه‌سازی شبکه و سایر موانع از چالش‌های مهم توسعه باد دریایی است. WINDSPEED قصد دارد نقشه راهی را برای تعریف هدف واقعی و مسیر توسعه تا سال ۲۰۳۰ برای انرژی بادی در مرکز و جنوب دریای شمال توسعه دهد. این نقشه راه همچنین موانع و شرایط احتمالی مازاد در شبکه برق شمال اروپا را به همراه توصیه‌های سیاستی در مورد چگونگی مقابله با این موارد شناسایی می‌کند. کل بودجه این پروژه ۱.۴۵۶.۰۶۳۱ یورو بوده که ۷۰ درصد از آن توسط اتحادیه اروپا پرداخت شده است [۱۲].

۴-۳-۳-۲ PV GRID پروژه

هدف کلی پروژه PV GRID کاهش موانع نظارتی و اداری است که مانع از ادغام انرژی فتوولتائیک (PV) در سیستم‌های توزیع برق در مقیاس بزرگ می‌شوند و در عین حال نیز انتقال دانش بین کشورهای اروپایی را تسهیل می‌کند. از این لحاظ، پروژه در درجه اول برافزایش ظرفیت میزبانی PV در شبکه‌های توزیع با حمایت از تصویب راه‌حل‌های فنی موجود و در درجه دوم، بر ارزیابی چارچوب‌های ملی برای توسعه تأسیسات PV متمرکز شده است.

ارزیابی و مقایسه چارچوب‌های ملی برای توسعه و بهره‌برداری از سیستم‌های PV در ۱۶ کشور اروپایی در یک پایگاه داده آنلاین جمع‌آوری شده است. این پروژه مجموعه‌ای از راه‌حل‌های فنی مناسب برای ادغام PV در مقیاس بزرگ را با توجه به عوامل مختلف اجرایی شناسایی می‌کند. بر اساس اثربخشی این راه‌حل‌های فنی و همچنین بازخورد دریافتی از متخصصان این حوزه، نقشه راهی برای "افزایش ظرفیت میزبانی PV" تهیه شده است. کل بودجه این پروژه ۲.۴۷۱.۸۸۰ یورو بوده که ۷۳ درصد از آن توسط اتحادیه اروپا پرداخت شده است.

۴-۳-۳-۲ گرمایش و سرمایش

در زمینه سرمایش و گرمایش پروژه‌های زیادی انجام شده که به دو مورد اختصاراً پرداخته می‌شود.

۴-۳-۳-۲-۱ GEODH پروژه

هدف از پروژه GEO-DH تسریع در جذب حرارت منطقه‌ای زمین‌گرمایی برای اطمینان از امنیت در تأمین و جایگزینی سوخت‌های فسیلی است. امروزه فن‌آوری گرمایش منطقه‌ای زمین‌گرمایی در حال توسعه است. هدف GEODH از بین بردن موانع اداری و مالی و همکاری در کنار تصمیم‌گیرندگان برای تسهیل در تصویب چارچوب مناسب است. پروژه GEO-DH بر توسعه سیستم‌های گرمایش منطقه‌ای زمین‌گرمایی در اروپای شرقی و مرکزی تمرکز کرده است. توصیه‌هایی (اداری، حقوقی، مالی و مدیریتی) برای رفع موانع شناسایی شده و کمک به تسریع نفوذ بازار این فن‌آوری تهیه شده است. اشتراک بهترین روش در فناوری‌ها و مکانیسم‌های پیاده‌سازی و تحویل از طریق برگزاری کارگاه‌های هدفمند در مناطق محلی و ادارات مسئول در ۱۴ کشور هدف حاصل خواهد شد. همچنین کمپین تبلیغاتی همراه نیز باعث افزایش آگاهی در مورد کاربردها و مزایای فناوری‌های زمین‌گرمایی می‌شود [۱۳].

۴-۳-۳-۲-۲ RESCUE پروژه

انتظار می‌رود که تقاضای انرژی خنک‌کننده در آینده در اروپا، به‌ویژه در مناطق شهری، به‌طور قابل‌توجهی افزایش یابد. خنک‌کننده منطقه‌ای این امکان را دارد که هم در مصرف انرژی و هم در هزینه صرفه‌جویی کند و در نتیجه با کاهش مصرف اولیه انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای به حفاظت از آب‌وهوا و محیط‌زیست کمک نماید. هدف پروژه پیشنهادی پرداختن به چالش‌های اصلی توسعه و اجرای بیشتر خنک‌سازی منطقه‌ای برای غلبه بر سهم بازار کوچک آن است. در نتیجه جوامع محلی را قادر می‌سازد تا از مزایای زیست‌محیطی و اقتصادی این فن‌آوری بالغ بهره‌مند شوند. در این پروژه، یک بسته حمایتی متشکل از روش، مجموعه ابزارها و راهنمایی‌های عملی برای سیاست‌گذاران، برنامه‌ریزان انرژی و کارکنان فنی فراهم‌شده و به‌صورت آزمایشی در کنار تعدادی از شهرها و دولت‌های محلی اجرا می‌شود که به شهرداری‌ها و خدمات محلی در شناخت مزایایی که خنک‌کننده منطقه‌ای می‌تواند ارائه دهد کمک می‌کند و برای ارزیابی پتانسیل حضور سیستم خنک‌کننده منطقه‌ای در محل آن‌ها است.

۴-۳-۳-۳ بیوسوخت

در زمینه بیوسوخت پروژه‌های زیادی تعریف‌شده است که یکی از این موارد پروژه GR3 است. بودجه کل این پروژه ۱.۵۷۲.۷۰۵ یورو بوده است که ۷۵ درصد از آن توسط اتحادیه اروپا پرداخت‌شده است.

پروژه GR3 استفاده از چمن و سایر بقایای علفی را به‌عنوان منبع بیوگاز در بلژیک، ایتالیا، آلمان، دانمارک و پرتغال ترویج خواهد داد. پتانسیل انرژی این باقی‌مانده‌ها در سراسر اروپا هنوز بدون استفاده باقی‌مانده است. موانع این کار شامل ناکافی بودن آگاهی و پذیرش فناوری‌های مناسب برای چمن‌زنی، ذخیره‌سازی و هضم بی‌هوازی بقایای چمن، عدم وجود یا عدم همکاری بین سهام‌داران در طول زنجیره ارزش و همچنین موانع قانونی هستند. در نتیجه زنجیره‌های تأمین مناسب از بقایای چمن تا کارخانجات بیوگاز تا حد زیادی در ۵ منطقه هدف و فراتر از آن وجود ندارد. این پروژه با انتقال دانش بین کشورها تقویت‌شده و بازیگران اصلی بازار را گرد هم آورده و به آن‌ها و همچنین تصمیم‌گیرندگان توصیه‌های فنی، سرمایه‌گذاری و قانون‌گذاری ارائه می‌دهد. این امر باعث شروع سرمایه‌گذاری در زنجیره‌های ارزش باقیمانده چمن و افزایش جذب آن‌ها در بازار به‌عنوان ماده اولیه بیوگاز می‌شود. از چمنزارهای دائمی در برابر تغییرات کاربری اراضی محافظت می‌کند و مدیریت زیست‌محیطی را افزایش می‌دهد.

۴-۳-۳-۴ بیو انرژی و بیو تجارت

پروژه BIOEUPARKS با هدف ایجاد و ترویج زنجیره‌های تأمین بیو ماده محلی از مدیریت جنگل‌ها و بقایای کشاورزی در پارک‌های طبیعی انجام‌شده است. این پروژه یک روش برای طراحی و مدیریت زنجیره‌های تأمین بیو ماده مبتنی بر زنجیره‌های کوتاه و تأسیسات در مقیاس کوچک در مناطق حفاظت‌شده با رعایت پایداری زیست‌محیطی و اقتصادی-اجتماعی ایجاد، آزمایش و انتقال داده است. هر پنج پارک شرکت‌کننده رویکرد مشارکتی را در پیش گرفتند که در آن اهداف و برنامه‌ریزی با ذینفعان اصلی محلی به‌منظور جلوگیری و کاهش تعارضات اجتماعی به اشتراک گذاشته‌شده است [۱۴]. فعالیت‌ها در چهار مرحله کلان سازمان‌دهی شدند:

- ۱) کمپین‌های آگاهی بخشی برای جوامع محلی و توسعه روش‌هایی برای کاهش خطر درگیری‌های اجتماعی.
- ۲) توسعه زنجیره‌های تأمین بیو ماده پایدار در هر یک از پنج پارک شرکت‌کننده. بازیگران اصلی محلی با شرکت در میزگردها و خواندن یادداشت تفاهم درگیر روند تصمیم‌گیری شدند.

۳) فعالیتهای انتقال دانش برای گروه بزرگی از ذینفعان. رهنمودهایی برای پارکهای طبیعی علاقه‌مند تهیه و نتایج پروژه در یک کنفرانس بین‌المللی اختصاصی ارائه شد.

۴) دسترسی بیشتر به پروژه از طریق تولید اطلاعات آگاهی‌دهنده و سازمان‌دهی ۶ کنفرانس ملی.

۴-۳-۴ انرژی در حمل‌ونقل

زمینه انرژی در حمل‌ونقل به چهار دسته سوخت‌ها و خودروهای جایگزین، خودروهای پاک، حمل‌ونقل کم‌مصرف و ظرفیت‌سازی محلی تقسیم می‌شود که تعدادی از این پروژه‌ها در ادامه به‌طور مختصر مورد بررسی قرار می‌گیرند.

۴-۳-۴-۱ حمل‌ونقل کم‌مصرف

زیرشاخه حمل‌ونقل کم‌مصرف نسبت به دیگر زیرشاخه‌های انرژی در حمل‌ونقل تعداد پروژه بیشتری را در بر گرفته است. در ادامه به دو مورد از پروژه‌های این دسته اشاره می‌شود.

۴-۳-۴-۱-۱ پروژه SWITCH

ترافیک خودرو منبع اصلی انتشار گازهای گلخانه‌ای است و از بسیاری جهات بر کیفیت زندگی شهری تأثیر می‌گذارد. هدف اصلی پروژه SWITCH کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و مصرف انرژی اولیه با تغییر سفرهای خودرویی به پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری برای سفرهای کوتاه‌مدت شهری است. حالت‌های فعال، مانند پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری اساس رفتار حمل‌ونقل چندگانه سالم و سازگار با محیط‌زیست با هم‌افزایی برای حمل‌ونقل عمومی هستند. رویکرد SWITCH از برنامه‌ریزی سفر شخصی برای ترغیب مردم به تغییر سفرهای خودرویی به حالت‌های فعال استفاده کرده است. نوآوری در این پروژه شامل موارد زیر است:

- ۱) ترکیبی از رویکردهای برنامه‌ریزی سفر شخصی آزمایش‌شده
- ۲) کاربرد آن‌ها برای گروه‌های هدف در مقیاس بزرگ
- ۳) استفاده از راه‌حل‌های فن‌آوری اطلاعات و ارتباطات (ICT) مانند برنامه‌های تلفن‌های هوشمند و دستگاه‌های هوشمند سلامتی

۴) استفاده از استدلال‌های سلامت عمومی برای ایجاد انگیزه در تغییر رفتار. پنج کمپین محلی با استفاده از یک رویکرد سه مرحله‌ای یک کمپین SWITCH را اجرا کردند که این رویکردها عبارت بودند از: افزایش آگاهی، انتقال دانش و ایجاد انگیزه در تغییر رفتار. یک فرایند کلی و ارزیابی کمی خروجی در کمپین ایجاد شد. مجموعه‌ای از اسناد، کارگاه‌ها و وبینارهای آموزشی برای ترغیب شهرهای خارج از کنسرسیوم برای دنبال کردن رویکرد SWITCH نیز تهیه شده است.

۴-۳-۴-۲ پروژه BIKE2WORK

کل بودجه برای این پروژه ۱.۸۴۲.۰۵۵ یورو بوده است که ۷۵ درصد از آن توسط اتحادیه اروپا پرداخت شده است. هدف اصلی BIKE2WORK دستیابی به یک تغییر قابل‌توجه در مصرف انرژی از حالت‌های موتور به دوچرخه‌سواری با معرفی برنامه‌های تغییر رفتار به کارفرمایان است که رفتار مسافران را به‌طور اساسی تغییر می‌دهد. BIKE2WORK دو زمینه عمل را ترکیب می‌کند:

۱) کمپین‌های BIKE2WORK که باعث ارتقای علاقه کارفرمایان به دوچرخه می‌شود. کمپین‌های موجود BIKE2WORK در تغییر رفتار شرکت‌کنندگان بسیار مؤثر هستند زیرا بر اساس روش‌های اثبات‌شده تغییر رفتار برگرفته از حوزه‌های دیگر مانند بهداشت عمومی و صرفه‌جویی در انرژی هستند.

۲) به‌طور مشابه، دوچرخه‌سواری یک کارفرما تأثیر اثبات‌شده‌ای بر تعداد کارمندانی دارد که از دوچرخه‌سواری برای رسیدن به محل کار استفاده می‌کنند و همچنین نشان داده‌شده است که این دو روش یکدیگر را تقویت می‌کنند. در نتیجه حمایت کارفرمایان و کمپین‌ها اگر به‌صورت مکمل پیاده شوند می‌توانند موفقیت‌آمیزتر باشند.

۴-۳-۲ سوخت‌ها و خودروهای جایگزین

۴-۳-۴-۱ پروژه eBRIDGE

وسایل نقلیه الکتریکی تمام الزامات را برای تبدیل شدن به یک بازیگر اصلی در سیستم‌های حمل‌ونقل شهری برآورده می‌کنند: آن‌ها تمیز، کارآمد و بی‌سروصدا هستند. با این حال، هنوز موانع اصلی برای جذب وسیع‌تر اتومبیل‌های الکتریکی باقی است. هزینه‌های بالاتر در مقایسه با وسایل نقلیه معمولی، قابلیت اطمینان و پذیرش طیف خودروهای برقی و همچنین نیاز به شبکه زیربنای شارژ متراکم و استاندارد. هدف پروژه eBRIDGE این است که نشان دهد که ورود خودروهای الکتریکی در ناوگان حمل‌ونقل برای استفاده شرکتی و خصوصی در شهرها می‌تواند به غلبه بر این موانع کمک کرده و به‌طور مؤثر در بهبود شرایط بازار برای بخش حمل‌ونقل الکتریکی کمک کند. گروه‌های اصلی، کاربران اتومبیل و ناوگان در خدمت شرکت‌های خصوصی، اپراتورهای اشتراک‌گذاری خودرو، ادارات محلی و اپراتورهای حمل‌ونقل عمومی هستند که در طول پروژه و بعد از آن با ماشین‌های الکتریکی درگیر هستند. هفت مطالعه موردی در شش کشور اقداماتی را برای بهینه‌سازی عملکرد ناوگان عملیاتی انجام داده و راه‌حلهایی را برای تسهیل استفاده از پیشنهادها، اشتراک خودرو تست و اجرا کرده و آگاهی را در بین گروه‌های هدف و سایر ذینفعان مربوطه در مورد مناسب بودن حمل‌ونقل الکتریکی برای حمل‌ونقل شهری و رفت‌وآمد افزایش داده‌اند.

۴-۳-۴-۳ خودروهای پاک

پروژه I-CVUE قصد دارد با افزایش تعداد خودروهای برقی (EV¹) در ناوگان بزرگ در مناطق شهری، میزان انتشار CO₂ در محیط‌های شهری را کاهش دهد. این پروژه با پایش اپراتورهای بزرگ ناوگان شهری در اروپا، به آن‌ها تجزیه و تحلیل و مانیتورینگ رایگانی از استفاده EV و چارچوبی که مسئولین بتوانند از آن برای تنظیم برنامه‌های تشویقی ناوگان متناسب با افزایش جذب EV ها با توجه به شرایط اقتصادی-اجتماعی شهر یا منطقه استفاده کنند، فراهم می‌کند. ابزارهای مبتنی بر وب نیز توسعه داده خواهد شد تا سیاست‌گذاران بتوانند اثربخشی مشوق‌های مختلف را برای منطقه خاص خود ارزیابی کنند. این پروژه با تجزیه و تحلیل ترکیب و کاربرد واقعی وسیله نقلیه و ترکیب آن با تجزیه و تحلیل هزینه کل زندگی، به جذب واقعی EV در ناوگان بزرگ شهری دست خواهد یافت. مدل پایش بر اساس اجرای موفقیت‌آمیز مدل‌هایی در انگلیس و اتریش بوده است. تنوع ناوگان انتخاب‌شده برای شرکت در پروژه مانند اجاره و لیزینگ، تدارکات و ناوگان شرکتی، تضمین می‌کند که نتایج پروژه بسیار قابل تکرار باشد. I-CVUE انتقال اصول و مشوق‌های بهترین روش را از طریق تهیه چارچوبی تشویقی برای حمایت از جذب EV، تسهیل کرده است.

¹ Electric vehicle

۴-۳-۴ ظرفیت‌سازی محلی

شهرهای پیشرو در اروپا سهمی معادل ۲۰ درصد دوچرخه‌سواران را دارند. با این وجود این آمار در بیشتر شهرهای کشورهای اروپای مرکزی بسیار کمتر از ۲۰ درصد است. هدف پروژه MOBILE2020 این است که دینفعان در شهرهای کوچک و متوسط این کشورها بتوانند سهم خود را از دوچرخه‌سواری به عنوان شیوه حمل و نقل روزمره افزایش دهند. مثال‌های عملی و رهنمودهای خوبی وجود دارد اما ترجمه و تنظیم آن‌ها با شرایط ملی و ارتقا فعالانه آن‌ها برای داشتن دامنه گسترده بسیار مهم است. برای پشتیبانی از اهداف EU2020، اطلاع‌رسانی سیستماتیک به شهرها بسیار مهم است. ایجاد کارگروه‌های ملی دوچرخه‌سواری در کشورهای هدف باعث توسعه طولانی‌مدت دوچرخه‌سواری می‌شود و به حفظ تخصص و تبادل در سطح بالا کمک می‌کند. MOBILE2020 برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیرندگان شهرداری را قادر می‌سازد تا سرمایه‌گذاری‌های صحیح انجام دهند، روش‌های برنامه‌ریزی خود را بهبود بخشند و باعث تغییر در رفتار حمل و نقل شوند. در برنامه اولیه این پروژه قرار بر این بوده که این کار باید با ایجاد ظرفیت (سمینارها، آموزش‌ها، بازدیدهای مطالعاتی) در ۱۱ کشور اروپا انجام شود و همچنین با افزایش ظرفیت ۱۱ سازمان توسعه‌دهنده و انتشار اقدامات خوب در سطح کشورها، MOBILE2020 به بیش از ۳۵۰ شهر برسد.

۴-۳-۵ ابتکارات ترکیبی

در زمینه ابتکارات ترکیبی ایده‌هایی که به صورت ترکیبی از سه زمینه بهره‌وری انرژی و استفاده منطقی از انرژی، منابع تجدیدپذیر و حمل و نقل مطرح می‌شوند که به طور کلی به ۸ شاخه تقسیم شده‌اند. این شاخه‌ها عبارت‌اند از: ایجاد مهارت‌ها، بهره‌وری انرژی علاوه منابع تجدیدپذیر انرژی در خانه، ابتکارات انرژی کم‌مصرف در مصارف عمومی، مکانیزم‌های اقتصادی و مشوق‌ها، هدایت انرژی محلی، تحرک سرمایه‌گذاری در انرژی محلی، پایش و ارزیابی و مجامع انرژی پایدار. در ادامه به تعدادی از شاخه‌ها و پروژه‌های مرتبط به آن‌ها پرداخته شده است.

۴-۳-۵-۱ پایش و ارزیابی

یکی از پروژه‌های بزرگی که در این زمینه وجود دارد پروژه Energy Efficiency Watch (EEW) می‌باشد که در سه فاز تعریف شده است. در مورد سه فاز این پروژه در ادامه توضیحاتی بیان شده است.

۴-۳-۵-۱-۱ فاز اول پروژه EEW

کل بودجه این فاز ۴۳۸.۲۱۱ یورو بوده است که ۵۰ درصد آن توسط اتحادیه اروپا تأمین شده است. پروژه EEW اقدامات، ابزارها و فعالیت‌های خوب سیاسی و قانونی را در زمینه بهره‌وری انرژی در چارچوب "برنامه‌های اقدام ملی بهره‌وری انرژی" (NEEAPS) رصد و برجسته کرده است. همکاران EEW معیارهایی را توسعه داده و در دو مرحله غربالگری NEEAP را انجام دادند. نتایج به صورت خلاصه در یک گزارش و یک بروشور سیاست‌گذاری عملی مناسب ارائه شده است. در طول ارزیابی، صنایع با بهره‌وری انرژی و سازمان‌های غیردولتی نیز به عنوان ارائه‌دهنده‌های ورودی و محتوا ادغام شدند. نتایج EEW در شبکه‌ای در سرتاسر اتحادیه اروپا در زمینه بهره‌وری انرژی منتشر شده و همچنین در رویدادهای مهمی به نمایندگان مجلس ملی و کارمندان دولت منتقل شده است.

۴-۳-۵-۲ فاز دوم پروژه EEW

کل بودجه فاز دوم ۱.۱۷۳.۰۲۵ یورو بوده است که ۷۵ درصد آن توسط اتحادیه اروپا تأمین شده است. هدف خاص پروژه EEW2 ادامه کار انجام شده توسط پروژه EEW1 و تسهیل روند اجرای بخشنامه خدمات انرژی بود. گروه‌های

اصلی نمایندگان مجلس در سطح اروپا، نمایندگان ملی و منطقه‌ای و همچنین کارمندان دولت بودند که در زمینه اجرای بخشنامه خدمات انرژی کار می‌کردند. هدف EEW2 همچنین ایجاد یک شبکه قوی‌تر با مناطق و شهرهایی است که از اهمیت بالاتری برای اجرای سیاست‌های بهره‌وری انرژی مندرج در NEEAP استفاده می‌کنند. برای مثال شرکت‌های ECEEE، Energie Cités و FEDARENE شرکای فعال کنسرسیوم پروژه بودند و ارتباط ویژه‌ای با Covenant of Mayors برقرار شد. هدف این پروژه همچنین افزایش ارتباط با سایر بازیگران اصلی (صنعت و سازمان های NGO) در زمینه بهره‌وری انرژی خارج از کنسرسیوم پروژه بود.

۳-۴-۵-۱-۳ فاز سوم پروژه EEW

کل بودجه فاز سوم ۱.۷۴۲.۸۵۸ یورو بوده است که ۷۵ درصد آن توسط اتحادیه اروپا تأمین شده است. هدف اصلی EEW3 ایجاد یک حلقه بازخورد در مورد اجرای سیاست‌های بهره‌وری انرژی در سطح اروپا و ملی است که منجر به امکان یادگیری متقابل در مورد سیاست‌گذاری مؤثر در سراسر اتحادیه اروپا می‌شود. EEW3 پیشرفت سیاست‌های ملی، اسناد قانونی و دانش متخصصان را از طریق یک مرور گسترده در سراسر اتحادیه اروپا بررسی کرده و پلتفرم‌های جدید مشاوره را توسط طیف گسترده‌ای از سهامداران ایجاد کرد است. این پروژه ۲۸ گزارش از کشورهای مختلف را جمع‌آوری کرده و نتیجه‌گیری‌های استراتژیکی برای سیاست‌های مؤثرتر فراهم می‌کند. همچنین ۱۰ نمونه مطالعه از بسته‌های سیاست‌گذاری با اجرای مناسب و یک گزارش حلقه بازخورد ارائه می‌دهد. بدین ترتیب این پروژه قصد دارد اجرای سیاست‌های بهره‌وری انرژی اروپا در سمت تقاضای انرژی را بهبود بخشد مانند دستورالعمل جدید بهره‌وری انرژی به‌عنوان محور اصلی EEW3، همچنین سیاست‌های مرتبط مانند دستورالعمل بازدهی انرژی در ساختمان‌ها و دستورالعمل (ErP) Eco-Design در سطح ملی و در سطوح منطقه‌ای و محلی. EEW3 باهدف حمایت از کار سیاسی در زمینه بهره‌وری انرژی قصد دارد درک موفقیت یا شکست سیاست‌ها را افزایش دهد و دلایل اختلافات بین قانون و واقعیت را با ایجاد یک روند بازخورد مداوم در سراسر اروپا نشان دهد. EEW3 قصد دارد اقدامات سیاسی را بین تصمیم‌گیرندگان، به‌ویژه در بین نمایندگان مجلس (مجلس اروپا، مجلس‌های ملی اتحادیه اروپا) ایجاد کند [۱۶].

۳-۴-۵-۲ بهره‌وری انرژی بعلاوه انرژی تجدیدپذیر در خانه

۳-۴-۵-۱-۲ پروژه LEAF

کل بودجه پروژه ۱.۰۰۹.۳۲۲ یورو بوده است که ۷۵ درصد از اعتبار آن را اتحادیه اروپا پرداخت کرده است. هدف LEAF (با نام قبلی LER-MUH) غلبه بر محدودیت‌های موجود در مورد EPC^۱ ها و مالکیت چندگانه در مسکن‌های چند نفره می‌باشد. جعبه‌ابزار فنی و تعامل برای کمک به مدیران دارایی و ساختمان در مقاوم‌سازی این ساختمان‌ها در دست‌ساخت است. پروژه LEAF با ۲۴ ساختمان نمونه برای ایجاد شکل اولیه مجموعه ابزارها شروع شده است. قدم‌های اصلی این پروژه عبارت‌اند از:

^۱Energy Performance Contract

- تولید یک جعبه‌ابزار فنی: یک ابزار نرم‌افزاری اختصاصی که اطلاعاتی را در مورد اقدامات بهبود به صاحبان املاک ارائه می‌دهد. این شامل راهنمایی‌هایی در مورد EPC ها، رفتار کاربر، هزینه‌ها، یارانه‌ها و پس‌اندازهای احتمالی از موارد عمومی است.
- تدوین یک جعبه ابزار تعامل برای مقاوم‌سازی ساختمان‌های دارای مالکیت چندگانه که حاوی راهنما و منابع برای مدیران ساختمان است. این بخش شامل تعامل با ساکنان، تصمیم‌گیری و ارزیابی است.
- ۲۴ ساختمان نمونه برای استفاده آزمایشی از ابزار نرم‌افزاری و جعبه‌ابزار تعامل انتخاب شده‌اند تا پروژه‌های مقاوم‌سازی در یک برنامه عملیاتی توافق شده اجرا شوند.
- توصیه‌های خط‌مشی به سیاست‌گذاران محلی، منطقه‌ای و ملی.

۴-۳-۵-۲ پروژه AIDA

بودجه این پروژه معادل ۱.۴۹۵.۲۴۴ یورو بوده که ۷۵ درصد از آن را اتحادیه اروپا متقبل شده است. پروژه AIDA باهدف تسریع ورود ساختمان‌های انرژی تقریباً صفر به بازار (nZEB) انجام شد. این به معنای ساختمان‌های با مصرف کم انرژی و استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر است که هر دو توسط قوانین اروپا برجسته شده‌اند (به‌عنوان مثال 2010/31/EU). برای گسترش دانش در مورد nZEB، اقدامات زیادی وجود نداشت. افزایش آگاهی نسبت به nZEB در بین مقامات محلی و برنامه ریزان ساختمانی به یک عامل اساسی تبدیل شد؛ بنابراین، به‌طور خاص گروه هدف AIDA در درجه اول نمایندگان شهرداری به‌عنوان چند برابر کننده بازار در سمت تقاضا و همچنین معماران و سازندگان اصلی در سمت عرضه بودند. AIDA اقدام متناسب با هر یک از این گروه‌ها را شامل سفرهای تحصیلی، پشتیبانی فعال از شهرداری‌ها و همکاری نزدیک با بازیگران اصلی، مانند انجمن‌های شهرداری‌ها و متخصصان ساختمان را پیشنهاد کرده است. به‌طور خلاصه هدف اصلی AIDA ایجاد بازار گسترده nZEB و همچنین کاهش مصرف انرژی و انتشار کربن بود.

۴-۳-۵-۳ مکانیزم‌های اقتصادی و مشوق‌ها

بودجه پروژه FINA-RET معادل ۷۶۰.۳۳۸ یورو بوده است که ۵۰ درصد از آن توسط اتحادیه اروپا تأمین مالی شده است. منابع و تلاش قابل‌توجهی تاکنون در سطح اروپا به‌منظور حمایت از توسعه و اجرای فناوری‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی اختصاص داده شده است. بااین‌وجود، هنوز عوامل غیرفنی وجود دارند که به‌عنوان موانعی در اجرای آن‌ها عمل می‌کند. ازجمله این موارد، کمبود تولیدات مالی برای سرمایه‌گذاری در مقیاس کوچک است. هدف پروژه FINA-RET پشتیبانی از کاهش اثرات این عامل از طریق شناسایی، تعیین مشخصات و بسته‌بندی محصولات مالی پایدار، انعطاف‌پذیر و با دسترسی آسان (به‌عنوان مثال وام، برنامه‌های پشتیبانی مالی و اعطای جوایز) است که عمدتاً به افراد و شرکت‌هایی که مایل به سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر و فناوری‌های بهره‌وری انرژی هستند ارائه می‌شود تا نیازهای انرژی و افزایش بازدهی انرژی آن‌ها برآورده شود؛ بنابراین یک فرآیند سیستماتیک استخراج نیازهای کاربر و ویژگی‌های محصول تأمین مالی موردبررسی مشخص شده است که شامل اجرای نظرسنجی‌ها در پنج کشور کنسرسیوم، اعتبارسنجی و انتشار نتایج پروژه است [۱۷].

۴-۳-۵-۴ تحرک سرمایه‌گذاری برای انرژی محلی

پروژه TOGETHER 2020 قصد دارد یک اقدام هماهنگ را با مشارکت مسئولان منطقه‌ای، استانی و محلی، مؤسسات مالی و صنایع / سرمایه‌گذاران محلی را آغاز کرده و یک برنامه سرمایه‌گذاری مبتنی بر مشارکت‌های عمومی-خصوصی

و سرمایه‌گذاری شخص ثالث را اجرا نماید. فعالیت‌های دیگری نیز به‌منظور حمایت از صنایع و سرمایه‌گذاران محلی و اقدامات هماهنگ با بانک‌ها و مؤسسات مالی برای توسعه تسهیلات مالی اجرا شده است. این پروژه برای تجدیدنظر بهره‌وری انرژی بیش از ۶۰ ساختمان عمومی و چندین نقطه روشنایی خیابان عمومی با سرمایه‌گذاری کلی ۹.۴۲۰.۲۱۴ یورو سرمایه‌گذاری کرده است. TOGETHER 2020 بستر آزمایشی ایده آلی برای اجرای یک رویکرد نوآورانه در سرمایه‌گذاری برای بهره‌وری انرژی برای بخش عمومی است. نتایج این پروژه می‌تواند برای سایر طرح‌های سرمایه‌گذاری EPC در اتحادیه اروپا اعمال شود و در چارچوب برنامه^۱ ERDF به سطح منطقه گسترش یابد.

۴-۴ پروژه‌های مدیریت هوشمند انرژی در قاره آسیا و اقیانوسیه

۴-۴-۱ مدیریت هوشمند انرژی در هند

کشور هند ۱۸ درصد از جمعیت جهان و ۶ درصد از مصرف انرژی عمده جهان را در اختیار دارد. بر اساس پیش‌بینی‌ها جمعیت شهرنشین هند تا سال ۲۰۵۰ از ۳۱/۶ درصد به ۵۷/۷ خواهد رسید که منجر به افزایش مصرف انرژی و انتشار گازهای کربن و گلخانه‌ای خواهد شد. به همین دلیل مدیریت و کاهش تقاضای انرژی، مصرف انرژی و انتشار کربن مرتبط با انرژی به‌عنوان یکی از چالش‌های اساسی برنامه‌ریزی شهری در هند محسوب می‌شود. دولت هند در حال تدوین سیاست‌ها و برنامه‌هایی برای هدایت جریان اصلی مدیریت هوشمند انرژی در برنامه‌ریزی شهری است. برای تأمین انرژی شهروندان و کاهش انتشار کربن، دولت هند بر روی دو بعد عرضه و تقاضا متمرکز شده است. در زمینه تولید برق، تمرکز بر استفاده بیشتر از انرژی‌های تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی و بادی است. در چشم‌انداز سیاست‌های فعلی، تلاش بر عرضه انرژی ملی و مدیریت تقاضا از طریق فناوری‌های پیشرفته است. علاوه بر این، مطابق با^۲ INDSs، استراتژی برای کاهش ۳۳ تا ۳۵ درصدی شدت انتشار تولید ناخالص داخلی (GDP^۳) و افزایش ۴۰ درصدی تولید انرژی بدون استفاده از سوخت‌های فسیلی تا سال ۲۰۳۰ تدوین شده است. در سمت تقاضا، تلاش می‌شود تا از طریق اقدامات سیاست‌گذاری‌های نوآورانه که در محدوده قانون نگهداری انرژی در سال ۲۰۰۱ است، کارایی انرژی را بهبود یابد. در ادامه به تعدادی از مهم‌ترین سیاست‌گذاری‌ها اشاره شده است [۱].

۱- قانون نگهداری انرژی (EC Act^۴)، ۲۰۰۱، اصلاح‌شده در سال ۲۰۱۰

این قانون توسط وزارت نیرو به‌منظور کاهش شدت مصرف انرژی تصویب شد. در سال ۲۰۰۲، دفتر بهره‌وری انرژی (BEE^۵) به‌عنوان نهادی قانونی برای اجرای قانون نگهداری انرژی تأسیس شد. این قانون، قانون حفظ انرژی در ساختمان (ECBC^۶)، استانداردسازی و برچسب‌گذاری تجهیزات و وسایل برقی خانگی و قواعد مصرف انرژی برای صنایع پرانرژی را تنظیم می‌کند. تخمین زده شده است که با اجرای ECBC، مصرف انرژی تا سال ۲۰۳۰ حداقل ۵۰ درصد کاهش یابد. این قانون برای اجرا و بهبود بهره‌وری انرژی نیاز به همکاری نهادهای مشخص در سطح ایالتی دارد. از طریق این قانون، BEE یک سری ابتکارات صرفه‌جویی در مصرف انرژی در زمینه‌های روشنایی منازل، ساختمان‌های تجاری، استانداردها و برچسب‌گذاری‌های لوازم خانگی را آغاز کرده است. به‌عنوان مثال، برنامه برچسب بهره‌وری انرژی

^۱European Regional Development Fund

^۲Intended Nationally Determined Contributions

^۳Gross Domestic Product

^۴The Energy Conservation Act

^۵Bureau of Energy Efficiency

^۶Energy Conservation Building Code

برای کاهش مصرف انرژی تجهیزات بدون ایجاد اختلال در عملکرد طراحی شده است. این قانون همچنین استانداردهای انرژی حداقلی را برای ساختمان‌های تجاری جدید در سراسر هند تعیین می‌کند.

۲- مأموریت ملی در مورد بهبود بهره‌وری انرژی (NMEEE¹), ۲۰۱۰

این مأموریت ملی، تحت برنامه ملی اقدامات در مورد تغییرات آب‌وهوا (NAPCC²), زیر نظر EC Act آغاز شده است. خدمات بهره‌وری انرژی محدود (EESL³) که به‌عنوان یک‌نهاد تجاری در راستای این مأموریت ایجاد شده است، رهبری بازار را بر عهده دارد. هدف NMEEE پاسخگویی به نیازهای انرژی کشور و تأمین بهره‌وری انرژی است. با اجرای کامل NMEEE، تقریباً ۲۳ میلیون تن سوخت در سال ذخیره‌شده و میزان انتشار کربن ۹۵/۵۵ میلیون تن در سال کاهش می‌یابد. فاز اول این مأموریت بانام (2012-2015) (PAT⁴) میزان انتشار کربن را ۳۱ میلیون تن (معادل ۱/۹۳٪ از کل انتشار کربن در هند) کاهش داده است.

۳- مأموریت ملی زیست‌بوم پایدار

هدف اصلی این مأموریت، یکپارچه‌سازی سازگاری با تغییرات آب و هوایی و کاهش تغییرات با برنامه‌ریزی شهری است. این امر با بهبود راندمان انرژی ساختمان‌ها، مدیریت پسماندهای جامد و استفاده بیشتر از حمل‌ونقل عمومی حاصل می‌شود. بر اساس تخمین‌ها، این قانون می‌تواند مصرف انرژی را تا سال ۲۰۳۰، ۵۰ درصد کاهش دهد. در راستای این مأموریت، BEE همچنین دستورالعمل‌های طراحی بهره‌وری انرژی را برای ساختمان‌های مسکونی چندطبقه در آب‌وهوای مختلف از جمله، گرم و خشک، شرجی و سرد ایجاد کرده است. در زمینه ساختمان‌های سبز و بهره‌وری انرژی، قانون ساختمان سبز در نظام‌نامه CPWD⁵ گنجانده شده است. به همین منظور، تعدادی از فعالیت‌های پیش‌بینی‌شده تحت NMSH در مأموریت بازیابی و تحول شهری (AMRUT⁶) Atal گنجانده شده است. اجرای پیاده‌راه‌ها، مسیرها برای وسایل نقلیه غیرموتوری و حمل‌ونقل عمومی و همچنین ایجاد و بهسازی فضای سبز شهری، پارک‌ها و مراکز تفریحی نمونه‌هایی از این فعالیت‌ها هستند.

۴- مأموریت ملی انرژی خورشیدی (NSM⁷), ۲۰۱۰

NSM که زیر نظر NAPCC راه‌اندازی شده است، یک استراتژی جامع برای توسعه مرحله‌ای برنامه‌های سیستم‌های خورشیدی متصل و مستقل به/از شبکه در نظر گرفته است. بر اساس وزارت انرژی‌های نو و تجدیدپذیر (MNRE⁸) هند، هدف از این کار فراهم کردن محیطی مناسب برای نفوذ و گسترش فن‌آوری خورشیدی در این کشور است. هدف اولیه NSM تولید ۲۰ گیگاوات انرژی خورشیدی متصل به شبکه بوده است. این هدف‌گذاری در سال ۲۰۱۴، به ۱۰۰ گیگاوات برای سال ۲۰۲۲ تعیین شده است. این مأموریت اهداف جداگانه‌ای را برای شهرهای خورشیدی، گرمایش آب خورشیدی، روشنایی خیابان خورشیدی، آشپزی خورشیدی، یخچال و سایر برنامه‌های مستقل از شبکه و سیستم‌های

¹ National Mission on Enhanced Energy Efficiency

² National Climate Change Action Plan on Climate Change

³ Energy Efficiency Services Limited

⁴ Perform, Achieve and Trade

⁵ Central Works Department

⁶ Atal Recovery and Urban Transformation Mission

⁷ National Solar Mission

⁸ Ministry of New and Renewable Energy

پشت‌بامی ارائه داده است. به‌عنوان مثال، برنامه شهرهای خورشیدی برای ایجاد انگیزه در شهرها طراحی شده است تا تقاضای استفاده از انرژی‌های سنتی را در مدت ۵ سال حداقل ۱۰ درصد کاهش دهد.

۵- مأموریت شهر هوشمند، ۲۰۱۵

وزارت مسکن و امور شهری (MoHUA¹) در سال ۲۰۱۵ مأموریت شهرهای هوشمند را به‌منظور رسیدگی به نگرانی‌های حاکمیتی و زیرساخت‌های مربوط به رشد جمعیت شهری در شهرها و ارتقاء کیفیت زندگی راه‌اندازی کرد. این مأموریت با ادغام فناوری‌های هوشمند مانند اینترنت اشیاء (IoT) در بخش‌های مختلف، امکان دستیابی به توسعه پایدار شهری را به روشی که صرفه انرژی و اقتصادی داشته باشد، فراهم می‌کند. پیشنهادها شهر هوشمند دو جنبه مهم را شامل می‌شوند: ۱- پروژه شهر پان (سراسری) که شامل راه‌حل‌های فن‌آوری اطلاعات و ارتباطات مانند سیستم مدیریت یکپارچه ترافیک (ITMS²)، جمع‌آوری خودکار زباله در سطح شهر، دولت الکترونیک و پنل‌های خورشیدی در پشت‌بام ساختمان‌های دولتی است؛ و ۲- پروژه توسعه مبتنی بر منطقه (ABD³) که در آن یک منطقه کوچک از شهر شناسایی شده و زیرساخت‌های آن با راه‌حل‌های هوشمند موجود بهبود می‌یابد که بعداً به‌عنوان نمونه‌ای برای سایر نقاط شهر مورد استفاده قرار می‌گیرد. هدف از این مأموریت ایجاد فضاهای شهری با انرژی کارآمد برای کاهش بار بر روی منابع موجود است. طبق دستورالعمل مأموریت، ۸۰ درصد از ساختمان‌های شهرهای هوشمند باید با طراحی “ساختمان سبز” از نظر انرژی کارآمد باشند و ۱۰٪ از نیاز انرژی شهر هوشمند باید توسط انرژی خورشیدی تأمین شود.

۶- پیش‌نویس سیاست ملی انرژی (NEP⁴)، ۲۰۱۷

سیاست ملی انرژی بر در دسترس بودن انرژی برای همه، کاهش وابستگی به واردات سوخت‌های فسیلی، ترویج توسعه کم‌کربن و رشد اقتصادی پایدار متمرکز است. با توجه به اینکه مدیریت انرژی توسط چندین وزارتخانه انجام می‌شود، هدف این سیاست دستیابی به اهداف انرژی ملی از طریق هماهنگی بین وزارتخانه‌های مختلف است. هدف اصلی NEP فراهم کردن بستر موردنیاز برای فناوری‌ها مرتبط با انرژی و ایجاد امکان انتخاب برای مصرف‌کنندگان برای تأمین انرژی و به حداقل رساندن مصرف انرژی در هند تا سال ۲۰۴۰ است. استراتژی‌های مبتنی بر تقاضا مربوط به یکپارچه‌سازی مدیریت انرژی برای شهرهای پایدار، تحت نظر NEP برای بخش‌های حمل‌ونقل، ساختمانی و خانگی (به‌خصوص در بخش آشپزی) ارائه شده است. در بخش حمل‌ونقل، استراتژی‌هایی از قبیل توسعه ترانزیت محور، حرکت به سمت سیستم‌های حمل‌ونقل ریلی گسترده، ترویج و ارتقاء وسایل نقلیه برقی و هیبریدی و استفاده از راه‌حل‌های فن‌آوری اطلاعات و ارتباطات پیشنهاد شده است. در بخش ساختمانی، حرکت به سمت مصالح ساختمانی انرژی کارآمد، اجرای ECBC، برنامه‌ریزی شهری بهتر، استفاده از فناوری‌های روشنایی و لوازم خانگی با راندمان بالا مدنظر قرار گرفته‌اند. در بخش خانگی، حرکت به سمت سوخت‌های مدرن برای پخت‌وپز و بهبود بهره‌وری آن‌ها پیشنهاد شده است.

۷- پیش‌نویس برنامه اقدام خنک‌سازی ملی (NCAP⁵)، ۲۰۱۸

اکثر مناطق کشور هند دارای آب‌وهوای گرمسیری هستند و با توجه به رشد سریع شهرنشینی، پیش‌بینی می‌شود که نیازمندی‌های سرمایشی طی یک دهه آینده (بر مبنای سال ۲۰۱۸) ۲/۲ تا ۳ برابر افزایش یابد. از پیامدهای این افزایش می‌توان به افزایش ظرفیت تولید توان موردنیاز، اوج بار و تولید کربن اشاره کرد. برای مقابله با این مشکل، وزارت

¹ Ministry of Housing and Urban Affairs

² Integrated Traffic Management System

³ Area-Based Development

⁴ National Energy Policy

⁵ National Cooling Action Plan

محیط‌زیست، جنگل‌ها و تغییرات آب و هوایی (MoEFCC¹)، NCAP را تهیه کرده است. هدف NCAP ترویج روش‌های خنک‌سازی پایدار و هوشمند در سراسر کشور هند طی ۲۰ سال آینده است. این برنامه شامل سناریوها و استراتژی‌های بهبود خنک‌کننده‌ها در بخش حمل‌ونقل، زنجیره سرد^۲ و تبرید، فناوری‌های تهویه مطبوع و برودتی، بخش‌های خدماتی است.

۴-۴-۲ پروژه انرژی پایدار در آسیا و اقیانوسیه

انرژی نقش اساسی در ساختن آینده شهرهای هوشمند خواهد داشت. برای مقابله با فقر، حمایت از رشد اقتصادی و توسعه اجتماعی، ضمن به حداقل رساندن آلودگی محیط‌زیست و کاهش تغییرات آب و هوایی، انرژی مطمئن، پاک و مقرون به صرفه مورد نیاز است. محوریت انرژی برای پیشرفت اقتصادی، رفاه انسان و سلامت زیست‌محیطی در دستور کار اغلب کشورهای حوزه آسیا و اقیانوسیه قرار گرفته است که هدف خاص آن انرژی پایدار است و توانمند از اهداف انرژی‌های تجدیدپذیر، بهره‌وری انرژی و دسترسی به انرژی به دست می‌آید [۱۸].

در سراسر منطقه آسیا-اقیانوسیه، تخمین زده می‌شود که ۴۲۰ میلیون نفر به برق پایدار دسترسی کامل نداشته باشند. اختلاف قابل توجهی در دسترسی به انرژی جمعیت روستایی و شهری وجود دارد. جمعیت روستایی، به ویژه زنان و کودکان، بیشترین بار فقر انرژی را بر دوش دارند. اگرچه پیشرفت‌های زیادی به ویژه در برق‌رسانی روستایی حاصل شده است. منطقه آسیا-اقیانوسیه در زمینه نصب انرژی‌های تجدیدپذیر در جهان پیشگام است. با این حال تلاش‌های بیشتری برای افزایش نقش انرژی‌های تجدیدپذیر در ترکیب انرژی، لازم است. سرمایه‌گذاری بیشتر، یک فضای سیاست حمایتی و مدل‌های نوآورانه تجاری برای تسریع در انتقال به آینده‌ای با انرژی پاک‌تر لازم است.

با توجه به مقیاس و پیچیدگی چالش‌های پیش روی انرژی پایدار، همکاری‌های منطقه‌ای در ایجاد راه‌حل‌های جامع، یکپارچه و بادوام سودمند است. در سال ۲۰۱۳، اولین مجمع انرژی آسیا-اقیانوسیه تشکیل شده است و آیین‌نامه‌های کلی انرژی پایدار تنظیم شد. در سال ۲۰۱۷، با تأسیس کمیته انرژی ESCAP به مرحله مهمی دست پیدا کردند و یک پلتفرم اختصاصی بین دولتی آسیا-اقیانوسیه در زمینه انرژی ایجاد شد. در آوریل ۲۰۱۸ نیز دومین مجمع انرژی آسیا-اقیانوسیه برای بررسی و شکل‌گیری برنامه انرژی منطقه‌ای برگزار شد.

۴-۴-۳ انرژی تجدیدپذیر در منطقه آسیا-اقیانوسیه

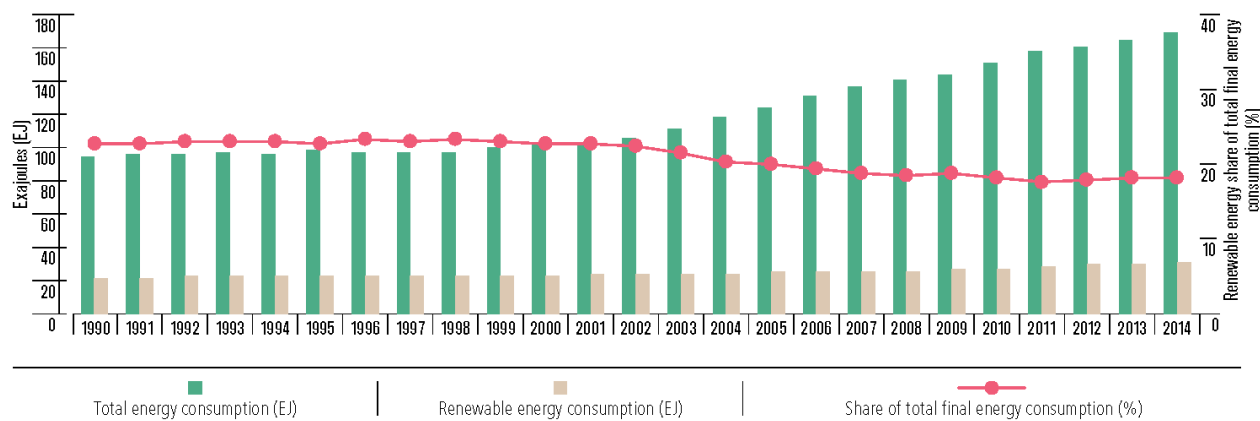
کشورهای آسیا - اقیانوسیه در خط مقدم توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر قرار دارند. به عنوان مثال، در سال ۲۰۱۶، به استثنای انرژی آبی، حدود ۴.۵ میلیون شغل مربوط به انرژی‌های تجدیدپذیر در بنگلادش، چین، ژاپن و هند وجود داشته است.

منطقه آسیا و اقیانوسیه با سرمایه‌گذاری، ظرفیت نصب شده و میزان مصرف بیشتر از سایر مناطق جهان، به عنوان رهبر جهانی در انرژی‌های تجدیدپذیر مطرح شده است. تولید و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در منطقه همچنان رو به افزایش است. با این حال، مصرف سوخت‌های فسیلی در منطقه نیز به طرز چشمگیری افزایش یافته است و این موجب می‌شود سهم انرژی تجدیدپذیر در ترکیب کلی انرژی افزایش نداشته باشد. در سال ۱۹۹۰ سهم انرژی‌های تجدیدپذیر

¹ Ministry of Environment, Forests and Climate Change

² Cold chain

۲۳.۰ درصد بود. این نسبت تا اوایل سال ۲۰۰۰ تقریباً ثابت بود، سپس با افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی، این مقدار به ۱۷.۸ درصد رسیده است. در شکل ۴-۲ روند استفاده از منابع تجدید پذیر در منطقه آسیا-اقیانوسیه آورده شده است.



Source: IEA and UN Statistics

شکل ۴-۲ سهم انرژی تجدید پذیر در آسیا و اقیانوسیه [۱۸]

گرچه سوخت‌های فسیلی هنوز اکثریت سهم انرژی را تشکیل می‌دهند، اما انرژی‌های تجدیدپذیرها نقش مهمی در توسعه آینده دارند. با نصب واحدهای انرژی خورشیدی و بادی در سال‌های اخیر، میزان کل نصب انرژی‌های تجدیدپذیر به سرعت در حال رشد است. این روند صعودی عمدتاً توسط چین ایجاد شده است و این کار را با توسعه فن‌آوری و ظرفیت نصب منابع انرژی تجدیدپذیر انجام داده است. قبلاً عمده‌ترین بهره‌وری از انرژی خورشیدی در منطقه توسط ژاپن انجام می‌شد تا اینکه در سال ۲۰۱۳ کل ظرفیت نصب شده توسط چین از آن پیشی گرفت. استرالیا، هند، جمهوری کره، تایلند و اخیراً ترکیه نیز در زمینه نصب انرژی خورشیدی دستاوردهای خوبی داشته‌اند. در مورد انرژی باد، این کشورها از چین پیروی می‌کنند، چراکه چین بیش از ۳۴ گیگاوات انرژی باد در سال ۲۰۱۶ نصب کرده است.

تایلند، تحت برنامه توسعه انرژی جایگزین ۲۰۱۶-۲۰۳۶، سهمیه‌های ویژه انرژی تجدیدپذیر را برای پسماند، زیست‌توده، بیوگاز، باد و خورشید تعیین کرده است. این کشور برای تحقق هدف ۳۰ درصدی تأمین انرژی تجدیدپذیر تا سال ۲۰۳۶، منطقه ویژه‌ای را برای توسعه انرژی‌های تجدید پذیر تعیین کرده است.

اندونزی که پتانسیل زمین‌گرمایی زیادی دارد، قصد دارد با بهره‌برداری از این منبع، هدف انرژی تجدیدپذیر ۲۳ درصدی خود را تا سال ۲۰۲۵ محقق کند. برای افزایش تمایل به سرمایه‌گذاری در این بخش، این کشور با حذف این بخش از زیرمجموعه معادن، قانون زمین‌گرمایی خود را در سال ۲۰۱۴ به‌روز کرده و شروع به دریافت مناقصات مربوط به توسعه انرژی زمین‌گرمایی کرده است.

در سال ۲۰۱۴، اقتصادهای APEC متعهد شدند که از سال ۲۰۱۰ تا سال ۲۰۳۰ سهم انرژی‌های تجدیدپذیر را در ترکیب انرژی APEC، دو برابر کنند. این هدف به‌طور رسمی در بیانیه پکن در سال ۲۰۱۴ به ثبت رسیده و در بیانیه

سبوا^۱ در سال ۲۰۱۵ نیز حمایت شده است. در سال ۲۰۱۶، کشورهای عضو ASEAN هدف ۲۳ درصد انرژی تجدیدپذیر تا سال ۲۰۲۵ را در ترکیب انرژی ASEAN تعیین کرده‌اند.

۵-۴ پروژه‌های مدیریت هوشمند انرژی در قاره آمریکا

۱-۵-۴ پروژه The Zero Home

Vivint بزرگ‌ترین ارائه‌دهنده خدمات اتوماسیون خانگی در ایالات متحده و یکی از بزرگ‌ترین شرکت‌های فن‌آوری در دنیا است. این شرکت بیش از ۱۳ سال تجربه در زمینه نوآوری و تبدیل جالب‌ترین فن‌آوری به واقعیتی مقرون به صرفه برای مشتریان خود دارد. ادامه نوآوری Vivint در تجزیه و تحلیل انرژی، اینترنت بی سیم و انرژی خورشیدی همچنان آن را به یکی از هیجان‌انگیزترین شرکت‌های فن‌آوری تبدیل کرده است. شرکت Garbett Homes بیش از ۳۰ سال است که خانه‌هایی مقرون به صرفه ساخته و برنده جایزه زندگی سبز آمریکاست و اکنون بیش از ۳۵۰۰ خانه و آپارتمان در ۲۵ مجموعه مختلف دارد. Vivint و Garbett Homes با کمک یکدیگر مفاهیم زندگی سبز و زندگی هوشمندانه را با ترکیب ساختمان سبز با جدیدترین فن‌آوری مدیریت خانه و انرژی پیاده کرده‌اند. این همکاری اولین همکاری در نوع خود است و به یک موفقیت اساسی منجر شده است که خانه صفر نامیده می‌شود.

خانه صفر بی نظیر است زیرا در نوع خود اولین خانه صفر تولیدشده در آب‌وهوای نواحی گرمسیر آمریکا می‌باشد. به جای هزینه بیش از ۱ میلیون دلار، اکنون می‌توان این خانه‌ها را با قیمت تقریبی ۳۵۰ هزار دلار خریداری کرد. به این ترتیب Vivint و Garbett باهم زندگی هوشمند و سبز را برای همه قابل دسترس کرده‌اند.

مفهوم Net-zero به معنای ساده این است که یک خانه به اندازه مصرف، انرژی نیز تولید می‌کند. خانه‌های صفر مصرف انرژی را از طریق بازدهی بالا به حداقل می‌رسانند و نیازهای باقی‌مانده را از طریق سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر تأمین می‌کنند.

Vivint و Garbett Homes با موفقیت به خانه صفر سیستم رتبه‌بندی انرژی خانگی (HERS) رسیده‌اند. شاخص HERS استاندارد صنعتی برای اندازه‌گیری بهره‌وری انرژی در خانه است. رسیدن به مقدار صفر به معنای این است که خانه کاملاً خودپایدار است. خانه هنوز برای پشتیبانی به شبکه متصل است، اما بیشتر انرژی که در آن مصرف می‌شود از طریق خورشیدی و سایر منابع تجدیدپذیر تولید می‌گردد [۱۹].

۲-۵-۴ پروژه Desert Sunlight

در سپتامبر ۲۰۱۱، وزارت انرژی آمریکا برای تأمین مالی Desert Sunlight، یک نیروگاه تولید خورشیدی فتوولتائیک (PV) ۵۵۰ مگاواتی، دو تضمین وام جزئی به مبلغ ۱.۵ میلیارد دلار تحت برنامه مشارکت موسسه مالی^۲ (FIPP) صادر کرد. این تأسیسات به‌طور مشترک در اختیار NextEra و General Electric و Sumitomo of America است و در ژانویه ۲۰۱۵ به فعالیت‌های تجاری کامل خود رسید. Desert Sunlight یکی از بزرگ‌ترین نیروگاه‌های خورشیدی PV در جهان است.

¹ Cebu Declaration

² Financial Institution Partnership Program

ضمانت‌های وام به جذب وام‌دهندگان جدید به بازار فتوولتائیک در مقیاس صنعتی کمک کرده و تجربه تأمین اعتبار پروژه‌های فتوولتائیک در مقیاس صنعتی را در اختیار آن‌ها قرار داده است. از اکتبر ۲۰۱۶، ۴۵ پروژه PV دیگر بیشتر از ۱۰۰ مگاوات بدون ضمانت وام تأمین شده‌اند.

Desert Sunlight یک نقطه عطف مهم در مقیاس بخشیدن به فن‌آوری خورشیدی به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین پروژه‌های خورشیدی PV در جهان است. این پروژه مازول‌های خورشیدی کادمیوم-تلوراید فیلم نازک سری ۳ شرکت First Solar را که از نظر تجاری موجود می‌باشد را مورد استفاده قرار داده است.

Desert Sunlight پانصد و پنجاه شغل ساختمانی ایجاد کرد و انتظار می‌رود ۱۵ شغل دائمی را پشتیبانی کند. این پروژه همچنین تقریباً ۷۰,۰۰۰ تن فولاد آمریکایی را مصرف کرده و پس از اتمام پروژه، ۸.۹ میلیون مازول خورشیدی در پروژه نصب شده است. پیش‌بینی می‌شود Desert Sunlight سالانه ۱,۰۶۰,۰۰۰ مگاوات ساعت انرژی پاک تولید کند در حالی که سالانه از اشاعه ۶۱۴,۰۰۰ تن دی‌اکسید کربن جلوگیری می‌کند [۲۰].

۴-۵-۳ پروژه‌های Ørsted

چشم‌انداز شرکت Ørsted، جهانی است که کاملاً با انرژی سبز کار می‌کند. Ørsted مزارع بادی ساحلی و دریایی، مزارع خورشیدی، تأسیسات ذخیره انرژی و نیروگاه‌های انرژی زیستی^۱ را ساخته و بهره‌برداری می‌کند و محصولات انرژی را در اختیار مشتریان خود قرار می‌دهد. Ørsted رتبه ۱ را در شاخص ۲۰۲۰ شرکت‌های شوالیه^۲ در بین ۱۰۰ شرکت پایدار جهانی دارد و در لیست تغییر آب‌وهوا به‌عنوان یک رهبر جهانی در زمینه اقدامات آب و هوایی شناخته شده است. این شرکت ۷ پروژه در آمریکا انجام داده است و سه پروژه نیز در دست اقدام دارد. یکی از پروژه‌های انجام شده مزرعه بادی Block Island می‌باشد که نمایی از آن در شکل ۴-۳ نشان داده شده است.

مزرعه بادی Block Island در رود آیلند اولین مزرعه بادی^۳ دریایی آمریکا است. این پروژه ۳۰ مگاواتی با ۵ توربین در دسامبر ۲۰۱۶ فعالیت تجاری خود را آغاز کرده است و انرژی کافی برای تأمین انرژی ۷۰۰۰ خانه را تولید می‌کند. برق این جزیره قبلاً توسط ۵ دیزل ژنراتور تأمین می‌شد که سالانه بیش از ۱ میلیون گالن سوخت می‌سوزاند و هم‌اکنون کاملاً توسط باد دریایی تأمین می‌شود.

این پروژه برای اولین بار Block Island را به شبکه اصلی متصل کرده است. این نیروگاه بادی با تأمین انرژی قابل‌اعتماد و تجدیدپذیر، میزان مصرف برق جزیره را کاهش داده است. این پروژه با ایجاد یک صنعت کاملاً جدید در رود آیلند، مردم را به ساخت و نگهداری پروژه‌های انرژی تجدیدپذیر که آینده منطقه را تأمین می‌کند، مشغول کرده است به‌طوری که بیش از ۳۰۰ کارگر محلی در ساخت مزرعه بادی Block Island مشارکت داشته‌اند. این مزرعه بادی، انتشار دی‌اکسید کربن را هر سال ۴۰ هزار تن کاهش می‌دهد که این مقدار معادل ۸۰۰۰۰۰ تن در طول ۲۰ سال و معادل حذف بیش از ۱۵۰,۰۰۰ ماشین از جاده است [۲۱].

^۱Bioenergy

^۲Corporate Knight

^۳ Wind Farm



شکل ۴-۳: مزرعه بادی Block Island

۴-۵-۴ پروژه Blue Mountain

در سپتامبر ۲۰۱۰، وزارت نیرو آمریکا ۹۸.۵ میلیون دلار تضمین وام تحت برنامه مشارکت موسسه مالی (FIPP) برای تأمین مالی Blue Mountain که یک نیروگاه زمین‌گرمایی است صادر کرد. این نیروگاه در حال حاضر با استفاده از مخزن زمین‌گرمایی زیرزمینی در شمال نوادا از انرژی‌های تجدیدپذیر استفاده می‌کند. نمایی از آن در شکل ۴-۴ نشان داده شده است.

در پروژه Blue Mountain از سه مبدل انرژی (OEC¹) Ormat برای تبدیل گرمای دمای متوسط به انرژی الکتریکی با استفاده از مایع گرم موسوم به شوراب که از مخزن زمین‌گرمایی در زیر سطح زمین استخراج شده، استفاده شده است. از این شوراب برای گرم کردن مایع ثانویه (ایزوپنتان) استفاده می‌شود که بخار شده و برای تولید برق از طریق توربین‌ها جریان می‌یابد. سپس شوراب دوباره به مخزن زمین‌گرمایی تزریق می‌شود.



شکل ۴-۴: پروژه Blue Mountain [۲۲]

¹ Ormat Energy Converters

این پروژه ۲۰۰ شغل ساختمانی و ۱۴ شغل عملیاتی دائمی را ایجاد کرده است. طبق پیش‌بینی‌ها Blue Mountain سالانه ۲۴۰,۰۰۰ مگاوات ساعت انرژی پاک تولید کرده و سالانه از ۱۳۰,۰۰۰ تن دی اکسیدکربن جلوگیری می‌کند [۲۲].

۴-۵-۵ پروژه eVMT

رشد بازار خودروهای الکتریکی شارژی^۱ (PEV) مزایای بالقوه زیادی برای محیط‌زیست به همراه دارد. با این وجود، عدم اطمینان زیادی در مورد چگونگی استفاده واقعی PEV از سوی مصرف‌کنندگان وجود دارد و به همین دلیل همچنان نحوه تعیین کمیت مزایایی مانند کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای مشخص نیست. هدف از این پروژه نظارت بر نحوه استفاده روزانه PEV ها و درک درستی از مزایای زیست‌محیطی واقعی ناشی از گسترش آنها است. درک دقیق از الگوهای استفاده از PEV به سیاست‌گذاران کمک می‌کند تا مؤثرترین استراتژی‌ها و سیاست‌های تشویقی را برای خودروهای برقی و تأثیرات محیطی ناشی از آنها تعیین کنند.

پروژه خودروهای eVMT بستری را برای نظارت بر نحوه استفاده از شارژ جدید خودروهای الکتریکی به صورت روزبه‌روز و ماه‌به‌ماه با قرار دادن ثبت‌کننده‌های داده در وسایل شارژ منزل شرکت‌کننده به مدت یک سال فراهم می‌کند. این کار دو مزیت را نسبت به مطالعه ساده PEV برای یک دوره طولانی یا مطالعه وسایل شارژ منزل برای یک دوره کوتاه فراهم می‌کند. اولاً، تنها مطالعه PEV وضعیت روشنی از اینکه PEV در خانواده چه نقشی دارد و چه نیازهای سفری توسط PEV برطرف نمی‌شود، نمی‌دهد. ثانیاً، مطالعات کوتاه‌مدت آن رویدادهای نادر مانند سفرهای طولانی را که ممکن است در خرید یا اجاره خودرو تأثیر داشته باشند، ثبت نمی‌کند. این پروژه نشان‌دهنده اولین گام در درک این پویایی مهم و موانع بالقوه است که باید در انتقال از خودروهای معمولی به خودروهای تمیزتر برطرف شود.

این پروژه شامل یک نظرسنجی وسیع از صاحبان و اجاره دهندگان PEV است و به دنبال آن مطالعه فشرده‌ای از زیرمجموعه پاسخ‌دهندگان انجام می‌شود. مانیتورهای داده‌ای که GPS، وضعیت شارژ، سرعت، دور در دقیقه (RPM)، حوادث شارژ و بسیاری از پارامترهای دیگر را به صورت تقریباً ثانیه به ثانیه جمع می‌کنند، در تمام خودروها در خانه‌های منتخب برای یک دوره قرار گرفتند. مرحله اول مطالعه در اواخر تابستان ۲۰۱۷ به پایان رسید که شامل ثبت اطلاعات تمام وسایل نقلیه در ۷۲ خانه دارای PEV برای یک سال کامل بود. در حال حاضر داده‌ها از ۱۳۲ خانوار اضافی جمع‌آوری می‌شود و تعداد نهایی ۲۶۴ نفر خواهد بود [۲۳].

۴-۵-۶ پروژه LIBERTY

پروژه LIBERTY که نمایی از آن در شکل ۴-۵ نشان داده شده است، تصفیه‌خانه زیستی جدید POET-DSM در Emetsburg در آیووا، تولید اتانول سلولزی از گیاه ذرت را در تاریخ ۳ سپتامبر ۲۰۱۴ آغاز کرد. این مرکز پیشرفته از یک فرآیند بیولوژیکی برای تبدیل پسماند برداشت ذرت (برگ، پوسته و ساقه‌های فوقانی) به یک سوخت زیستی استفاده می‌کند. همچنین به استقلال سوخت ایالات متحده کمک کرده، اثرات منفی بر روی آب‌وهوا را کاهش داده و

¹Plug-in Electrical Vehicle

مشاغل جدید ایجاد کرده است. این پروژه می‌تواند تولید اقتصادی آیووا را ۲۴.۴ میلیارد دلار افزایش دهد و بیش از ۱۳,۵۰۰ شغل در این ایالت طی ۲۰ سال آینده ایجاد کند.

وزارت انرژی ایالات متحده ۱۰۰ میلیون دلار برای پشتیبانی، توسعه و طراحی و ساخت این تأسیسات پیشگام، که توانایی تولید سالانه ۲۵ میلیون گالن اتانول سلولزی را دارد، به‌عنوان مشارکت در هزینه اختصاص داد. این یکی از اولین نسل‌های پالایشگاه‌های زیستی بزرگ آمریکایی است که از مواد زائد کشاورزی سوخت زیستی تولید می‌کند. با بالابردن موفقیت‌آمیز مقیاس این فن‌آوری جدید، پالایشگاه زیستی ضمن تأمین درآمد اضافی برای کشاورزان آمریکایی، به رقابت ایالات متحده در فن‌آوری انرژی پاک کمک خواهد کرد.



شکل ۴-۵: نمایی از پروژه LIBERTY در آیووا

پالایشگاه زیستی برای اطمینان از پایداری مواد اولیه، فرآورده‌ها و محصولات آن طراحی شده است. به‌عنوان مثال، پس از همکاری با سازمان‌های دولتی و دانشگاه‌ها برای روشن کردن تأثیرات حذف پسماند ذرت بر سلامت خاک، POET-DSM سیستم ابتکاری EZ Bale خود را توسعه داد. این سیستم با باقی گذاشتن تقریباً ۷۵٪ از زیست‌توده در مزرعه و تمرکز بر روی مجموعه برگ‌ها و پوسته‌ها، از فرسایش محافظت می‌کند و قسمت عمده ساقه‌های تحتانی غنی از مواد مغذی را برای دوباره پر کردن خاک رها می‌کند. پسماند ذرتی که در EZ Bales استفاده شده است، خوراکی بالانرژی بالاتر و خاکستر کمتری برای تجهیزات تصفیه‌خانه زیستی فراهم می‌کند. درواقع، اجزای بازیافت ذرت به بهترین استفاده خود اختصاص می‌یابند که این کار باعث حفظ سلامت خاک و تحرک اقتصاد روستایی می‌شود.

به‌منظور سهولت کار کشاورزان در نواحی اطراف در جمع‌آوری EZ Bales، POET-DSM با بیش از ده تولیدکننده تجهیزات برداشت شامل AGCO, Case IH, Claas, Demco, Fantini, John Deere, Ken's Truck & Trailer, Milstak, Redekop, Stinger, SmithCo, Unverferth, Vermeer و Wildcat همکاری کرده است. کشاورزان محلی اکنون دارای قرارداد تحویل EZ Bales هستند که به آن‌ها در مدیریت بقایای محصول و کاهش شخم زدن نیز کمک می‌کند.

پسماند ذرت با انجام یک سری فرآیندهای فیزیکی و غیرفعال پیش تصفیه فرآوری شده که شروع به شکستن دیواره‌های سلولی سخت آن می‌کند تا بتوان اجزای اساسی قند را استخراج و تخمیر کرد. محصول حاصل سپس در اتانول ۲۰۰ تقطیر، دنا توره و برای مخلوط شدن با گازوئیل به تصفیه‌خانه‌ها ارسال می‌شود. بخشی از پسماند ذرت که نمی‌تواند به سوخت زیستی تبدیل شود، برای تولید انرژی حرارتی مورد نیاز پروژه LIBERTY استفاده می‌شود که مقدار زیادی از این انرژی مورد نیاز کارخانه اتانول ذرت مجاور است.

پروژه LIBERTY از نظر استراتژیک درست در کنار کارخانه نسل اول اتانول ذرت موجود در POET در امتسبورگ واقع شده بود تا انرژی، زمین، راه آهن، جاده‌ها، ذخیره‌ساز، شبکه تأمین مواد اولیه و پرسنل را به اشتراک بگذارد. به محض اینکه این فن‌آوری جدید به طور دقیق تولید شد، POET قصد دارد آن را در ۲۷ کارخانه دیگر اتانول ذرت که در آمریکای شمالی فعالیت می‌کنند، مورد استفاده قرار دهد. این بسته فن‌آوری یکپارچه برای استفاده در سراسر جهان نیز دارای مجوز می‌باشد [۲۴].

۴-۵-۷ پروژه الگوی معماری شهری^۱

از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۰۸، CanmetENERGY مشخصات مصرف انرژی خانوارهای متوسط را در سی و یک محله در هشت شهر در سراسر کانادا تهیه کرده است. این پروژه نحوه تأثیر شکل شهری (استفاده از زمین و زیرساخت‌ها) بر استفاده از انرژی حمل و نقل وسایل نقلیه و مصرف انرژی خانگی را بررسی می‌کند.

جوامع با اندازه‌ها و مناطق جغرافیایی مختلف در نظر گرفته شدند تا طیف وسیعی از اقلیم‌ها، منابع انرژی و مسائل مربوط به بازدهی انرژی را نشان دهند. محلات بر اساس خصوصیات از قبیل نوع مسکن و سن مسکن انتخاب شده‌اند. داده‌های جمع‌آوری شده از هر محله شامل داده‌های مربوط به کاربری زمین و زیرساخت‌های فیزیکی از شهرداری و داده‌های برق، گاز طبیعی و نفت از تأسیسات بود. مصاحبه با ساکنان محلی نیز انجام شد.

میانگین مصرف انرژی خانگی برای روشنایی و لوازم خانگی، گرمایش و آب گرم و انتشار سالیانه گازهای گلخانه‌ای و هزینه‌های انرژی عملیاتی محاسبه شد. تجزیه و تحلیل حمل و نقل شامل محاسبه میانگین مصرف انرژی، گازهای گلخانه‌ای و هزینه‌های مربوط به بنزین برای وسایل نقلیه شخصی بود. تجزیه و تحلیل رگسیون به منظور درک اینکه کدام متغیرهای شکل شهری بر تعداد کیلومتر طی شده توسط وسایل نقلیه تأثیر دارد، انجام شد که شاخص‌های شکل شهری از جمله تراکم، ترکیبی از کاربری‌ها و فاصله تا منطقه تجاری مرکزی مرتبط شناخته شدند.

داده‌های تجزیه و تحلیل شده، به عنوان مطالعات موردی جامعه ارائه شده که به برنامه‌ریزان شهری، شهرداری‌ها، تأسیسات و یا هرکسی که اطلاعاتی در مورد مصرف نهایی انرژی پایه، انتشار گازهای گلخانه‌ای و هزینه‌ها در انواع مسکن و محله‌ها بخواهد، دید خوبی خواهد داد. این مطالعات موردی نشان می‌دهند که شکل شهری فشرده و با کاربرد ترکیبی باعث کاهش مشخصات مصرف انرژی در یک جامعه می‌شود [۲۵].

۴-۵-۸ پروژه مجموعه خورشیدی Dark Landing

در نگاه اول به شکل ۴-۶، خانه‌های مرتب و دوطبقه‌ای که در دو خیابان در حومه کانادا قرار گرفته‌اند، تقریباً شبیه هزاران خانه دیگری است که آن‌ها را احاطه کرده است؛ اما یک سیستم گرمایش منطقه‌ای که انرژی خورشیدی فراوان تابستان را برای گرم کردن خانه‌ها در طول زمستان ذخیره می‌کند، این اجتماع را به عنوان یک پیشگام جهانی در

¹ Urban archetypes Project

فناوری‌های ذخیره‌سازی حرارت برای گرم شدن فضای مسکونی تبدیل کرده است. Drake Landing Solar Community اثبات کرده است که چنین سیستمی می‌تواند بخش عمده‌ای (بیش از ۹۰٪) از گرمایش فضا را با انرژی خورشیدی در آب‌وهوای سرد تأمین کند. سازنده ۵۲ خانه تک خانوار جدا را برای جلب نظر خریداران اصلی خانه که خواهان صرفه‌جویی در مصرف انرژی، بدون از دست رفتن جذابیت زیبایی‌شناسی هستند، طراحی کرده است.



شکل ۴-۶: نمایی از خانه‌های پروژه Drake Landing Solar [۲۷]

این پروژه یک نمونه از دنیای واقعی را نشان می‌دهد که چگونه می‌توان تقریباً مصرف سوخت گرمایش متداول برای گرمایش فضا را حذف نمود و باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای بیش از ۵.۵ تن در سال در هر خانه شد. این امر با استفاده از جمع‌آوری‌کننده‌های گرمایش خورشیدی با ذخیره گرمای فصلی، طراحی و ساخت خانه با صرفه‌جویی در انرژی و شبکه گرمایشی منطقه‌ای با درجه حرارت پایین برای توزیع گرما به خانه‌ها امکان‌پذیر شده است. ایده این پروژه از تحقیقات گروه تحقیقات خورشیدی منابع طبیعی کانادا^۱ در مورد فناوری‌های نوظهور ذخیره‌سازی فصلی است که استفاده بسیار بیشتری از انرژی خورشیدی را برای گرم کردن فضای مسکونی فراهم می‌کند.

حدود ۲۴,۷۰۰ فوت مربع از جمع‌کننده‌های صفحه تخت هیدرونیک^۲ سقف گاراژهای جداگانه خانه‌ها را می‌پوشاند. گرمای خورشیدی از طریق جمع‌کننده‌ها جذب می‌شود، در زیر زمین ذخیره می‌شود و بعداً در صورت نیاز برای گرم کردن فضا، از طریق سیستم منطقه‌ای به هر خانه تقسیم می‌شود.

در شکل ۴-۷ شماتیک ساده شده از سیستم نشان داده شده است. ذخیره انرژی حرارتی مخزنی فصلی^۳ (BTES) از شبکه‌ای از ۱۴۴ مخزن با مبدل‌های حرارتی تک لوله‌ای U شکل در زمینی حدود ۴۴,۵۰۰ یارد تشکیل شده است. این سیستم به گونه‌ای پیکربندی شده است که مرکز ذخیره‌سازی را در بالاترین دما نگه دارد تا حداکثر ظرفیت گرمایش را داشته باشد. لبه‌های خارجی در کمترین دما حفظ می‌شوند تا تلفات گرما به حداقل برسد. ذخیره حرارتی کوتاه مدت^۴

^۱Natural Resources Canada

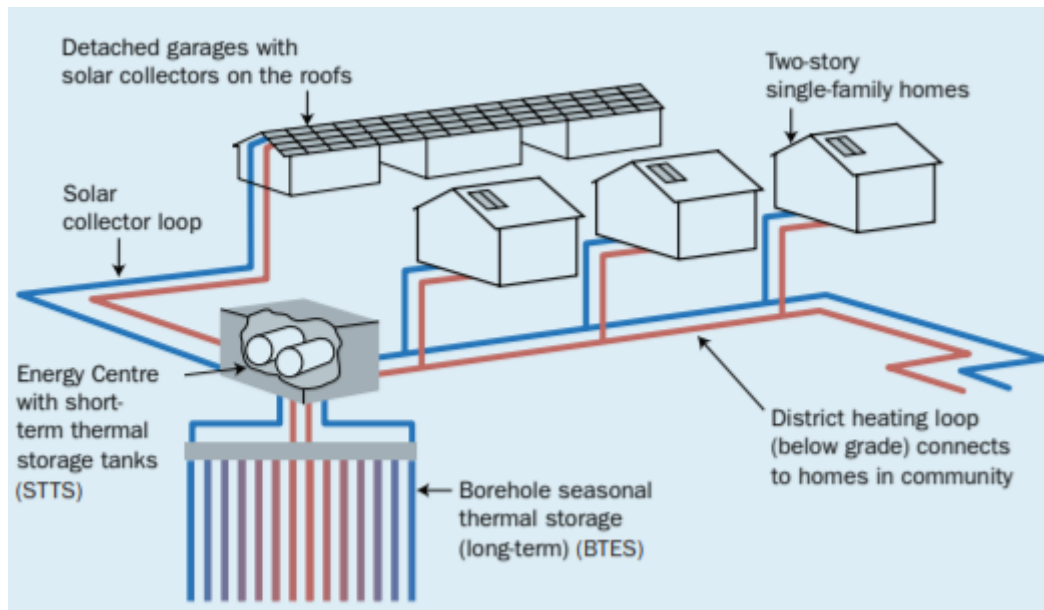
^۲Hydronic

^۳Borehole thermal energy storage

^۴Short-term thermal storage

(STTS) متشکل از ۶۳۰۰۰ گالن آب برای جمع‌آوری، توزیع و ذخیره‌سازی فصلی زیر سیستم‌های گرمایی استفاده‌شده و به‌عنوان یک بافر برای پذیرش و آزادسازی گرما با میزان قابل توجهی بالاتر از مقدار در دسترس از طریق BTES عمل می‌کند.

مخازن STTS، پمپ‌ها، کنترل‌کننده‌ها، دیگ‌های بخار کمکی و سایر تجهیزات مکانیکی در مرکز انرژی واقع در گوشه‌ای از مجموعه و BTES در زیر پارک مجاور قرار دارد. یک سیستم فتوولتائیک ۲۲ کیلوواتی نصب‌شده بر روی سقف مرکز انرژی، برق اضطراری را برای بارهای مهم مرکز انرژی فراهم می‌کند و سالانه برق کافی برای تأمین پمپ‌های جمع‌آوری و ذخیره انرژی خورشیدی را تولید می‌کند [۲۷].



شکل ۴-۷: شماتیک ساده شده از سیستم ذخیره انرژی حرارتی [۲۷]

۴-۵-۹ پروژه سیستم انرژی بادی-هیدروژنی-دیزل در Ramea Island

یک سیستم انرژی بادی-هیدروژن-دیزل در مجموعه‌ای خارج از شبکه برق جزیره Ramea در نیوفاندلند^۱ کانادا ایجاد شده و در حال توسعه است که بخش توربین‌های بادی آن در شکل ۴-۸ نشان داده شده است. پس از اتمام، پیش‌بینی می‌شود که این پروژه پیشرفته که مختص کانادا است، امکان خاموش کردن تمام دیزل ژنراتورها در جزیره Ramea را در دوره‌های کم تقاضای انرژی فراهم کند. این امر به شرکت برق (نیوفاندلند و لابرادور هیدرو^۲) امکان می‌دهد تا انرژی باد تمیز را که مستقیماً از طریق توربین‌های بادی یا هیدروژن ذخیره شده که با استفاده از برق اضافی تولید شده توسط باد ایجاد می‌شود، به مشتریان خود ارائه دهد.

شبکه برق جزیره Ramea که در حال حاضر به دیزل و نیروی باد متکی است، یک سیستم ذخیره‌سازی هیدروژن و ژنراتور دارد. در این سیستم برق ایزوله هنگامی که خروجی انرژی باد از بار بیشتر شود، هیدروژن از الکترولیز آب تولید می‌گردد. گاز هیدروژن در مخازن ذخیره‌سازی جمع می‌شود. هنگامی که توان خروجی از توربین‌های بادی برای تأمین بار مجموعه کافی نباشد، هیدروژن ذخیره‌شده ژنراتوری را روشن می‌کند تا برق را برای مجموعه تأمین نماید.

^۱Newfoundland

^۲Labrador Hydro

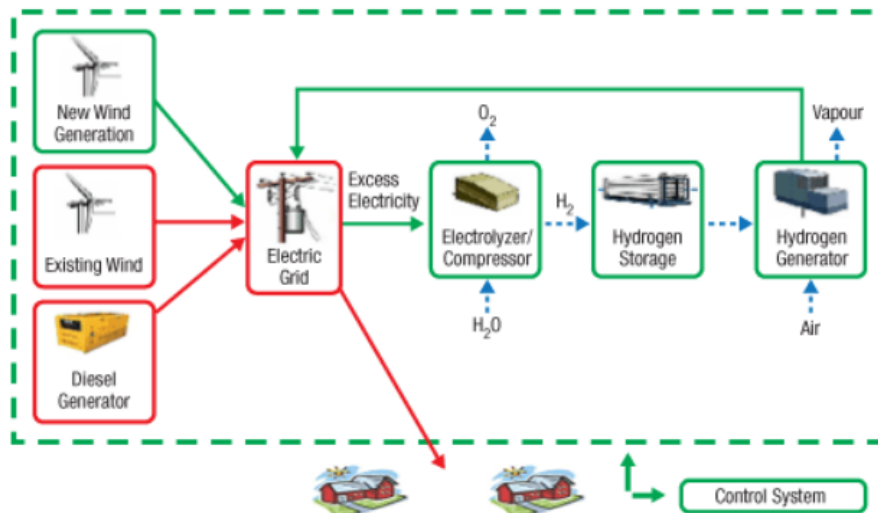


شکل ۴-۸: بخش ایجادشده توربین‌های بادی ۶۵ کیلوواتی در جزیره Ramea [۲۶]

این سیستم که در شکل ۴-۹ نشان داده شده از اجزای زیر تشکیل شده است:

- سیستم کنترل: این سیستم باید با سیستم کنترل هر یک از اجزا از جمله سیستم کنترل باد-دیزل موجود سازگار باشد.
- توربین‌های بادی: برنامه‌ریزی شده است که در این پروژه سه توربین بادی جدید برای تکمیل توربین‌های موجود اضافه شود. این ظرفیت توربین بادی در دستیابی به هدف تأمین صد درصدی تقاضای برق جزیره با منابع پاک در شرایط خاص کمک خواهد کرد.
- الکترولیز کننده و ذخیره‌سازی هیدروژن: یک الکترولیزر هیدروژن برق تولیدشده توسط توربین‌های بادی را به هیدروژن تبدیل می‌کند که مخازنی در محل ذخیره می‌شود.
- ژنراتور هیدروژنی: یک ژنراتور ۲۵۰ کیلوواتی (متشکل از موتورهای احتراق داخلی که ژنراتورهای سنکرون را درآپو می‌کنند) هیدروژن ذخیره شده را به برق تبدیل می‌کند.

این پروژه توسط نیوفاندلند و با حمایت آژانس فرصت‌های آتلانتیک کانادا، دولت نیوفاندلند و لابرادور و منابع طبیعی کانادا هدایت می‌شود. شرکای اضافی شامل دانشگاه Memorial، دانشگاه New Brunswick و Frontier Power Systems هستند [۲۶].



شکل ۴-۹: پیکربندی سیستم بادی-هیدروژن-دیزل جزیره Ramea [۲۶]

۴-۵-۱۰ پروژه GOTA VERDE

کل بودجه این پروژه ۱.۱۵۸.۰۰۲ یورو بوده که ۴۸ درصد از آن توسط اتحادیه اروپا پرداخت شده است. در این پروژه ۳ ساله، کنسرسیومی از سازمان‌هایی از اروپا و هندوراس رویکرد توسعه اقتصادی منطقه‌ای مبتنی بر ترویج تولید در مقیاس کوچک و استفاده محلی از سوخت‌های زیستی را در هندوراس توسعه داد و آزمایش کرد. هدف نهایی فراهم کردن فرصت‌های جدید اشتغال و درآمد جدید برای جمعیت محروم (عمدتاً روستایی) هندوراس شمالی (منطقه Yoro) بوده است. پروژه متمرکز بر انتقال دانش فنی مناسب در زمینه تولید محصولات کشاورزی روغنی، فراوری‌های کشاورزی-صنعتی (سوخت زیستی) و انطباق موتورهای دیزلی با روغن خالص گیاهی (PPO) و همچنین معرفی مکانیسم‌های نوین مالی و تجاری بوده است که تأثیر و پایداری این پروژه را افزایش می‌دهد. اگرچه این پروژه تلاش‌های خود را برای ایجاد ظرفیت در شمال هندوراس متمرکز کرد اما سهم مهمی در انتشار فناوری‌ها و مدل‌های توسعه به سایر کشورهای آمریکای مرکزی داشت.

۴-۶ جمع‌بندی

در این فصل به بررسی کاربردها و راهکارهای مدیریت هوشمند انرژی الکتریکی در بخش‌های مختلف شهر هوشمند پرداخته شد و همچنین به بیان امکان استفاده از مفاهیم انرژی هوشمند در بخش‌های مختلف شبکه انرژی موجود پرداخته شد و چالش‌هایی که انرژی هوشمند در شهرهای هوشمند با آن مواجه خواهد شد، بیان گردید و در ادامه به‌مرور پروژه‌های انرژی هوشمند در شهرهای هوشمند در قاره‌های آسیا-اقیانوسیه، اروپا و آمریکا پرداخته شد.

- [1] Komali Yennet, Riya Rahiman, "Smart Energy Management Policy in India—A Review", *mdpi. Journal*.2019
- [2] F. Al-Turjman, *Smart Cities Performability, Cognition, & Security*. Springer, 2020.
- [3] M. Sookhak, H. Tang, Y. He, and F. R. Yu, "Security and privacy of smart cities: a survey, research issues and challenges," *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 21, no. 2, pp. 1718–1743, 2018.
- [4] <http://amtt.ir/tag/%D9%85%D8%B5%D8%B1%D9%81%D8%A8%D8%B1%D9%82/>
- [5] <http://rotbehonline.ir/%D9%85%D9%86%D8%B4%D8%A7%DB%8C%DA%A9%E2%80%8C%DA%86%D9%87%D8%A7%D8%B1%D9%85%D8%A2%D9%84%D8%A7%DB%8C%D9%86%D8%AF%D9%87%D9%87%D8%A7%D8%AA%D9%88%D9%84%DB%8C%D8%AF-%D8%A8%D8%B1%D9%82-%D9%88-%DA%AF/>
- [6] J. Tang and P. Li, "Research on Urban Smart Energy Evaluation Index System," in *E3S Web of Conferences*, 2019, vol. 118, p. 1042,1050.
- [7] C. F. Calvillo, A. Sánchez-Miralles, and J. Villar, "Energy management and planning in smart cities," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 55, pp. 273–287, 2016.
- [8] <https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/en/projects/zebra2020>
- [9] <https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/en/projects/step-2-sport>
- [10] <https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/en/projects/tesla>
- [11] <https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/en/projects/comeon-labels>
- [12] <https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/en/projects/windspeed>
- [13] <https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/en/projects/geodh>
- [14] <https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/en/projects/bioeuparksc>
- [15] <https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/en/projects/ebridge>
- [16] <https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/en/projects/eew>
- [17] <https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/en/projects/fina-ret>
- [18] https://www.unescap.org/sites/default/files/publications/A%20Global%20Tracking%20Framework_Web%202018_0.pdf
- [19] <http://www.thezerohome.com/about#two>
- [20] <https://www.energy.gov/lpo/desert-sunlight>
- [21] <https://us.orsted.com/wind-projects>
- [22] <https://www.energy.gov/lpo/blue-mountain>
- [23] <https://phev.ucdavis.edu/project/evmt-project>
- [24] <https://www.energy.gov/eere/bioenergy/poet-dsm-project-liberty>
- [25] <https://www.nrcan.gc.ca/energy/efficiency/communities-infrastructure/research/4531>

[26]<https://www.nrcan.gc.ca/energy/energy-sources-distribution/renewables/wind-energy/ramea-island/7319>

[27]<https://www.hpbmagazine.org/content/uploads/2020/04/15Su-Drake-Landing-Solar-Community-Alberta-Canada.pdf>

فصل پنجم: شناسایی مسائل مرتبط با مدیریت هوشمند انرژی الکتریکی و ارزیابی آنها

۵-۱ مقدمه

برای دستیابی به مدیریت هوشمند انرژی در یک سیستم بسیار پیچیده مانند یک شهر هوشمند، نه تنها بیشتر عناصر انرژی آن نیاز به شناسایی و مطالعه دارند بلکه باید روابط ضمنی بین آن‌ها نیز مورد توجه قرار گیرد. علاوه بر این، مدل‌سازی و شبیه‌سازی دقیق برای تأیید و بهبود سیستم‌های موجود و جدید مورد نیاز است. طی دهه‌های متمادی مدل‌ها و شبیه‌سازها در بافت شهری مورد استفاده گسترده قرار گرفته‌اند. این نوع ابزار معمولاً برای بهره‌برداری و مدیریت سیستم‌ها یا برای برنامه‌ریزی توسعه یا ساخت سیستم‌های جدید استفاده می‌شود. مدل‌های کنونی معمولاً با اهداف مشخصی از جمله طراحی کنترل ترافیک، برنامه‌ریزی توسعه شهری، برنامه‌ریزی برای گسترش ظرفیت تولید یا خطوط انتقال نیرو و غیره طراحی می‌شوند؛ بنابراین، عناصر در نظر گرفته شده محدود هستند و بسیاری از تعامل‌های مهم درون سیستم را در نظر نمی‌گیرند.

عناصر بسیاری وجود دارد که باید هنگام مدل‌سازی سیستم‌های انرژی مورد توجه قرار گیرد. با این حال، برخی از آن‌ها نسبت به سایرین مهم‌تر هستند. باید به انتخاب مناسب پارامترهای سیستم و محدودیت‌های انرژی توجه ویژه‌ای شود. اطلاعات دقیق جغرافیایی در مورد منابع طبیعی (باد، خورشیدی و ...) نیز برای نتیجه مناسب یک فرایند برنامه‌ریزی مهم است. علاوه بر این، استفاده از انواع الگوریتم‌های بهینه‌سازی به طور قابل توجهی عملکرد سیستم را افزایش خواهد بخشید. سرانجام، با توجه به پیچیدگی سیستم‌ها، اهداف مدل باید به وضوح مشخص و در اولویت قرار گیرند. پرداختن به همه این موضوعات امکان ایجاد یک مدل انرژی کامل و کافی از شهر هوشمند را فراهم می‌کند و به تصمیم‌گیرندگان در دولت و صنعت کمک می‌کند تا بهترین سیستم‌ها را با حداقل هزینه، شبیه‌سازی و پیاده‌سازی کنند و موجب ایجاد شهری هوشمندتر و کارآمدتر شوند. در ادامه به بررسی ابزارها و الگوریتم‌های هوش مصنوعی استفاده شده در بخش‌های مختلف مدیریت هوشمند انرژی الکتریکی پرداخته شده است.

۵-۲ حوزه تولید

اکثر نیروگاه‌های موجود در سیستم قدرت از نوع نیروگاه‌های حرارتی با سوخت فسیلی بوده و بخش عمده‌ای از تولید توان بر دوش این واحدها می‌باشد. بالا بودن هزینه تولید توان به علت استفاده از سوخت‌های فسیلی، کاهش منابع انرژی و همچنین مشکلات زیست‌محیطی آن‌ها، دولت‌ها را بر آن داشت تا از انرژی‌های تجدیدپذیر نظیر باد، خورشید، زمین گرمایی و غیره برای تولید توان الکتریکی استفاده نمایند. تاکنون این منابع در حد توان پایین (بیشتر در بخش توزیع) به کار گرفته شده‌اند. پیشرفت علم و فن‌آوری و مطالعات اقلیم‌شناسی، باعث گردید تا توان تولیدی مراکز تولید پراکنده افزایش یابد، بطوریکه امروزه می‌توان از یک نیروگاه بادی در حدود ۵۰۰ مگاوات توان به شبکه تزریق نمود. بدین ترتیب مزایایی که استفاده از این مراکز دارد باعث گردید تا منابع انرژی نو نیز در بخش تولید انبوه جای گرفته و تنها محدود و متصل به شبکه توزیع نباشند. از طرف دیگر، اتصال این منابع به سیستم قدرت، نیاز به سیستم پایش پارامترهای شبکه، عملکرد سریع از دیدگاه حفاظتی، نحوه به کارگیری برخط واحدها در مسائل اقتصادی و موارد دیگر دارد. لذا می‌توان گفت یکی از دلایل هوشمندسازی بخش تولید، استفاده از انرژی‌های نو جهت تولید توان الکتریکی و مسائل مربوط به کنترل و بهره‌برداری از آن‌ها می‌باشد. از طرف دیگر، با ظهور بازارهای برق در شبکه و رقابتی شدن تولید، ضروری است که میزان تولید در هر لحظه پایش گردیده و توان واحدها با هدف افزایش سود و کاهش هزینه‌های تولید تعیین گردد. این موضوع زمانی دشوار می‌شود که واحدهای انرژی نو نیز در سیستم به کار

گرفته شده و عدم قطعیت سیستم را افزایش می‌دهند. لذا نیاز به شبکه هوشمند جهت ارتباط بین بازار و بخش تولید و همچنین بهبود وضعیت بخش کنترل و بهره‌برداری سیستم، لازم است.

در بخش‌های آینده به نحوه هوشمندسازی در پیش‌بینی توان تولیدی منابع تولید پراکنده و نقش الگوریتم‌های هوشمند در بازار برق پرداخته می‌شود. در این بخش به روش‌های جدید کنترل تجهیزات بخش تولید پرداخته می‌شود.

در روش‌های مرسوم طراحی کنترل‌کننده برای یک تجهیز نیاز است مدلی ریاضی از آن به دست آورد. طبیعی است که تلاش بسیاری برای استخراج یک مدل دقیق برای یک سیستم نامعلوم لازم است تا بتوان یک کنترل‌کننده بر مبنای این مدل طراحی کرد. دینامیک مدل‌سازی نشده و وجود عدم قطعیت از جمله مشکلات اجتناب‌ناپذیر هستند و مشکل دیگر اینکه هرچه مدل دقیق‌تر باشد، کار و هزینه بیشتری باید برای طراحی سیستم کنترل آن صرف شود.

اصل اساسی در روش‌های کنترل بر مبنای مدل، شناخت کافی از مدل سیستم می‌باشد و اینکه باید سیستم در یک محدوده مشخص کاری حضور داشته باشد، به همین دلیل طراحی یک کنترل‌کننده با استفاده از یک مدل غیردقیق می‌تواند به عملکرد نامناسب بیانجامد.

فرآیندهای صنعتی مقادیر زیادی داده‌های پروسه را در هر لحظه تولید و ذخیره می‌کنند که شامل اطلاعات ارزشمندی درباره وضعیت عملیات و تجهیزات فرآیند می‌باشد. با استفاده از این داده‌ها (آنلاین و آفلاین) طراحی مستقیم کنترل‌کننده‌ها، پیش‌بینی و ارزیابی وضعیت سیستم، ارزیابی عملکرد، تصمیم‌گیری یا حتی عیب‌یابی دستگاه را بخصوص در غیاب مدل‌های دقیق فرآیند می‌توان انجام داد. به این دلیل ساخت و توسعه تئوری کنترل مبتنی بر داده مسئله مهمی هم در تئوری و هم در عمل می‌باشد. در حال حاضر یکی از مسائلی که در مراکز تحقیقاتی و صنعتی دنیا مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است، روش‌های مبتنی بر داده می‌باشد که با توجه به نمونه‌های عملی پیاده شده بر روی پروسه‌های صنعتی مانند توربین‌های بادی و بویلرهای نیروگاهی، نتایج مناسبی را در برداشته است.

کنترل مبتنی بر داده معرف نظریه‌ها و روش‌های کنترلی است که در آن‌ها، کنترل‌کننده به‌طور مستقیم با استفاده از داده‌های ورودی-خروجی آنلاین یا آفلاین از سیستم تحت کنترل بدون نیاز به استفاده از اطلاعات صریح یا ضمنی مدل ریاضی پروسه کنترل‌شده، طراحی می‌شود. معماری اصول طراحی روش‌های کنترل مبتنی بر داده در شکل ۵-۱ مشاهده می‌شود.



شکل ۵-۱: معماری اصول طراحی کنترل مبتنی بر داده

در ادامه برخی از تجهیزات صنعت برق که به دلیل پیچیدگی بالا امکان مدلسازی دقیق آنها وجود ندارد و با استفاده از روش‌های کنترل مبتنی بر داده کنترل شده‌اند، آورده شده است.

۵-۲-۱ تجهیزات تولید همزمان برق و حرارت^۱ (CHP)

یکی از تجهیزات موجود در شبکه هوشمند، تجهیزات تولید همزمان برق و حرارت یا CHP می‌باشد که به صورت تولید همزمان دو یا چند شکل انرژی از یک منبع سوختی از قبیل گاز طبیعی، سوخت‌های نفتی و زغال سنگ کار می‌کند. امروزه برای تولید انرژی الکتریسیته از سوخت‌های فسیلی به منظور تولید قدرت محوری و فعال سازی توربین‌ها استفاده می‌شود. این نیروگاه‌ها که سهم عمده‌ای در تولید الکتریسیته در کشورهای مختلف دارند، به دلیل اتلاف مقدار زیادی انرژی حرارتی در بخش‌های مختلف نظیر دیگ بخار، برج خنک‌کن، پمپ‌ها و سیستم لوله‌کشی موجود در تأسیسات، دارای بازده‌ای بین ۳۰ تا ۳۵ درصد می‌باشد. در واقع به طور میانگین تنها یک سوم انرژی سوخت ورودی به برق تبدیل می‌شود. علاوه بر این، حدود ۱۰ درصد از انرژی الکتریسیته تولیدی در مسیر انتقال برق هدر می‌رود. در نتیجه اگر تولید الکتریسیته در محل مصرف صورت بگیرد این مقدار تلفات وجود نخواهد داشت. همچنین استفاده از گرمای آزاد شده حین فرایند سوختن و برگرداندن آن به سیکل فرایند باعث افزایش بازده، کاهش مصرف سوخت و هزینه‌های مربوط به تولید انرژی می‌گردد.

استفاده از CHP ها مزایای فراوانی برای مصرف‌کننده و همچنین محیط زیست دارد که عبارت‌اند از

۱. افزایش بازدهی و کارایی انرژی

در سیستم CHP به دلیل مصرف سوخت کمتر در مقابل تولید انرژی بیشتر و عدم نیاز به انتقال و توزیع برق بازده سیستم افزایش می‌یابد. بازده کلی این واحدها، بین ۸۰ تا ۹۰ درصد خواهد بود در نتیجه تلفات انرژی به حداقل مقدار می‌رسد.

۲. تأمین حرارت مطمئن و انعطاف پذیری بالای واحد تولیدی

در واحدهای تولید همزمان حرارت لازم از طریق حرارت تولید شده توسط ژنراتورها به دست می‌آید، لذا تولید انرژی حرارتی در آنها بدون وقفه انجام می‌شود. همچنین میزان تولید برق و حرارت، با توجه به تقاضای آنها قابل تغییر است.

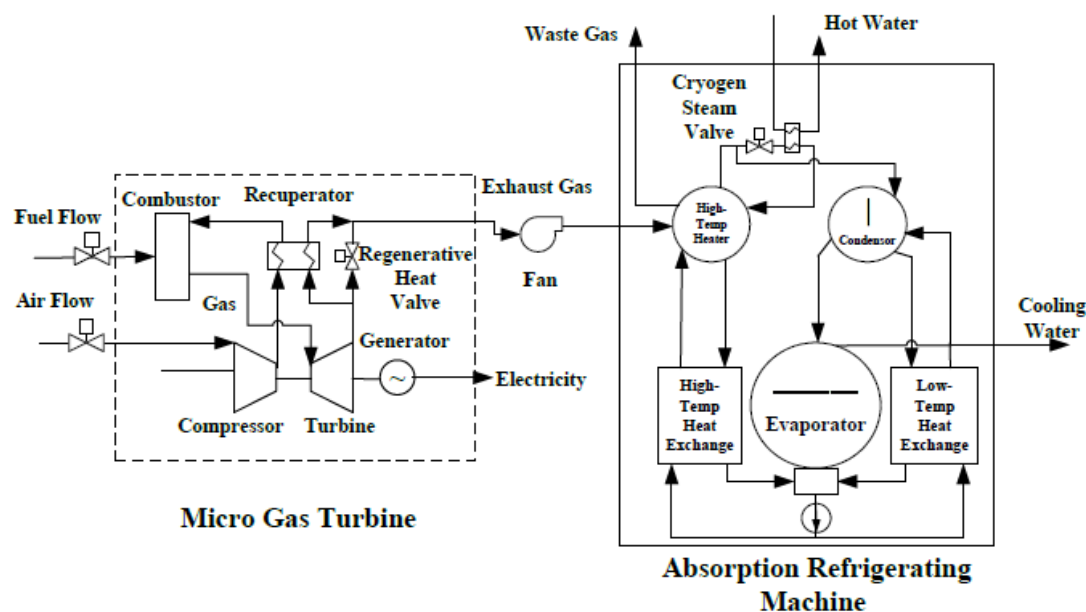
۳. مزیت های زیست محیطی

بازده بالای واحدهای تولید همزمان، این واحدها را به عنوان راه‌حلی قابل قبول برای تبدیل انرژی مطرح نموده است. همچنین این بازده بالا، باعث می‌شود تولید دی‌اکسید کربن و سایر آلاینده‌ها نظیر ترکیبات گوگردی و اکسیدهای نیتروژن و گازهای گلخانه‌ای کاهش یابد. از سوی دیگر در کشورهایی که قوانین سخت گیرانه زیست محیطی در آنها

¹ Combined Heat & Power

اعمال می‌شود با کاهش تعداد واحدهای تبدیل سوخت به حرارت مفید، کنترل واحدهای تولید آلاینده راحت‌تر انجام می‌پذیرد.

شمایی کلی از مدار سیستم CHP در شکل ۵-۲ آورده شده است. عملیات مدل‌سازی سیستم پیچیده و زمان‌بر می‌باشد و عدم قطعیت‌های موجود در روابط ریاضی مدل‌سازی شده باعث تخریب عملکرد سیستم کنترل با استفاده از روش‌های مرسوم خواهد شد، با توجه به اینکه مدل‌سازی سیستم نیز از طریق داده‌های استخراجی انجام می‌شود و داده‌ها شامل اطلاعاتی از درون سیستم هستند، می‌توان بدون انجام مدل‌سازی، با استفاده از داده‌ها و به طور مستقیم کنترل‌کننده مبتنی بر داده را برای این سیستم طراحی کرد.



شکل ۵-۲: یک نمونه سیستم CHP [۱]

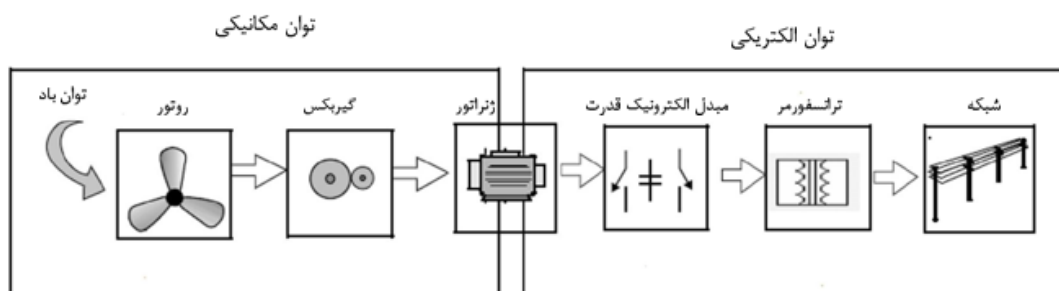
در مقاله [۱] برای افزایش کارایی این سیستم از روش کنترل پیش‌بین مبتنی بر داده استفاده شده است که می‌تواند برای تخمین رفتار آینده سیستم استفاده شود. کنترل‌کننده پیش‌بین برای تنظیم سیستم چند متغیره CHP تحت محدودیت‌های ورودی طراحی شده است. این روش روی سیستم واقعی ۸۰ کیلووات میکرو CHP پیاده‌سازی شده است. عملیات مدل‌سازی سیستم پیچیده و زمان‌بر بوده و عدم قطعیت‌های موجود در روابط ریاضی مدل‌سازی شده باعث می‌شود تا سیستم کنترل طراحی شده با روش‌های مرسوم نتواند به خوبی سیستم مورد نظر را کنترل کند.

در مقاله [۲] برای سیستم میکرو CHP یک کنترل‌کننده مبتنی بر داده طراحی شده که به طور مستقیم از طریق داده‌های ورودی و خروجی به دست آمده است. به منظور طراحی کنترل مبتنی بر داده از طریق داده‌ها و بدون استفاده از مدل فرآیند، از روش شناسایی زیرفضا^۱ (SID) استفاده می‌شود؛ بنابراین در این روش، اثری از مشکلات مربوط به مدل‌سازی در روش متداول کنترل پیش‌بین و همچنین عدم قطعیت‌های موجود در مدل نیست.

¹ Subspace Identification

۵-۲-۲ توربین‌های بادی

در شکل ۳-۵ شمایی ساده از نحوه تبدیل انرژی مکانیکی به انرژی الکتریکی در توربین‌های بادی نشان داده شده است.



شکل ۳-۵: اجزای اصلی سیستم توربین بادی

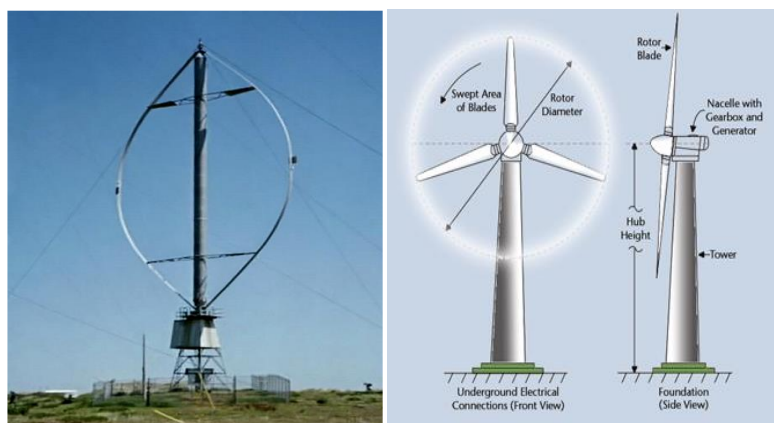
توربین‌های بادی بر اساس محور چرخش پره‌ها به دو دسته تقسیم می‌شوند که عبارتند از:

۱-۲-۲-۵ توربین‌های بادی با محور چرخش افقی

در این توربین‌ها محور چرخش موازی سطح زمین است. شکل به وجود آمده از چرخش پره‌ها دایره‌ای می‌باشد و در بادهایی که جهت وزش آن‌ها موازی با سطح زمین نیست نیازمند سیستم دوران پره‌ها حول محور قائم است. این توربین‌ها نسبت به مدل محور عمودی رایج تر بوده همچنین از لحاظ فناوری پیچیده‌تر و گرانتر نیز می‌باشند. ساخت آن‌ها مشکل‌تر از نوع محور عمودی بوده ولی بازده بسیار بالایی دارند. این نوع توربین‌ها در سرعت‌های پایین نیز توانایی تولید انرژی الکتریکی را دارا هستند [۳].

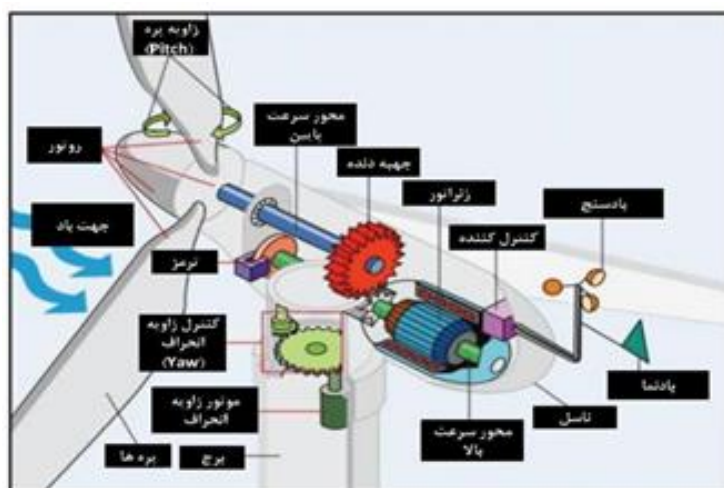
۲-۲-۲-۵ توربین‌های بادی با محور چرخش عمودی

در این توربین‌ها محور چرخش عمود بر سطح زمین است. مزیت مهم این نوع توربین این است که به جهت وزش باد نسبت به سطح زمین حساس نمی‌باشد و در هیچ شرایطی به سیستم دوران پره‌ها حول محور قائم نیاز ندارد. این توربین‌ها شامل قطعاتی با اشکال گوناگون بوده که باد را در خود جمع کرده و باعث چرخش محور اصلی می‌گردد. ساخت این نوع از توربین‌ها بسیار ساده است ولی بازده پایینی دارند. در شکل های ۴-۵ نمایی از توربین‌های محور افقی و عمودی نمایش داده شده است.



شکل ۴-۵: ساختمان توربین بادی محور افقی و ساختمان توربین بادی عمودی [۳]

با توجه به ساختار پیچیده توربین‌های بادی و مدل‌های ریاضی غیر خطی آن‌ها عملاً استفاده از روش‌های مدل‌سازی و طراحی کنترل‌کننده‌های مبتنی بر مدل بسیار دشوار می‌باشد. روش‌های کنترل مبتنی بر داده در سال‌های اخیر مورد توجه محققین زیادی قرار گرفته است. در ارتباط با سیستم توربین بادی، برخی رویکردهای کنترل مبتنی بر داده به‌منظور تنظیم بار، فرکانس، بار و فرکانس، توان راکتیو و زاویه پره‌ها یا چرخش پره‌ها و کنترل توان خروجی مورد استفاده قرار گرفته‌اند و نتایج قابل قبولی نیز بدست آمده است. در زمینه تحقیق و پژوهش بر اساس کنترل مبتنی بر داده در راستای برآورده شدن اهداف کنترلی تجهیز توربین بادی در این اواخر پژوهش‌هایی صورت گرفته است.



در [۵] مباحث مدلسازی و شناسایی مدل توربین بادی نیز علاوه بر کنترل آن، از طریق داده مطرح شده است. در [۶] به منظور دفع کردن اثر اغتشاش در کنترل توربین بادی از روش کنترل تطبیقی مبتنی بر داده استفاده شده است و نتایج بدست آمده از روش کنترل مبتنی بر داده را با روش های کنترل فازی و کنترل پیش‌بین مقایسه کرده است. در [۷] از روش کنترل مدل پیش‌بین مبتنی بر داده به منظور کنترل زاویه پره‌های توربین بادی استفاده شده است و نتایج با روش کنترل پیش‌بین مبتنی بر مدل مقایسه شده است. در روش‌های استفاده شده از کنترل مبتنی بر داده در مقالات بالا، سرعت رسیدن به خروجی مطلوب و زمان دفع اغتشاش اعمال شده به سیستم نسبت به روش های مرسوم به مراتب بهتر بوده است.

یکی از بخش‌های اصلی سیستم قدرت، شبکه انتقال انرژی الکتریکی می‌باشد که وظیفه انتقال انرژی الکتریکی از محل تولید به نقطه مصرف را برعهده دارد. مراکز تولیدکننده توان الکتریکی، به علت مسائل و مشکلات زیست محیطی، در فواصل دور از محل مصرف احداث می‌گردند، لذا اهمیت طراحی سیستم انتقال، کنترل، حفاظت و پایش آن جهت

انتقال با کیفیت انرژی از محل تولید به سمت مصرف‌کننده دوجندان گشته و هوشمندسازی این بخش می‌بایست با حساسیت و دقت خاصی مورد بررسی قرار گیرد.

به‌منظور بهره‌برداری بهینه از شبکه انتقال انرژی الکتریکی لازم است رویت‌پذیری^۱ و قابلیت کنترل این بخش افزایش یابد. سیستم‌های اندازه‌گیری قدیمی امکان نمونه‌برداری هم‌زمان و قابلیت اندازه‌گیری فاز ولتاژ و جریان را دارا نمی‌باشند. از طرف دیگر، سرعت و دقت پایین این سیستم‌ها در اندازه‌گیری اندازه ولتاژ، جریان، توان اکتیو و راکتیو، در بسیاری از کاربردها مناسب نمی‌باشند. در ضمن علاوه بر مشکلات فوق بعد از اندازه‌گیری و جمع‌آوری داده‌ها، باید الگوریتم تخمین حالت^۲ را برای تشخیص وضعیت سیستم اجرا نمود که خود فرآیندی وقت‌گیر و زمان‌بر است. یکی از اجزای مهم در پست‌های انتقال جدید، واحدهای اندازه‌گیری فازوری^۳ (PMU) می‌باشد که برای رویت‌پذیری شبکه انتقال کاربرد دارد. این تجهیزات سنسورهای اندازه‌گیری سرعت بالایی هستند که معمولاً در پست‌های انتقال قرار گرفته و وظیفه پایش کیفیت توان و پاسخ سریع به اختلالات در سیستم قدرت را برعهده دارند. دستگاه‌های PMU به‌صورت برخط پارامترهای موردنیاز در حوزه انتقال را پایش می‌کند.

با توجه به اهمیت حوزه انتقال در شبکه‌های هوشمند امروزه روش‌های هوشمند و الگوریتم‌های هوشمند مختلفی با استفاده از داده‌های بدست آمده از PMU به تجزیه تحلیل و پیش‌بینی خطاهای احتمالی در خطوط انتقال می‌پردازد که در ادامه به بررسی برخی از آنها پرداخته شده است.

در [۸] کاربرد شبکه عصبی مصنوعی برای انتقال توان و محاسبات ولتاژ در سیستم برق مورد مطالعه قرار گرفته است. در این مطالعه، استفاده از مدل مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعی^۴ (ANN)، شبکه پرسپترون چندلایه^۵ (MLP)، برای محاسبه قابلیت‌های انتقال در یک سیستم قدرت مورد بررسی قرار گرفته است. ورودی شبکه ANN وضعیت بار شبکه است و خروجی‌ها قابلیت انتقال توان و زاویه ولتاژ در باس‌های مربوط به مناطق مورد بررسی هستند. در این مقاله معماری استاندارد شبکه عصبی، مدل پرسپترون چندلایه برای محاسبه قابلیت‌های انتقال توان و ولتاژهای سیستم قدرت ارائه شده است. بررسی‌ها بر روی یک سیستم با ۳۰ باس نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی از نظر محاسباتی سریع‌تر از روش‌های دیگر است.

در [۹] کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی برای بهبود قابلیت انتقال نیرو از طریق ترانسفورماتور تپ چینجر مورد بررسی قرار گرفته است. ترانسفورماتور تپ چینجر به یک تجهیز حیاتی در سیستم‌های قدرت مدرن تبدیل شده است. وظیفه آن ثابت نگه داشتن ولتاژ در حد مجاز علی‌رغم هرگونه تغییر بار است. در این مقاله اثر بارهای استاتیکی مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. این مقاله یک رویکرد جدید را برای تعیین آنالین تنظیمات ترانسفورماتور تپ چینجر با استفاده از تکنیک شبکه عصبی مصنوعی به‌منظور بهبود قابلیت انتقال نیرو در سیستم‌های انتقال، معرفی می‌کند. روش پیشنهادی روی سیستم با شش باس IEEE آزمایش شده است و نتایج عددی نشان می‌دهد که تنظیم ترانسفورماتور تپ چینجر بسیار دقیق و قابل اعتماد است.

¹ Observable

² State Estimation

³ Phasor Measurement Unit

⁴ Artificial Neural Network

⁵ Multi Layer Perceptron

در [۱۰] با رویکرد شبکه عصبی مصنوعی، عیب‌یابی در سیستم انتقال نیرو بررسی شده است. این مقاله تشخیص محل خطا در سیستم انتقال قدرت با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی را مورد بررسی قرار داده است. در این مقاله اتصال کوتاه تک فاز روی خط انتقال ۱۱۰ کیلوولت مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است، زیرا این رایج‌ترین خطا در سیستم قدرت است. محاسبه جریان بار و اتصال کوتاه در این مقاله با نرم‌افزار EMTP-RV انجام شده است. نتایج آزمایش نشان می‌دهد که میانگین مقدار درصد خطای تخمین محل عیب معادل ۶.۶٪ بوده است که این روش موقعیت عیب را با دقت قابل قبولی ارائه می‌دهد.

مقاله [۱۱]، بر روی شناسایی و طبقه‌بندی عیب‌های موجود در خطوط انتقال با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی متمرکز است. جریان و ولتاژ سه فاز خط به‌عنوان ورودی‌های شبکه عصبی در نظر گرفته شده است. شبکه عصبی feed forward همراه با الگوریتم پس انتشار برای شناسایی و طبقه‌بندی عیب برای تجزیه و تحلیل هر یک از سه فاز استفاده شده است. تجزیه و تحلیل دقیق با تعداد مختلف لایه‌های پنهان برای اعتبار سنجی انتخاب شبکه عصبی انجام شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان داده است که روش حاضر مبتنی بر شبکه عصبی در شناسایی و طبقه‌بندی عیب خطوط انتقال نتایج قابل قبولی ارائه داده است. این مقاله تنها برای خطای line to ground مورد شبیه‌سازی قرار گرفته است. انواع دیگر عیب‌ها، به‌عنوان مثال double line-to-ground، line-to-line و خطاهای سه فاز متقارن قابل مطالعه است. فرکانس نمونه‌گیری برای نمونه‌برداری از شکل موج ولتاژ و جریان در این کار تحقیقاتی ۱۰۰۰ نمونه در ثانیه بوده است.

در [۱۲] از شبکه عصبی مصنوعی برای افزایش حفاظت از خطوط انتقال ۳۳۰ کیلوولت استفاده شده است. مقدار ولتاژ و جریان‌های اندازه‌گیری شده، به‌عنوان ورودی به شبکه عصبی اعمال شده‌اند. نتایج عددی بدست آمده تشخیص خطا با استفاده از شبکه عصبی، زمانی حدوداً ۵.۱۵ میلی‌ثانیه را نشان می‌دهد و نسبت به ۳۵۰ میلی‌ثانیه که مربوط به استفاده از رله‌های عددی معمولی است، دارای کاهش قابل توجهی است. الگوریتم تشخیص خطایی که با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی برای شبکه ۳۳۰ کیلوولت طراحی شده است، در شبکه ۱۳۲ کیلوولت آزمایش شده است. نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم انعطاف‌پذیر است و می‌تواند در شبکه‌های دیگر نیز مورد استفاده قرار گیرد.

۴-۵ حوزه توزیع

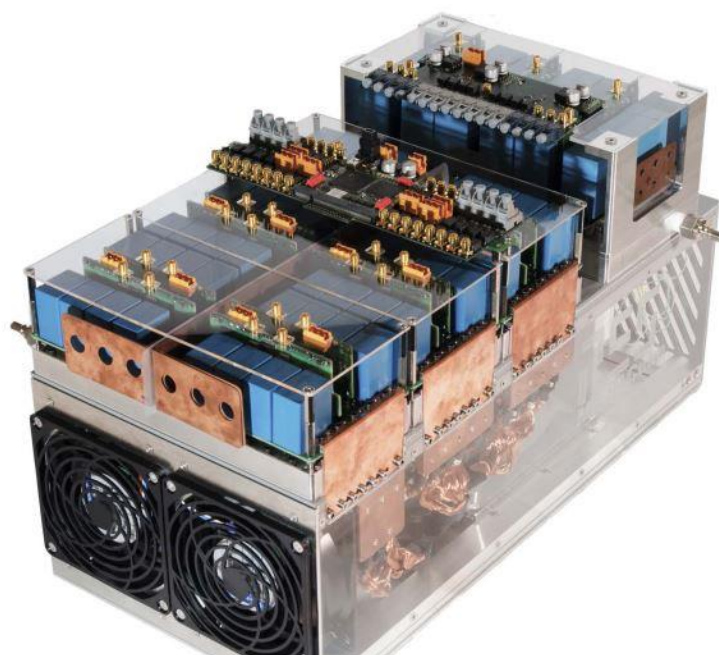
امروزه با ظهور فن‌آوری‌های جدید ارتباطی و الکترونیکی، کنترل دقیق و همه‌جانبه شبکه توزیع امکان‌پذیر می‌باشد. بدین ترتیب حجم انبوهی از اطلاعات قابل دسترس می‌شوند که پس از پردازش آن‌ها، سیستم می‌تواند به‌صورت هوشمندانه عمل کرده و قابلیت خود ترمیمی داشته باشد. اجرای سیستم‌های مدیریت انرژی در شبکه‌های توزیع در دهه‌های اخیر بسیار رواج پیدا کرده است. به‌واسطه وجود چنین سیستم‌هایی امکان مدیریت بر شبکه‌های توزیع فراهم شده است و در نتیجه برق با کیفیت مناسب به مشترکین تحویل داده می‌شود. طرح‌های اتوماسیون، اهدافی چون کاهش تلفات و انرژی توزیع نشده، کاهش هزینه نیروی انسانی، شناسایی استفاده‌کنندگان غیرمجاز برق، کشف سریع محل عیب و مانور از راه دور را دنبال می‌کنند. در بخش‌های آینده به بررسی حوزه‌های مختلف شبکه توزیع مانند خانه هوشمند، خودروهای برقی، منابع تولید پراکنده و ریزشبکه پرداخته خواهد شد. در این بخش به بررسی و کاربرد ترانسفورماتور جامع هوشمند^۱ (IUT) یکی از تجهیزات نوین حوزه توزیع پرداخته می‌شود.

^۱ Intelligent Universal Transformers (IUT)

۱-۴-۵ ترانسفورماتور جامع هوشمند

در سیستم‌های قدرت مرسوم توان الکتریکی در مقیاسی بزرگ در واحدهای نیروگاهی تولید می‌گردد. این توان با بهره‌گیری از خطوط انتقال با سطح ولتاژ بالا انتقال یافته و در نهایت توسط ترانسفورماتورهای توزیع در اختیار مصرف‌کننده قرار می‌گیرد. بنابراین در ساختار مرسوم سیستم‌های قدرت، جهت انتقال توان در شبکه از تولیدکننده به مصرف‌کننده یک سوپه است [۱۳]. در سال‌های اخیر کشورهای پیشرفته تغییرات اساسی در ساختار سیستم‌های قدرتشان ایجاد نموده‌اند که از این تغییرات می‌توان به ایجاد بازار خرید و فروش توان، افزایش تولید توان توسط واحدهای تجدیدپذیر و نفوذ بیشتر واحدهای تولید پراکنده در شبکه اشاره کرد. از این‌رو، در این شبکه‌ها جهت تزریق توان از حالت یک‌سویه خارج شده و بهره‌برداری از آن پیچیده‌تر می‌گردد. لذا برای کنترل و مدیریت این گونه شبکه‌ها، استفاده از تجهیزات هوشمند ضروری است.

در سال‌های اخیر، ایده استفاده از ترانسفورماتورهای جامع هوشمند^۱ (IUT) برای کنترل از راه دور و کنترل دوسویه مسیر توان، در شبکه‌های قدرت مطرح گردیده است. این ترانسفورماتورها با توانایی کنترل جریان و ولتاژ خروجی، به‌عنوان بهترین ابزار برای اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه معرفی گردیده‌اند. همچنین این ترانسفورماتورها با کنترل توان عبوری، بهره‌برداری مطمئن را برای شبکه مهیا می‌سازند. در تحقیقات انجام شده، توپولوژی‌های گوناگونی برای IUT تعریف شده است؛ اما در حالت عمومی این ترانسفورماتور شامل یک‌سوساز AC به DC، مبدل DC به DC، ترانسفورماتور فرکانس بالا و اینورتر DC به AC می‌باشد که در شکل ۱-۶ نمایی از یک IUT نشان داده شده است.



شکل ۵-۶: ترانسفورماتور جامع هوشمند [۱۳].

از جمله مزایای ترانسفورماتورهای هوشمند (IUT) نسبت به ترانسفورماتورهای مرسوم می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

^۱ Intelligent Universal Transformers(IUT)

- کاهش سایز، کاهش وزن و نداشتن آلودگی محیطی
- تنظیم ولتاژ لحظه‌ای
- کنترل توان اکتیو و راکتیو عبوری
- مدیریت جریان خطا در سمت فشار قوی و فشار ضعیف
- افزایش کیفیت توان برای ورودی‌های هارمونیک بالا و بارهای غیرخطی
- قابلیت تغییر فرکانس در ورودی و خروجی
- توانایی اتصال ولتاژ DC در ورودی و خروجی
- جبران افت یا افزایش ولتاژ خط انتقال

محققان ترانسفورماتورهای هوشمند (IUT) را برای جایگزینی با ترانسفورماتورهای مرسوم پیشنهاد کرده‌اند. اولین بار در سال ۱۹۸۰ توسط جیمز بروکس^۱، استفاده از ترانسفورماتور حالت جامد^۲ (SST) با فرکانس بالا که در واقع ترانسفورماتور شامل تجهیزات الکترونیک قدرت می‌باشد، مطرح گردید [۱۴]. اما به علت محدودیت‌هایی که وجود داشت، به مرحله ساخت نرسید. در ۲۰ سال گذشته به علت پیشرفت قطعات الکترونیک قدرت، بحث ترانسفورماتورهای هوشمند برای محققان جذاب شده است. در این سال‌ها گروه‌های مختلفی در مورد توپولوژی، کاربرد و سوییچ‌زنی ترانسفورماتورهای هوشمند تحقیق کرده‌اند که چند مورد از آن‌ها در موارد زیر بیان شده است.

مبدل مبتنی بر ترانسفورماتورهای جامد، برای ولتاژ و توان پایین توسط آتون^۳ در سال ۱۹۹۷ به ثبت رسید [۱۵]. استیمل^۴ در سال ۲۰۰۲، توپولوژی مبدل DC به DC را با کلید زنی نرم پیاده‌سازی کرد [۱۶]. آکاگی^۵ در سال ۲۰۰۵ و ۲۰۰۷ دو توپولوژی دوسویه، متشکل از باس DC را مطرح کرد که برای راه‌اندازی موتور ولتاژ متوسط طراحی شده بود [۱۷].

EPRI در سال ۲۰۰۹ در آمریکا، برای اولین بار ترانسفورماتور جامد ۲۰ کیلو ولت‌آمپر را بانام ترانسفورماتور هوشمند معرفی کرد. در این ترانسفورماتور به‌منظور کاهش تلفات، از سوییچ GTO و مبدل DC به DC رزونانسی، استفاده‌شده است [۱۸]. در سال ۲۰۱۷ برای کنترل توان و جریان از ترانسفورماتور هوشمند برای اتصال دو ریز شبکه AC و DC استفاده‌شده است [۱۹]. در سال ۲۰۱۹ برای اتصال دو ریز شبکه DC از ترانسفورماتور هوشمند استفاده شده است که هدف از این ترانسفورماتور کنترل ولتاژ بوده است [۲۰]. در سال ۲۰۲۰ برای اتصال دو سطح ولتاژ DC برای اتصال دو شبکه DC از ترانسفورماتور هوشمند استفاده شده است [۲۱].

۵-۴-۱ کاربرد ترانسفورماتورهای هوشمند در شبکه قدرت

ترانسفورماتور هوشمند در بخش‌های مختلفی از سیستم‌های قدرت به کار برده می‌شود که در موارد زیر به آن اشاره شده است [۱۳].

- شبکه هوشمند

¹ James Brooks

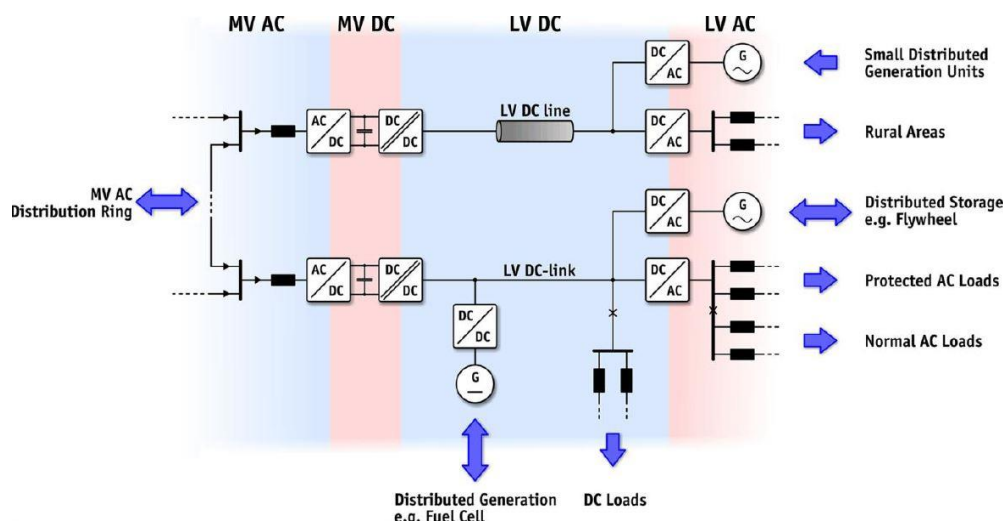
² Solid State Transformer

³ Eaton

⁴ Steimal

⁵ Akagi

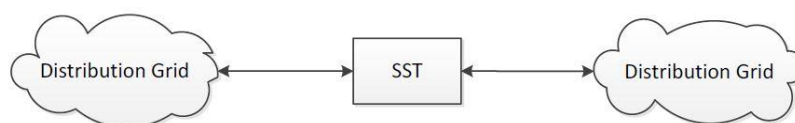
در آینده‌ای نزدیک انتظار می‌رود، نفوذ انرژی‌های تجدیدپذیر در سیستم‌های قدرت افزایش یابد. همان‌گونه که در شکل ۷-۵ مشاهده می‌گردد، این مسئله سبب تغییر اساسی ساختار سیستم‌های قدرت می‌گردد. لذا دیگر روش‌های پایه‌ای قادر نیستند کنترل و بهره‌برداری شبکه را به‌طور کامل انجام دهند و برای کنترل بهتر شبکه بایستی روش‌های جدیدی مطرح گردد. از این‌رو، مدیریت سریع و مؤثر تغییرات بار و تولید در شبکه‌های هوشمند با کنترل ترانسفورماتورهای هوشمند قابل انجام است؛ به عبارتی دیگر، ترانسفورماتورهای هوشمند، مدیریت انرژی را در شبکه‌های هوشمند بر عهده دارند.



شکل ۷-۵: بهره‌گیری از ترانسفورماتور هوشمند در شبکه هوشمند [۱۳].

• استفاده بین دو شبکه توزیع

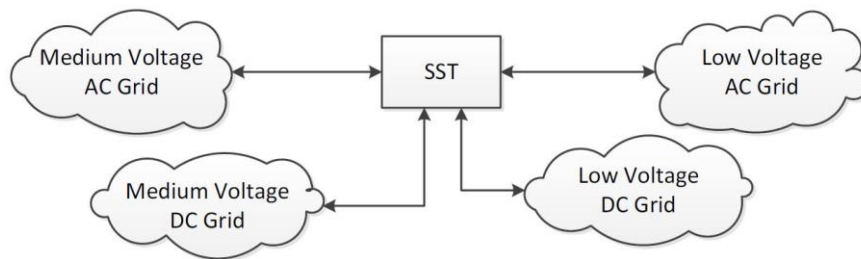
در IUT نیاز نیست، ورودی و خروجی، ولتاژ و فرکانس یکسانی داشته باشند؛ به عبارت دیگر، نیاز به سنکرون کردن ورودی و خروجی نیست. لذا می‌توان بدون سنکرون کردن، دو شبکه را به یکدیگر مطابق شکل ۸-۱ متصل کرد و جریان توان اکتیو و راکتیو بین دو شبکه را کنترل نمود. با این روش، زمانی که انرژی در ناحیه اول، ارزان‌تر از ناحیه دوم باشد، شبکه قادر است، توان را از ناحیه اول به ناحیه دوم تزریق کند. ناحیه دوم نیز توان تولیدی خود را کاهش می‌دهد.



شکل ۸-۵: اتصال بین دو شبکه توزیع

• اتصال بین شبکه توزیع و شبکه هوشمند

منابع تولید پراکنده انرژی، مانند واحدهای بادی، واحدهای خورشیدی و دیگر موارد، دارای ولتاژ و فرکانسی متفاوت می‌باشند که خروجی آن‌ها اغلب به ولتاژ DC تبدیل می‌گردد. بنابراین، ترانسفورماتورهای هوشمند ابزار مناسبی برای اتصال آن‌ها به شبکه می‌باشند. در شکل ۹-۵ نحوه اتصال ترانسفورماتور هوشمند در شبکه هوشمند نشان داده شده است.

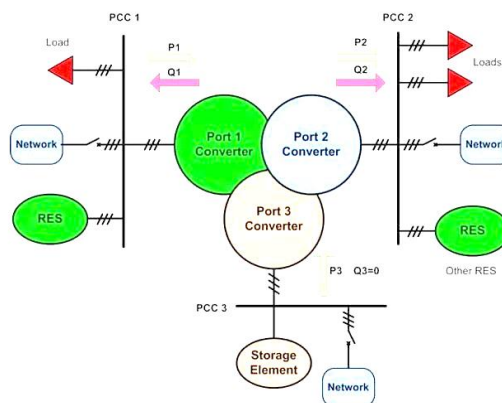


شکل ۵-۹: اتصال بین شبکه توزیع و شبکه هوشمند

۵-۴-۱-۲ استفاده ترانسفورماتور هوشمند در پروژه‌های عملی

• پروژه UNIFLEX^۱

در سال ۲۰۰۹ در ناتینگهام انگلستان، پروژه UNIFLEX، ترانسفورماتور هوشمند سه خروجی ۳۰۰ کیلوولت آمپر برای مدیریت بهتر توان، پیاده‌سازی گردید. همان‌گونه که در شکل ۵-۱۰ مشاهده می‌گردد، این ترانسفورماتور دو شبکه ولتاژ ۳.۳ کیلوولت و یک شبکه ۴۱۵ ولت را به صورت دوسویه به یکدیگر متصل کرده است. اهداف اصلی در این پروژه، کنترل توان اکتیو و راکتیو عبوری در دوجهد، مجزا سازی بین دو شبکه و به‌کارگیری توپولوژی با قابلیت اطمینان بالا و هزینه‌های تعمیر و نگهداری پایین بوده است. نمای از این پروژه در شکل ۵-۱۱ مشاهده می‌گردد [۲۲].



شکل ۵-۱۰: ساختار ترانسفورماتور هوشمند [۲۲].

¹universal and flexible power management



شکل ۵-۱۱: نمایی از پروژه UINFLEX-PM [۲۲]

در نهایت در این پروژه نتایجی که به دست آمد موارد زیر را اثبات کرد.

- ✓ توان اکتیو و راکتیو به صورت دوسویه، ۱۰۰ درصد قابل کنترل است.
- ✓ هارمونیک مرتبه سه، برابر با ۵ درصد است که این مقدار از استاندارد جهانی کمتر است.
- ✓ اندازه THD جریان برابر با ۶.۷ درصد است. محدوده THD در استاندارد ۸ درصد معین شده است.
- ✓ توپولوژی مبدل‌ها قابلیت اطمینان را افزایش داده و هزینه‌های تعمیر و نگهداری را کاهش می‌دهد.

• پروژه Das

در این پروژه، ترانسفورماتور هوشمند 1MVA با تبدیل ولتاژ 13.8 kV به $\frac{365}{\sqrt{3}}$ ولت، تحت عنوان ایستگاه جامد توزیع توان در سال ۲۰۱۱ پیاده‌سازی گردید. مبدل این ایستگاه، بر اساس مازول نیم پل 10kV، 120A ساخته شده است. همچنین مطابق شکل ۵-۱۲ این ایستگاه از ۴ سلول مبدل کامل AC به AC، با کلیدزنی نرم ایجاد شده است. علاوه بر این هر یک از این سلول‌ها مجهز به یک ترانسفورماتور 250kVA، 20kHz می‌باشد [۲۳].



شکل ۵-۱۲: نمایی داخلی از مبدل پروژه Das [۲۳].

از مزایای این ایستگاه توزیع برق می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

- ✓ همان‌گونه که در شکل ۵-۱۳ مشاهده می‌گردد، وزن ترانسفورماتور در مقایسه با ترانسفورماتور ۶۰ هرتزی تا ۷۵ درصد کاهش یافته است.
- ✓ سایز ترانسفورماتور هوشمند ۵۰ درصد نسبت به ترانسفورماتور مرسوم کاهش یافته است.
- ✓ بهبود راندمان ترانسفورماتور تا ۹۷ درصد.
- ✓ کنترل توان اکتیو و راکتیو.
- ✓ کاهش هارمونیک‌ها، THD جریان و ولتاژ.

60Hz Transformer



20 kHz Transformer



250 kVA 20 kHz transformer 330 kVA 60 Hz transformer

39.2 cm High

134 cm High

34 kg

1225.8kg

شکل ۵-۱۳: مقایسه ترانسفورماتور ۲۰ کیلوهرتز و ۶۰ هرتز [۲۳]

۵-۵ خانه هوشمند

رشد جمعیت و توسعه اقتصادی از بسیاری جهات باعث مصرف انرژی به میزان بیشتری می‌شود که موجودیت زمین را تهدید می‌کند. در سطح جهان، ساختمان‌ها تقریباً ۳۰٪ از مصرف جهانی انرژی را تشکیل می‌دهند. نیازی به گفتن نیست، هرگونه تلاش در جهت کاهش مصرف انرژی ساختمان‌ها به‌طور قابل توجهی اتکا به انرژی جهانی را کاهش می‌دهد.

دهد. بسیاری از ساختمان‌های ساخته‌شده در سال‌های اخیر الزامات عایق‌بندی به‌منظور جلوگیری از اتلاف انرژی را رعایت نکرده‌اند. علاوه بر این، عدم دقت یا کمبود سنسورها برای کنترل انرژی و روشنایی، یک چالش مداوم برای کنترل و کاهش مصرف انرژی است. در دهه‌های اخیر شاهد افزایش فعالیت‌های تحقیقاتی در زمینه پیش‌بینی استفاده از انرژی به‌ویژه با استفاده از تکنیک‌های هوش مصنوعی^۱ (AI) بوده‌ایم. پیش‌بینی استفاده از انرژی به مدیریت و صرفه‌جویی در مصرف انرژی ساختمان کمک می‌کند [۲۴].

انتشار گازهای گلخانه‌ای از جمله دی‌اکسید کربن (CO₂) در لایه‌های بالاتر جو به‌عنوان علت اصلی پدیده‌های گرم شدن کره زمین شناخته می‌شود. در انگلستان، ساختمان‌ها ۴۶ درصد از کل CO₂ را تولید می‌کنند. این رقم در ایالات متحده آمریکا ۴۰ درصد و در استرالیا ۲۷ درصد است؛ بنابراین، افزایش بهره‌وری انرژی ساختمان‌ها به یک موضوع اساسی برای کاهش میزان انتشار گازهای مضر و همچنین مصرف سوخت فسیلی تبدیل شده است [۲۵].

محققان از اوایل دهه ۱۹۹۰ تاکنون ابزارهای مختلف شبیه‌سازی برای پیش‌بینی استفاده از انرژی ساختمان ایجاد کرده‌اند. این ابزارها را می‌توان به سه دسته کلی روش مهندسی، روش مبتنی بر هوش مصنوعی و روش ترکیبی طبقه‌بندی کرد [۲۶]. روش مهندسی میزان مصرف انرژی را با استفاده از معادلات ترمودینامیکی حاکم بر رفتار فیزیکی سیستم‌ها و فعل و انفعالات آن‌ها با محیط تخمین می‌زند. این روش به‌عنوان "جعبه سفید" شناخته می‌شود زیرا منطق درونی آن شناخته‌شده است. برخلاف رویکرد مهندسی، روش مبتنی بر هوش مصنوعی به‌عنوان "جعبه سیاه" شناخته می‌شود زیرا استفاده از انرژی را بدون دانستن رابطه داخلی ساختمان و اجزای منفرد آن پیش‌بینی می‌کند. روش ترکیبی نیز به‌عنوان "جعبه خاکستری" شناخته می‌شود که هر دو روش جعبه سفید و جعبه سیاه را با هدف از بین بردن محدودیت‌های ذاتی هر روش ادغام می‌کند. هر دو روش جعبه سفید و جعبه خاکستری به اطلاعات دقیق ساختمان برای شبیه‌سازی روابط داخلی به‌منظور برآورد استفاده از انرژی نیاز دارند و بنابراین زمان‌بر هستند. برای مطالعه ساختمان‌های موجود و مصرف انرژی آن‌ها، استفاده از این دو روش بسیار زمان‌بر می‌باشد زیرا اگر نگوئیم غیرممکن، جمع‌آوری دقیق مشخصات مجموعه ساختمان و سیستم‌های مکانیکی ممکن است دشوار باشد. روش‌های هوش مصنوعی را می‌توان به دو دسته روش‌های پیش‌بینی واحد که از یک روش یادگیری ماشین استفاده می‌کنند و روش‌های پیش‌بینی ترکیبی که از ادغام چند روش یادگیری ماشین برای بهبود دقت بهره می‌برند تقسیم نمود.

روش پیش‌بینی مبتنی بر هوش مصنوعی با توجه به متغیرهای همبسته آن مانند شرایط محیطی، مشخصات ساختمان و وضعیت اشغال فضا، مصرف انرژی ساختمان را پیش‌بینی می‌کند. با توجه به عملکرد پیش‌بینی آن، روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی به‌طور گسترده‌ای در حوزه پیش‌بینی مصرف انرژی ساختمان استفاده‌شده است. مطالعات قبلی روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی را با سایر روش‌های پیش‌بینی مصرف انرژی ساختمان مقایسه کرده‌اند. به‌عنوان مثال [۲۷] شبکه عصبی مصنوعی را با EnergyPlus، یک نرم‌افزار تخمین انرژی کل ساختمان مقایسه کرده است. در [۲۸] شبکه عصبی^۲ BPNN با KEPI-YTEESS، یکی دیگر از ابزارهای شبیه‌سازی انرژی، برای پیش‌بینی بار گرمایش ساختمان‌های مسکونی مقایسه شده است. این مطالعات نشان داده است که رویکردهای مبتنی بر هوش مصنوعی با مزایایی مانند سادگی مدل، سرعت محاسبه و توانایی یادگیری در مقایسه با روش‌های مهندسی و ترکیبی مناسب‌ترین روش در پیش‌بینی مصرف انرژی ساختمان هستند. به دلیل ساختار مدل ساده جمع‌آوری اطلاعات، توسعه مدل AI سریع است. برای توضیح بیشتر، موتورهای شبیه‌سازی انرژی مانند EnergyPlus، اگرچه می‌توانند

¹ Artificial Intelligence

² Back Propagation Neural Network

سیستم‌های پیچیده‌ای را مدل کنند، اما با توجه به عملیات پی‌درپی ساختار نرم‌افزار، نسبتاً کندتر از رویکردهای مبتنی بر هوش مصنوعی هستند، به‌عنوان مثال، دمای فضا با استفاده از بازخورد از ماژول HVAC¹ به‌صورت ساعتی به‌روز می‌شود. علاوه بر این، با استفاده از داده‌های سری زمانی، می‌توان از مدل‌های مبتنی بر هوش مصنوعی برای پیش‌بینی رفتار آینده مصرف انرژی استفاده کرد درحالی‌که نرم‌افزار مدل‌سازی انرژی، برآورد انرژی را بر اساس ۱۵ دقیقه، ساعتی، ماهانه یا سالانه از یک سیستم شناخته‌شده ارائه می‌دهد. این امر منجر به یکی از مزایای قابل توجه مدل‌های مبتنی بر هوش مصنوعی می‌شود زیرا آن‌ها به تعداد کمی پارامتر نیاز دارند که به اندازه کافی عملکرد ساختمان را نشان دهند. البته دسته‌بندی روش‌های مدیریت خانه‌های هوشمند می‌تواند به‌صورت مفصل‌تر به چهار یا پنج دسته نیز تقسیم شود که در ادامه گزارش به آن‌ها پرداخته شده است.

در ادامه ابتدا سیستم‌های مدیریت خانگی و اجزای آن مورد بررسی قرار گرفته و سپس روش‌های هوشمندسازی آن دسته‌بندی و بیان می‌شوند. اهداف این هوشمندسازی و متغیرهای مورد استفاده و شرایطی که روی آن‌ها اعمال می‌شود نیز دسته‌بندی شده‌اند.

۱-۵-۵ سیستم‌های مدیریت انرژی خانگی (HEMS)²

در شکل ۵-۱۴ نمایی کلی از معماری یک HEMS نشان داده شده است که شامل اجزای زیر می‌باشد:

- دستگاه‌های سنجش و اندازه‌گیری

این دستگاه‌ها برای اندازه‌گیری مقادیر فیزیکی مانند دما، رطوبت، نور یا برای تشخیص حرکت مورد استفاده قرار می‌گیرند. کنتورهای هوشمند معمولاً توسط HEMS مورد استفاده قرار می‌گیرند و مصرف انرژی دقیق لوازم خانگی و سایر اطلاعات مربوط به فعالیت‌های انسانی را جمع‌آوری می‌کنند. کنتورهای هوشمند همچنین ارتباط دوطرفه بین HEMS و وسایل را تسهیل می‌کنند.

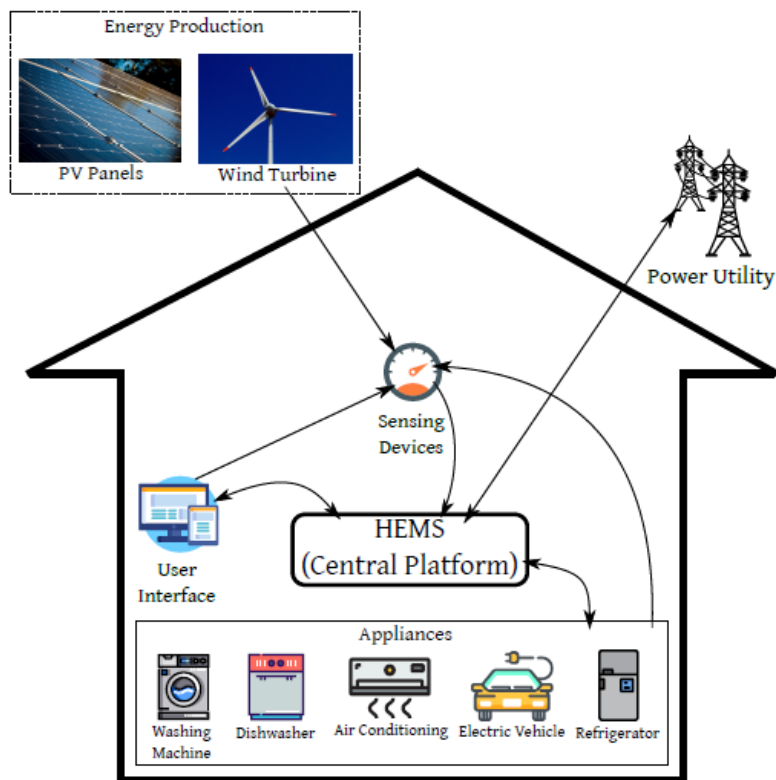
- وسایل هوشمند

این وسایل از دستگاه‌های معمولی خانگی (به‌عنوان مثال ماشین ظرف‌شویی، یخچال یا واحد تهویه مطبوع) تشکیل شده است که با قابلیت‌های محاسباتی و ارتباطی تقویت شده‌اند. دستگاه‌های تولید انرژی مانند پنل‌های فتوولتائیک³ (PV) و توربین‌های بادی نیز در این دسته در نظر گرفته شده‌اند. لوازم خانگی هوشمند با یک پلتفرم مرکزی ارتباط برقرار می‌کنند که تمام داده‌های اندازه‌گیری شده را کنترل و استفاده از لوازم خانگی را هماهنگ می‌کند.

¹ Heating, Ventilating, and Air Conditioning

² Home Energy Management System

³ Photovoltaic



شکل ۵-۱۴: نمای کلی معماری HEMS [۲۹]

گرچه دسته‌بندی واحدی برای وسایل خانگی وجود ندارد و ممکن است یک وسیله را بتوان در گروه‌های مختلفی قرار داد، در [۳۰] این وسایل در شش گروه زیر دسته‌بندی شده‌اند.

(۱) بارهای غیرقابل کنترل: این وسایل توسط HEMS قابل تغییر و برنامه‌ریزی نیستند. این دسته بارهایی را در نظر می‌گیرد که ارزش افزوده‌ای را برای ساکنان فراهم می‌کنند و گاهی اوقات کاملاً توسط کاربران کنترل می‌شوند. به عنوان مثال می‌توان تجهیزات سرگرمی مانند تلویزیون، رایانه‌ها یا سیستم‌های صوتی را ذکر نمود اما محدود به آن‌ها نیست.

(۲) بارهای قابل کاهش: مصرف انرژی در این وسایل را می‌توان در اواسط کار تنظیم کرد و معمولاً هیچ تأثیری در راحتی ساکنان ندارد. چنین تنظیماتی با تغییر تنظیمات اساسی، مصرف انرژی را کاهش می‌دهند. یک مثال می‌تواند کم شدن نور مصنوعی داخلی در طول روز به عنوان تابعی از نور بیرون باشد.

(۳) بارهای بی‌وقفه: این وسایل پس از شروع، باید به اندازه یک چرخه کامل کار کنند. از این رو HEMS یا ساکنان، فقط قادر به تعیین زمان شروع مربوطه هستند. ماشین‌های ظرف‌شویی، لباسشویی یا خشک‌کن لباس معمولاً در این گروه قرار می‌گیرند.

(۴) بارهای قابل وقفه: این بارها می‌توانند در هر زمان قطع شده و پس از آن مجدداً شروع به کار کنند و این وقفه تأثیر کمی بر عملکرد آن‌ها دارد. لوازم خانگی موجود در این گروه معمولاً به عنوان تجهیزاتی با مصرف مداوم مدل‌سازی می‌شوند که ساختار مسائل برنامه‌ریزی را ساده می‌کند. به عنوان مثال می‌توان به وسایل نقلیه الکتریکی پلاگین هیبریدی و سایر دستگاه‌های قابل شارژ اشاره کرد.

۵) بارهای قابل تنظیم: در این بارها حالت‌های عملکرد دستگاه تا حد ممکن به مرجع مشخصی که توسط ساکنان یا HEMS تعریف می‌شود نزدیک هستند. سیستم‌های گرمایش، تهویه و تهویه مطبوع نمونه‌های این گروه هستند.

۶) ذخیره انرژی: شامل وسایلی مانند باتری‌های خارجی است که انرژی را برای استفاده آتی ذخیره می‌کنند.

- رابط کاربری

دستگاهی است که از طریق آن ساکنان می‌توانند با HEMS ارتباط برقرار کنند. از رابط‌ها می‌توان برای نمایش اطلاعاتی مانند مصرف فعلی یا هزینه‌های انرژی و برای تعیین اولویت‌های ساکنان، از جمله اولویت‌های لوازم خانگی، پارامترهای راحتی یا اهداف برنامه‌ریزی شده استفاده کرد. این دستگاه به صورت صفحه لمسی یا رابط برنامه‌های کاربردی تلفن همراه بسیار رایج است.

در یک HEMS، حسگرها به طور مداوم اطلاعات مربوط به فعالیت‌های خانگی را جمع‌آوری می‌کنند. معمولاً سیگنال‌های مصرف تک تک لوازم خانگی جمع‌آوری می‌شوند، اگرچه می‌توان از روش‌های تفکیک نظیر ¹NILM [۳۱] برای استخراج مصرف هر دستگاه استفاده کرد. سپس داده‌های جمع‌آوری شده به سیستم عامل مرکزی فرستاده و در آنجا ذخیره و پردازش می‌شوند. لازم به ذکر است که داده‌های صورتحساب و پیش‌بینی وضعیت هوا نیز می‌توانند بازیابی شده و در مرحله بهینه‌سازی مورد استفاده قرار گیرند. علاوه بر این، در یک HEMS، سیستم عامل مرکزی تنظیمات ساکنان را با اطلاعات جمع‌آوری شده و استنباط شده ادغام می‌کند. سپس یک استراتژی برنامه‌ریزی برای تعیین زمان کارکرد دستگاه که مطابق با تنظیمات تنظیم شده توسط کاربر است، تحت محدودیت‌های فیزیکی تعیین می‌گردد. پروتکل‌های ارتباطی مناسب بین سیستم عامل مرکزی و دستگاه‌های هوشمند، اجرای برنامه‌ریزی بهینه را تضمین می‌کنند.

۵-۵-۲ برنامه‌ریزی سیستم‌های مدیریت خانگی

به منظور بهبود بهره‌وری انرژی و آسایش ساکنان، HEMS بر میزان مصرف خانوار نظارت کرده و عملیات لوازم خانگی را هماهنگ می‌کند. این امر می‌تواند از طریق کاهش مصرف یا جابجایی مصرف حاصل شود که مورد دوم در ساختمان‌های مسکونی بسیار محبوب‌تر است. جابجایی مصرف به روش‌های زمان‌بندی برای یافتن زمان بهینه کارکرد لوازم خانگی بستگی دارد. قبل از تصویب و استقرار آن‌ها در سناریوهای واقعی، لازم است در مورد دستگاه‌هایی که باید مدیریت شوند، معیارهای برنامه‌ریزی، محدودیت‌های عملیاتی و تکنیک‌های زمان‌بندی در نظر گرفته شوند. این بخش به بحث در مورد روش‌ها، معیارها و محدودیت‌های زمان‌بندی اختصاص دارد.

۵-۵-۱ روش‌های برنامه‌ریزی

طیف گسترده‌ای از روش‌ها برای بهبود مصرف انرژی پیشنهاد شده است که می‌توان آن‌ها را به طور کلی به بهینه‌سازی ریاضی، کنترل مبتنی بر مدل و یادگیری ماشین دسته‌بندی نمود. از آنجایی که مدل‌های مبتنی بر هوش مصنوعی و یادگیری ماشین عملکرد بهتری در این حوزه داشته‌اند و اخیراً روش‌های سریعی در این حوزه مورد توجه قرار گرفته است در این قسمت تمرکز بیشتر بر روی این گونه روش‌ها می‌باشد.

۵-۵-۲ روش‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین

¹Non-Intrusive Load Monitoring

به‌طور سنتی، شرکت‌های تاسیساتی برای نظارت و مدیریت زیرساخت‌های شبکه به‌شدت به سیستم‌های کنترل، مدل‌سازی فیزیکی و محاسبات عددی وابسته‌اند. با پیشرفت‌های اخیر فناوری در اینترنت اشیا و فناوری‌های شبکه هوشمند، نسل جدید حسگرهای دیجیتال مجهز به محاسبات و قابلیت‌های ارتباطی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این امر منجر به جمع‌آوری حجم گسترده‌ای از داده‌ها می‌شود. از طرف دیگر، تولید انرژی‌های تجدیدپذیر هم پیچیدگی و هم عدم اطمینان مدیریت شبکه را افزایش می‌دهد. از آنجاکه این مجموعه جدید از چالش‌ها به‌طور کامل توسط استراتژی‌های سنتی برطرف نشده است، استفاده از یادگیری ماشین و تکنیک‌های مبتنی بر علم داده در زمینه مدیریت ساختمان و شبکه به ویژه برای برنامه‌ریزی لوازم خانگی و پیش‌بینی مصرف انرژی ساختمان پیشنهاد شده است.

روش پیش‌بینی مبتنی بر هوش مصنوعی شامل چهار مرحله اصلی است: جمع‌آوری داده‌ها، پیش‌پردازش داده‌ها، آموزش مدل و آزمایش مدل. اولین قدم به دست آوردن داده‌های آماری ورودی و خروجی است. دقت پیش‌بینی مدل مبتنی بر هوش مصنوعی به انتخاب داده‌های ورودی بستگی دارد. به‌طور کلی، داده‌های ورودی تأثیرگذار و با همبستگی بالا ممکن است نتایج پیش‌بینی بهتری داشته باشند. در مورد پیش‌بینی مصرف انرژی ساختمان، برخی از این ورودی‌ها شامل شرایط آب‌وهوای بیرون، شرایط ساکنین، ضریب اتلاف حرارت می‌باشد. داده‌های خروجی پارامترهایی هستند که بیانگر مصرف انرژی ساختمان هستند. در عمل، داده‌های مصرف انرژی ساختمان به‌صورت استفاده از برق، گاز، آب سرد و گرم نشان داده می‌شود. فرکانس‌های نمونه‌برداری از داده‌های مصرف می‌تواند از بازه هرچند روز یک نمونه تا هر ثانیه یک نمونه متغیر باشد. قبل از استفاده از داده‌ها برای آموزش، پیش‌پردازش بر روی داده‌های جمع‌آوری‌شده انجام می‌شود تا آن‌ها در یک قالب مناسب سازمان‌دهی شوند. تکنیک‌های پیش‌پردازش داده‌ها مانند نرمالیزه کردن و درون‌یابی ممکن است در این مرحله برای بهبود کیفیت داده‌ها اعمال شود. مرحله سوم آموزش مدل پیش‌بینی مبتنی بر هوش مصنوعی است. از آنجاکه مفهوم اصلی روش پیش‌بینی یادگیری از داده‌های آماری است، برای توسعه مدل نیاز به یک فرآیند آموزش است. به‌طور دقیق‌تر، فرآیند آموزش باهدف انتخاب مناسب‌ترین پارامترها برای بهبود عملکرد پیش‌بینی الگوریتم یادگیری انجام می‌شود. نوع پارامترها بین الگوریتم‌های مختلف یادگیری متفاوت است. انتخاب پارامتر به عوامل مختلفی مانند ابعاد داده‌های آموزش و انتخاب متغیرهای ورودی وابسته است. آخرین مرحله اعتبارسنجی عملکرد پیش‌بینی مدل با استفاده از داده‌های تست بر روی مدل آموزش دیده است. شاخص‌های عملکردی مانند $RMSE^1$ و $MAPE^2$ برای ارزیابی عملکرد استفاده می‌شود. بر اساس این چارچوب، محققان الگوریتم‌های یادگیری مبتنی بر هوش مصنوعی و طرح‌های مختلف پیش‌بینی را برای پیش‌بینی مصرف انرژی ساختمان به کار گرفته‌اند. این روش‌ها ممکن است بیشتر به دو دسته تقسیم شوند: روش‌های پیش‌بینی منفرد و روش‌های پیش‌بینی گروهی. روش پیش‌بینی منفرد از یک الگوریتم یادگیری استفاده می‌کند درحالی‌که روش پیش‌بینی گروهی متشکل از چندین مدل پیش‌بینی است. در ادامه به بررسی این الگوریتم‌ها پرداخته شده است.

• روش رگرسیون خطی چندگانه

رگرسیون خطی چندگانه^۳ (MLR) رویکردی برای مدل‌سازی رابطه بین یک متغیر وابسته و چند متغیر مستقل است. به دلیل سهولت استفاده از مدل‌های MLR برای پیش‌بینی بارهای مصرف ساختمان استفاده شده است. در [۳۲] مدل‌های رگرسیون برای پیش‌بینی تقاضای گرمایش ماهانه ساختمان‌های مسکونی استفاده شده است. ورودی‌های

¹ Root Mean Square Error

² Mean Absolute Percentage Error

³ Multiple Linear Regression (MLR)

مدل‌های رگرسیون شامل پارامترهای نوع مصالح ساختمان، نسبت سطح پنجره به دیوارها و شرایط آب‌وهوا و دمای محیط است. این مدل ابزار ساده و کارآمد پیش‌بینی برای محاسبه تقاضای گرمایش ساختمان‌های مسکونی می‌باشد. اخیراً، همان نویسندگان مدل MLR خود را با معرفی تنها سه ورودی یعنی ضریب اتلاف حرارت کلی ساختمان، نسبت سطح جنوبی ساختمان به کل ساختمان و تفاوت بین دمای تنظیم داخل و دمای بیرون ساده کرده‌اند [۳۳]. نتایج آن‌ها نشان داد که روش پیشنهادی تقاضای گرمایی ساختمان را با دقت خوبی پیش‌بینی می‌کند. در [۳۴] با معرفی میزان تغییر دمای هوای داخلی به‌عنوان یک متغیر مستقل عملکرد مدل رگرسیون بهبود داده شده است. این مطالعه نشان داده است که عملکرد MLR می‌تواند با معرفی متغیرهای مستقل مناسب بهبود یابد.

سهولت استفاده، به‌عنوان مزیت اصلی روش MLR در نظر گرفته می‌شود. اگرچه مطالعات قبلی MLR را به‌عنوان ابزاری کارآمد برای پیش‌بینی مصرف طولانی مدت انرژی ساختمان اثبات کرده است اما اینکه می‌توان با موفقیت در پیش‌بینی کوتاه مدت نیز از آن استفاده کرد، هنوز مشخص نیست.

• روش شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN)

ANN یک روش یادگیری آماری غیرخطی است که از شبکه‌های عصبی بیولوژیکی الهام گرفته شده است. این روش به‌عنوان یک ابزار تقریب تابع تصادفی استفاده می‌شود زیرا روابط پیچیده بین ورودی و خروجی می‌توانند مدل شوند. ANN معمولی دارای سه لایه است، یعنی لایه‌های ورودی، پنهان و خروجی که به‌هم‌پیوسته‌اند. سه نوع پارامتر به‌طور معمول برای تعریف ANN استفاده می‌شود: الگوی اتصال بین سلول‌های عصبی از لایه‌های مختلف، روند یادگیری و به‌روزرسانی وزن‌های اتصال و تابع فعال‌سازی [۳۵].

در دو دهه گذشته، ANN برای پیش‌بینی انواع مختلف مصرف انرژی ساختمان، مانند مصرف کل انرژی ساختمان، بارهای خنک‌کننده و گرمایش و مصرف برق استفاده شده است. در [۳۶] از شبکه عصبی رگرسیون عمومی^۱ (GRNN) برای پیش‌بینی بار خنک‌کننده ساختمان‌های تجاری استفاده شده است. یافته‌های این مقاله نشان داد که یک GRNN با طراحی خوب می‌تواند بار خنک‌کننده ساختمان را فقط بر اساس دمای خارجی پیش‌بینی کند. در [۳۷] برای پیش‌بینی نیاز به انرژی گرمایی سه ساختمان مختلف از شبکه عصبی^۲ (BPNN) استفاده شده است. این تحقیقات قابلیت اطمینان و صحت BPNN را در پیش‌بینی بارهای گرمایش ساختمان اثبات کرد. در [۳۸] نیز از BPNN برای پیش‌بینی تقاضای خنک‌کننده ساختمانی استفاده شده که در آن نویسندگان برای شناسایی پارامترهای مدل و بهبود عملکرد پیش‌بینی، یک روش بهینه‌سازی کلی به نام Modal Trimming Method را معرفی کرده‌اند.

نمونه‌های بسیار زیادی از کاربرد شبکه‌های عصبی و ترکیب آن با رگرسیون‌های مختلف برای پیش‌بینی مصرف انرژی ساختمان‌ها وجود دارد. این مطالعات نشان می‌دهد که مدل‌های ANN به روشی سریع و دقیق در پیش‌بینی مصرف انرژی ساختمان کمک می‌کنند. در همین حال، برخی از محققان ANN را با سایر روش‌های پیش‌بینی مبتنی بر هوش مصنوعی مقایسه کرده‌اند. در [۳۹] از هر دو روش رگرسیون و ANN برای پیش‌بینی مصرف انرژی سالانه ساختمان‌های مسکونی شهری استفاده شده است. به همین ترتیب، [۴۰] برای پیش‌بینی مصرف انرژی آب گرم HVAC از سه مدل رگرسیون و یک مدل ANN استفاده کرده است. هر دو مطالعه نشان داده است که شبکه‌های عصبی می‌توانند عملکرد بهتری نسبت به روش‌های رگرسیون برای پیش‌بینی کوتاه‌مدت داشته باشند.

^۱ General Regression Neural Network

^۲ Backward Propagation Neural Network

طبق بررسی‌ها، مزیت اصلی روش ANN توانایی آن در تشخیص روابط پیچیده غیرخطی بین ورودی و خروجی به‌طور ضمنی است. این ویژگی امکان استفاده برای نظارت به‌صورت بلادرنگ را فراهم می‌کند.

• روش SVR^۱

مفهوم SVR از محاسبه یک تابع رگرسیون خطی در یک فضای چندبعدی که در آن داده‌های ورودی از طریق یک تابع غیرخطی نگاشت می‌شوند، گرفته شده است. هدف SVR یافتن تابع $f(x)$ به‌گونه‌ای است که دارای حداکثر انحراف ϵ از هدف y_i برای تمام داده‌های آموزشی باشد و درعین حال تا حد ممکن ساده باشد. برای اولین بار در [۴۱] از SVR در زمینه پیش‌بینی مصرف انرژی ساختمان در سال ۲۰۰۵ استفاده شد. چهار ساختمان تجاری در منطقه گرمسیری به‌طور تصادفی به‌عنوان مطالعات موردی برای پیش‌بینی مصرف ماهانه انرژی بر اساس داده‌های آب‌وهوای محلی از جمله متوسط ماهانه درجه حرارت بیرون، رطوبت نسبی و تابش خورشید انتخاب شدند. نتایج نشان داد که میزان خطای نسبی مطلوبی کمتر از ۴٪ به‌دست آمده است. به همین ترتیب، در [۴۲] از SVR برای پیش‌بینی بار خنک‌کننده ساعتی یک ساختمان اداری استفاده شده است. اطلاعات وضعیت آب‌وهوا، مانند دمای فضای باز، رطوبت نسبی و شدت تابش خورشید، به‌عنوان پارامترهای ورودی برای پیش‌بینی بارهای خنک‌کننده ساعتی استفاده شده است. نتایج، SVR را به‌عنوان یک روش جایگزین امیدوارکننده برای پیش‌بینی بارهای خنک‌کننده ساختمان نشان داده است. در [۴۳] و [۴۴] SVR با BPNN^۲، RBFNN^۲ و GRNN برای پیش‌بینی مصرف ساعتی برق مسکونی مقایسه شده است. این مطالعات نشان داد که SVR پیش‌بینی مصرف انرژی ساختمان را نسبت به چند روش دیگر بهتر انجام می‌دهد.

• روش‌های یادگیری تقویتی ^۳RL، ^۴DL، ^۵DRL و مشتقات آن‌ها

درروش یادگیری تقویتی چهار جزء اصلی وجود دارند که عبارت‌اند از: عامل، محیط، پاداش و عمل. روش RL یک نگاشت بین حالت‌ها و عمل‌ها برای به حداکثر رساندن پاداش و پشتیبانی از عامل در پاسخ به محیط متغیر و غیرقطعی است. برخلاف دیگر الگوریتم‌های یادگیری که بر پایه اطلاعات قبلی از ناظران بیرونی استوار هستند، RL یک روش یادگیری در تعامل با محیط است. مفهوم DL از شبکه‌های عصبی مصنوعی گرفته شده است. عملکرد DL یکسان کردن استخراج ویژگی‌ها و یادگیری در یک شبکه عصبی چندلایه است. روش DRL درواقع ترکیب دو روش DL و RL می‌باشد که می‌تواند از داده ورودی با ابعاد بالا کمال استفاده را برای استخراج الگوها برده و مدل‌ها را بسازد. در مقایسه با یادگیری تقویتی قدیمی، DRL توانسته بر مشکل داده‌های مقیاس بزرگ و با ابعاد بالا به‌خوبی غلبه نماید. به‌طور مشابه ^۶DQL نیز از ترکیب شبکه‌های عصبی با روش Q-learning به‌دست آمده است.

یادگیری تقویتی با موفقیت در بسیاری از زمینه‌های مدیریت انرژی ساختمان، از جمله کنترل HVAC اعمال شده است. به‌طورمعمول، شرایط محیطی برای الگوریتم RL شامل عواملی مانند زمان روز، دمای خارج از منزل، دمای داخلی، پیش‌بینی آب‌وهوا و فضای اشغال شده است. الگوریتم RL برای کارکرد به‌نوعی پارامتر پاداش احتیاج دارد که مطالعات قبلی در این زمینه پاداش را بر اساس هزینه انرژی، آسایش ساکنان از لحاظ حرارتی و دمایی یا ترکیبی از هر

^۱Support Vector Regression

^۲Radial Basis Function Neural Network

^۳Reinforcement Learning

^۴Deep Learning

^۵Deep Reinforcement Learning

^۶Deep Q-Learning

دو محاسبه می‌کنند [۴۵]. در [۴۶] یک روش ترکیبی از دو روش RL و MPC^۱ را برای کنترل عملکرد HVAC در ساختمان آزمایشگاه ایستگاه منبع انرژی در آنکنی، آیووا مورد مطالعه قرار گرفت که طی آن مشخص شد که روش ترکیبی عملکرد بهتری نسبت به یادگیری Q یا MPC به صورت جداگانه دارد. همچنین در [۴۷] از شبکه عصبی عمیق و Deep RL (DQN) به مساله کنترل HVAC پرداخته شده و نشان داده شده است که صرفه جویی در انرژی نسبت به یادگیری Q معمولی در محدوده ۲۰-۳۰٪ بهبود می‌یابد.

• روش‌های ترکیبی

مدل‌های پیش‌بینی مبتنی بر هوش مصنوعی محدودیت‌های خاص خود را دارند و انتخاب الگوریتم یادگیری مناسب به مسئله خاصی که باید حل شود بستگی دارد. در حال حاضر، فرآیند انتخاب با رویکرد ابتکاری انجام می‌شود که نیاز به تجربه کافی کار با الگوریتم‌های یادگیری دارد. در حال حاضر، مفهوم یادگیری ترکیبی که محدودیت‌های مدل‌های پیش‌بینی را تا حدودی برطرف کرده‌اند مورد توجه محققین قرار گرفته است.

در [۴۸] مدل‌های هوش مصنوعی به صورت جداگانه و ترکیبی (به عنوان مدل گروهی) در مرحله طراحی ساختمان برای پیش‌بینی بار خنک‌کننده^۲ (CL) ساختمان مسکونی و بار گرمایش^۳ (HL) مورد استفاده قرار گرفته‌اند. دوازده نوع ساختمان شبیه‌سازی شده در Ecotect، یک نرم‌افزار شبیه‌سازی انرژی، در تحقیقات مورد بررسی قرار گرفته است. همه ساختمان‌ها از مصالح یکسانی برخوردار هستند اما دارای مساحت و ابعاد مختلف هستند. فعالیت‌ها در ساختمان‌ها کم‌تر حرکت فرض شده‌اند. تکنیک‌های مختلف هوش مصنوعی، از جمله ANN، SVR، درخت رگرسیون^۴، رگرسیون خطی عمومی و مدل استنتاج گروهی برای پیش‌بینی استفاده شده است. هشت ویژگی ساختمان به عنوان ورودی برای پیش‌بینی CL و HL به کار رفته است. نتایج مقایسه نشان داد که به ترتیب مدل گروه (SVR + ANN) و SVR بهترین مدل برای پیش‌بینی CL و HL بوده‌اند.

۶-۵ ذخیره کننده انرژی الکتریکی

یکی از بارهایی که تحت کنترل سیستم مدیریت انرژی خانه هوشمند قرار دارد، ذخیره‌کننده‌های انرژی هستند. معمولاً مدیریت انرژی خانگی در شبکه‌های سنتی برق مربوط به کاهش مصرف انرژی و به تبع آن کاهش هزینه بوده است که این کار نیز معمولاً با کاهش مصرف لوازم خانگی در زمان اوج مصرف و همچنین طراحی منزل با مواد و تجهیزاتی برای جلوگیری از هدر رفت انرژی انجام می‌شود. در شبکه برق نوین با اضافه شدن تجهیزات تولید برق پراکنده مانند سلول‌های خورشیدی (PV)، توربین بادی و همچنین بارهای جدیدی مانند خودرو برقی مساله پاسخ به تقاضا بسیار پررنگ‌تر شده است. امروزه با کاهش قیمت تولید سلول‌های خورشیدی در کشورهای توسعه‌یافته استفاده از این تجهیزات بر روی بام‌ها رو به افزایش است و به عنوان مثال در آمریکا پیش‌بینی می‌شود که میزان تولید ناشی از آن در دهه آینده در حدود تولید نیروگاه‌های شبکه برق اصلی باشد. به این ترتیب ذخیره‌کننده‌های انرژی می‌توانند به سه صورت زیر در زمینه خانه‌های هوشمند مورد توجه باشند. (۱) هنگامی که تولید PV بالاتر از تقاضای برق باشد، برق اضافی ذخیره یا توسط بارهای قابل تغییر و قابل کنترل مصرف می‌شود. (۲) به دلیل متغیر با زمان بودن روش‌های

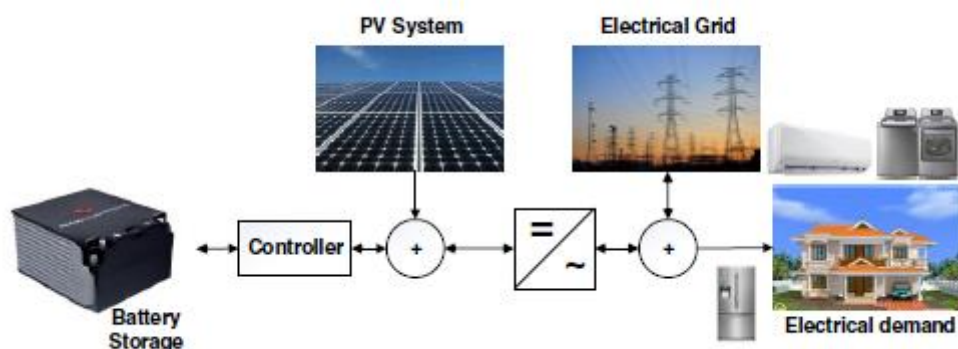
^۱Model Predictive Control

^۲Cooling Load

^۳Heating Load

^۴Regression tree

قیمت‌گذاری، کاربران می‌خواهند باتری‌ها را به‌گونه‌ای برنامه‌ریزی کنند که در زمان قیمت ارزان برق، باتری‌ها شارژ شوند و در زمان بالا بودن قیمت برق، از باتری‌ها استفاده شود. (۳) یک سیستم مدیریت خانگی می‌تواند سیستم باتری را برای اجرای پاسخ به تقاضا یا کنترل بار، مستقیماً بدون دخالت انسان کنترل کند [۴۹]. جریان انرژی الکتریکی در یک سیستم ذخیره‌کننده -فوتوولتائیک خانگی در شکل ۱-۱۵ نشان داده شده است.



شکل ۵-۱۵: جریان انرژی الکتریکی در یک سیستم ذخیره‌کننده -فوتوولتائیک خانگی [۵۰]

هدف اصلی چنین HEMS به حداقل رساندن هزینه‌های انرژی در عین تأمین سطح راحتی مناسب برای ساکنان است. مسئله اساسی بهینه‌سازی را می‌توان یک فرآیند تصمیم‌گیری متوالی تحت عدم اطمینان دانست. به‌طور خاص، این مساله شامل متغیرهای تصادفی مانند خروجی PV و تقاضای برق است. برای نشان دادن این موضوع، چند روز آفتابی با تقاضای کم (به‌عنوان مثال آخر هفته) و پس‌از آن چند روز ابری با تقاضای زیاد را در نظر بگیرید. با پیش‌بینی این امر HEMS وضعیت شارژ باتری پایان روز را برای بهره‌مندی از منافع مالی قابل‌توجه به‌طور خاصی تنظیم می‌کند [۵۱].

مساله به‌صورت یک مساله تصمیم‌گیری مارکوف^۱ (MDP) می‌تواند طرح شود که شامل یک فضای حالت، یک فضای تصمیم‌گیری و اطلاعات تصادفی می‌شود. این مساله توسط روش‌های مختلفی از جمله DP^2 [۵۲]، ADP^3 [۵۰]، PSO^4 [۵۳] و $MILP^5$ [۵۴] و همچنین الگوریتم PFA^6 [۴۹] مورد بررسی قرار گرفته است. نشان داده شده است که DP راه‌حل‌های نزدیک به راه‌حل بهینه را تولید می‌کند. ADP از نظر محاسباتی به‌عنوان ابزاری برای برنامه‌ریزی آفلاین قابل‌استفاده است اما در مقایسه با DP راه‌حل‌هایی با کیفیت کمی پایین‌تری ارائه می‌دهد زیرا باید تقریب تابع مقدار انجام گیرد.

بااینکه تمام این روش‌های موجود تکنیک‌های بهینه‌سازی هستند، باید مدل تقاضای برق و خروجی PV برای روز بعد پیش‌بینی شود. به همین دلیل، کیفیت روش‌ها به‌دقت تقاضای الکتریکی و پیش‌بینی‌های خروجی PV بستگی دارد.

¹ Markov Decision Problem

²Dynamic Programming

³Approximate Dynamic Programming

⁴Particle Swarm Optimizatin

⁵Mixed-Integer Linear Programming

⁶Policy Function Approximation

الگوریتم PFA¹ با استفاده از روش‌های مختلف یادگیری ماشین به HEMS این امکان را می‌دهد که بدون حل کردن مساله بهینه‌سازی به صورت آنالین و با سرعت تصمیم‌گیری نماید و به راحتی نیز روی ادوات محاسباتی ارزان قیمت قابل پیاده‌سازی است. در نتیجه نسبت به روش‌های قبلی که در بالا به آن‌ها اشاره شد برتری دارد [۵۵].

۷-۵ فن‌آوری ریزشبکه‌ها

امروزه رشد استفاده از منابع تجدیدپذیر به دلیل مسائلی چون افزایش قیمت سوخت‌های فسیلی، افزایش تولید گازهای گلخانه‌ای، امنیت انرژی و محدود بودن منابع سوخت‌های فسیلی، افزایش یافته است. پیشرفت فن‌آوری و تولید در مقیاس انبوه باعث شده است هزینه اولیه مورد نیاز برای منابع تجدیدپذیر کاهش یابد. از سوی دیگر نگرانی‌های مربوط به بهره‌برداری و پایداری سیستم در صورت استفاده از منابع تجدیدپذیر به میزان بالا در شبکه می‌تواند مانعی بر سر راه توسعه این واحدهای تولیدی باشد. ماهیت متغیر و متناوب انرژی تزریقی از طریق واحدهای بادی و خورشیدی می‌تواند قابلیت اطمینان سیستم را دست‌خوش تغییر نماید.

ورود عناصر مختلفی به سیستم قدرت از جمله منابع تولید پراکنده تجدیدپذیر، سیستم‌های ذخیره انرژی، سیستم‌های کنترل ولتاژ و... در کنار مزایای متعدد، باعث ایجاد چالش‌های مختلفی در سیستم شده است. در حالت کلی، ورود این اجزا سیستم توزیع را که ذاتاً گسترده و درهم‌تنیده است، پیچیده‌تر می‌نماید و این امر باعث می‌شود بهره‌گیری از اجزای جدید در سیستم دشوارتر گردد. یکی از راه‌حل‌های پیشنهادی در این رابطه، ساده‌سازی سیستم با استفاده از ریزشبکه‌ها می‌باشد. به‌طور سنتی ریزشبکه‌ها فن‌آوری‌هایی هستند که در بخش‌های مختلف شبکه مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند ولی امروزه ریزشبکه‌ها هم می‌توانند به صورت متصل به شبکه و هم به صورت مجزا از شبکه به کار بپردازند. بدین ترتیب با استفاده از ریزشبکه‌ها، کنترل تعداد زیاد واحدهای تولید پراکنده به تعداد کمتری محدود می‌گردد. ریزشبکه‌ها می‌توانند به صورت مجزا از شبکه و یا متصل به شبکه باشند. ریز شبکه‌های مجزا از شبکه به هیچ نحو به شبکه‌ی سراسری متصل نمی‌باشند و امکان تبادل توان با شبکه را تحت هیچ شرایطی ندارند. به عبارت دیگر این ریزشبکه‌ها دارای هیچ نقطه‌ی اتصال مشترکی نمی‌باشند. در سمت مقابل ریزشبکه‌های متصل به شبکه، توانایی تبادل توان با شبکه سراسری را از طریق نقطه اتصال دارا می‌باشند.

سیستم‌هایی چون تأمین انرژی پشتیبان و یا یک منزل با یک منبع تولید پراکنده نمی‌توانند تحت عنوان ریزشبکه بررسی شوند چرا که در ریزشبکه‌ها چندین سیستم تولید پراکنده به تولید انرژی پرداخته و بارهای مختلف در سیستم قابل کنترل می‌باشند. در صورت وجود منابع تولید پراکنده از انواع گوناگون (مانند خورشیدی، بادی و...) ریزشبکه می‌تواند با بهره‌گیری از ویژگی‌های هر کدام از منابع فوق و جبران نقصان موجود در هر فن‌آوری توسط دیگری، سیستم را به نحو بهتری کنترل نماید. کنترل ریزشبکه یکی از چالش برانگیزترین امور در زمینه پیاده‌سازی این گونه سیستم‌ها می‌باشد. کنترل ریزشبکه تضمین‌کننده حفظ پارامترهای کارکردی در محدوده‌ی از پیش تعیین شده جهت کارکرد مطلوب آن می‌باشد. به‌طور کلی کنترل منابع تولید پراکنده و بارهای داخل ریزشبکه در راستای حفظ پایداری آن امری بسیار پیچیده می‌نماید. در این راستا کنترل‌کننده‌هایی مانند شبکه عصبی، کنترل‌کننده‌های فازی و ... برای کنترل ریزشبکه پیشنهاد شده‌اند.

¹ Path Finder Algorithm

در ادامه به بررسی برخی مقالات حوزه هوش مصنوعی که برای بهبود عملکرد ریزشبکه‌ها ارائه شده است پرداخته می‌شود.

در [۵۶]، یک سیستم مدیریت انرژی هوشمند را برای بهینه‌سازی عملکرد ریزشبکه ارائه می‌دهد. این سیستم شامل بخش پیش‌بینی توان، بخش سیستم ذخیره انرژی^۱ (ESS) و بخش بهینه‌سازی است. بخش پیش‌بینی توان قابلیت پیش‌بینی توان مصرفی روز آینده را دارد. از آنجاکه ذخیره انرژی باید در چندین مرحله و با توجه به تأثیر قیمت انرژی بهینه شود، تجزیه و تحلیل آن پیچیده است؛ بنابراین از بخش ESS برای تعیین استراتژی‌های عملکرد بهینه استفاده شده است. سرانجام، یک بخش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک^۲ (MRC-GA) برای دستیابی به یک روش عملی برای مدیریت بار، ارائه شده است.

در مقاله [۵۷]، به بررسی یک الگوریتم مدیریت انرژی هوشمند برای سیستم ذخیره انرژی ترکیبی در یک ریزشبکه پرداخته شده است. منابع انرژی تجدید پذیر در حال تبدیل شدن به بخش مهمی از شبکه برق امروز هستند. فن‌آوری‌های ذخیره انرژی تنها راه حل برای مشکل پایداری این انرژی‌ها هستند. در این مطالعه، یک الگوریتم مدیریت انرژی هوشمند جدید^۳ (SEMA) برای سیستم هیبرید ذخیره انرژی^۴ (HESS) که از سیستم برق فتوولتائیک (PV) تغذیه می‌کند، ارائه شده است. از سیستم HESS که متشکل از واحد ذخیره انرژی باتری است، برای پایداری انرژی سیستم تولید برق PV خورشیدی استفاده می‌شود. استفاده از سیستم ذخیره انرژی باتری به‌تنهایی، باعث نوسانات ولتاژ باس DC در هنگام تغییرات آنی بار می‌شود. همچنین، SEMA تغییرات دینامیکی را تشخیص داده و توانسته است عملکرد سیستم را در حالت‌های مختلف تضمین کند.

در [۵۸]، به مدیریت مؤثر انرژی در یک ریزشبکه با منابع ذخیره‌سازی و تولیدی تجدید پذیر پرداخته شده است. یک ریزشبکه معمولاً از واحدهای کوچکی از منابع انرژی تجدیدپذیر، ذخیره باتری، نیروگاه‌های ترکیبی گرما و برق و مهم‌تر از همه، یک سیستم مدیریت انرژی^۵ (EMS) تشکیل شده است. EMS مسئول عملکرد اصلی یک ریزشبکه است که شامل برقراری ارتباط مداوم و قابل اعتماد بین تمام واحدهای تولید پراکنده^۶ (DG) و اطمینان از هماهنگی فعالیت‌هاست. این مقاله بر بهبود عملکرد EMS متمرکز بوده است. مشکل مورد بررسی، برنامه‌ریزی بهینه واحدهای تولیدی و ذخیره‌سازی باتری در یک ریزشبکه است؛ بنابراین، EMS باید اطمینان حاصل کند که تقسیم برق بین منابع مختلف از یک سناریو از پیش تعیین‌شده پیروی کند تا نیازهای بار را برآورده کند و درعین حال هزینه‌های عملیاتی ریزشبکه تا حد ممکن پایین نگه داشته شود. این مشکل به‌عنوان یک مسئله بهینه‌سازی فرموله شده است. برای حل این مشکل، این تحقیق یک نسخه پیشرفته از الگوریتم MVPA^۷ را پیشنهاد می‌کند که یک الگوریتم جدید بهینه‌سازی فراکاملی الهام گرفته از رویدادهای واقعی ورزشی است. نتایج به‌دست‌آمده با الگوریتم‌های بهینه‌سازی

¹Energy Storage System

² Matrix Real Coded -Genetic Algorithm

³ Smart Energy Management Algorithm

⁴ Hybrid Energy Storage System

⁵ Energy Management System

⁶ Distributed Generation

⁷ Most Valuable Player Algorithm

شناخته شده متعدد (از جمله PSO^1 , EMA^2 , GA^3 ...) برای تأیید کارایی الگوریتم پیشنهادی مقایسه شده است که نشان از عملکرد بهتر الگوریتم پیشنهادی نسبت به دیگر روش ها می باشد.

در [۵۹]، به مدیریت انرژی برای ریزشبه با رویکرد یادگیری تقویتی پرداخته شده است. در این مقاله یک چارچوب مبتنی بر یادگیری تقویتی برای مدیریت انرژی و بسته اقتصادی در یک ریزشبه جزیره ای بدون هیچ گونه ماژول پیش بینی ارائه شده است. معماری الگوریتم به دو قسمت تقسیم شده است: قسمت اول یادگیری که توسط یک الگوریتم یادگیری تقویتی بهینه شده با یک مجموعه کوچک از داده های قبلی انجام می شود و قسمت دوم اجرای الگوریتم با یک درخت تصمیم گیری پویا که از مرحله اول به دست آمده است انجام می شود. یکی از مزایای این روش ایجاد عامل خودگردان است که بتواند به صورت بلادرنگ و تنها با استفاده از داده های مربوط به گذشته و بدون هیچ الگوریتم پیش بینی، عمل کند. به طور خلاصه مزایای این الگوریتم عبارتند از: به مجموعه زیادی از داده ها نیازی نیست، به پیش بینی نیازی نیست، الگوریتم آنلاین و بدون نیاز به مدل است، تقریباً بلادرنگ، تطبیقی و مقیاس پذیر است. این چارچوب بر روی داده های واقعی تهیه شده در Ecole Polytechnique در فرانسه طی یک دوره طولانی، با تنوع زیادی در روزهای مختلف، آزمایش شده است و نتایج تقریباً بهینه، کارآمد و پایدار را نشان می دهد. این مطالعه می تواند با کاهش افق زمانی به چند دقیقه بهبود یابد.

در [۶۰]، الگوریتم های کنترل هوشمند برای شناسایی وضعیت، بهینه سازی و محافظت از ریزشبه ارائه شده است. کنترل کننده ریزشبه باید حالت های کاری مختلف (عادی، گذرا و معیوب) را از هم تشخیص دهد. در این مقاله هوشمند سازی کامل زیرسیستم های ریزشبه ارائه شده است؛ که شامل شناسایی هوشمند وضعیت ریزشبه به صورت آنلاین، سیستم محافظت هوشمند و الگوریتم های کنترل هوشمند با قابلیت ردیابی سریع دینامیک های سیستم است. در [۶۱]، به استراتژی های بهینه سازی سیستم های مدیریت انرژی ریزشبه با الگوریتم های ژنتیک پرداخته شده است. ریزشبه ها باید به سیستم های مدیریت انرژی مناسب مجهز باشند تا بتوانند به صورت بلادرنگ جریان های انرژی داخلی و اتصال به شبکه را مدیریت کنند. استفاده از سیستم های استنتاج فازی^۴ (FIS) به دلیل سهولت در اجرا، هزینه محاسباتی کم و سطح بالای تفسیر نسبت به مدل های مرسوم، بسیار موفقیت آمیز بوده است. در این مقاله استراتژی های مختلفی با استفاده از استنتاج فازی با هدف به حداکثر رساندن سود حاصل از مبادله انرژی با شبکه، بررسی شده است. نتایج به دست آمده با روش های بهینه یابی مرسوم مقایسه شده است و نشان داده شده است که روش پیشنهادی نسبت به روش های مرسوم نتایج بهتری داشته است.

در [۶۲]، مدیریت انرژی هوشمند سیستم ریزشبه مناطق مسکونی توسط الگوریتم ترکیبی MGWOSCACSA انجام شده است. زمان بندی بهینه منابع انرژی پراکنده یک سیستم ریزشبه در این مقاله مورد مطالعه قرار گرفته است. منابع انرژی پراکنده شامل ژنراتورهای سوخت فسیلی و همچنین منابع تجدیدپذیر است. قیود واقعی مختلفی مربوط به بارهای قابل تنظیم، محدودیت های شارژ / تخلیه باتری و زمان راه اندازی / خاموش شدن منابع انرژی پراکنده در نظر گرفته شده اند. بارهای قابل تنظیم مربوط به بارهای ناحیه مسکونی در نظر گرفته شده است که در طول روز و یا برای یک دوره خاص در طول روز کار می کنند. تأثیر این بارها بر هزینه تولید سیستم ریزشبه بررسی شده است.

¹ Particle Swarm Optimization

² Expectation Maximization Algorithm

³ Genetic Algorithm

⁴ Fuzzy Inference Systems

یک رویکرد ترکیبی جدید، با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی grey wolf و sine cosine و crow search در نظر گرفته شده است تا هزینه تولید کلی سیستم ریزشبه را به حداقل برساند. در نهایت از تجزیه و تحلیل آماری برای اعتبارسنجی الگوریتم MGWOSCACA نسبت به الگوریتم‌های دیگر (الگوریتم‌های بهینه‌سازی grey wolf و sine cosine و crow search) استفاده شده است. مقدار انتشار آلاینده‌ها از هر یک از ژنراتورها نیز به عنوان ضریبی در تابع بهینه‌سازی می‌تواند لحاظ شود که در این مقاله بررسی نشده است.

۵-۸ حمل و نقل هوشمند

در دهه ۱۹۸۰ ایده سیستم‌های حمل و نقل هوشمند (ITS^1) توسط گروه کوچکی از متخصصان حمل و نقل به منظور شناسایی تأثیرات تکنیک‌های محاسباتی و ارتباطی در زمینه حمل و نقل ارائه شد. در طول دهه گذشته، ITS نقش بسزایی در حوزه‌های مختلف داشته و کاربردهای آن از حوزه ترافیک بزرگراهی فراتر رفته است. ITS در سیستم‌های ناوبری، راه‌آهن، حمل و نقل آبی و هوایی خدمات ارائه می‌کند که منجر به تولید مقدار زیادی داده (کلان داده) می‌شود. به همین دلیل استفاده از تکنیک‌های هوش مصنوعی در سیستم‌های حمل و نقل هوشمند در سال‌های گذشته بسیار مورد توجه قرار گرفته است. حسگرهای موجود در خودروها نیز با گذشت زمان هوشمندتر شده‌اند و امکان ارزیابی بهتر محیط را برای خودروها فراهم می‌کنند. استفاده از هوش مصنوعی برای تحلیل داده‌های سیستم‌های حمل و نقل هوشمند، علاوه بر افزایش ایمنی، امنیت و راحتی سرنشینان، منجر به بهینه‌سازی ترافیک و مسیریابی شده و می‌تواند با مدیریت هوشمند انرژی مصرف سوخت را کاهش دهد. در ادامه به برخی از مهم‌ترین کاربردها اشاره شده است.

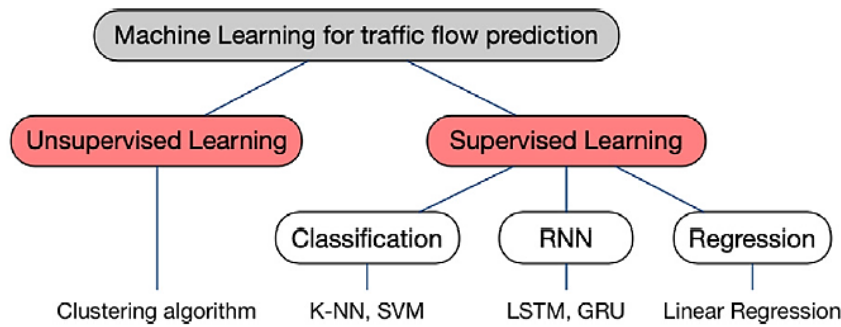
۵-۸-۱ پیش‌بینی ترافیک مکانی-زمانی^۲

در دهه گذشته، پیش‌بینی و تخمین ترافیک بر اساس زمان و مکان، به دلیل تأثیر زیاد در سیستم‌های حمل و نقل هوشمند، توجه جامعه تحقیقاتی، دانشگاهی و صنعتی را به خود جلب کرده است. در سال‌های اخیر، مدل‌های مبتنی بر یادگیری ماشین (ML^3) به دلیل دقت بالا و توانایی کنترل غیرخطی قوی برای داده‌های با حجم زیاد، به طور گسترده‌ای در طراحی روش پیش‌بینی جریان ترافیک کوتاه مدت به کار گرفته شده‌اند. به طور کلی، یادگیری ماشین به سه نوع یادگیری تحت نظارت، یادگیری بدون نظارت و یادگیری تقویتی تقسیم می‌شود؛ اما به دلیل مکانیزم یادگیری، یادگیری تحت نظارت بیشتر از دو دسته دیگر در پیش‌بینی جریان ترافیک کوتاه مدت مورد استفاده قرار گرفته است. طبقه‌بندی کلی روش‌های پیش‌بینی جریان ترافیکی مبتنی بر یادگیری ماشین در شکل ۵-۱۶ نشان داده شده است. در ادامه برخی از این روش‌ها مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

¹ Intelligent Transportation Systems

² Spatio-Temporal

³ Machine Learning



شکل ۵-۱۶: طبقه‌بندی روش‌های پیش‌بینی جریان ترافیکی مبتنی بر یادگیری ماشین [۶۳]

در [۶۴]، یک مدل پیش‌بینی وضعیت ترافیک کوتاه مدت براساس الگوریتم k -نزدیکترین همسایه^۱ توسعه داده شده است. در مدل پیش‌بینی، مشخصه متغیر با زمان و پیوسته بودن جریان ترافیک در نظر گرفته شده و مدل پیش‌بینی چند زمانی مرحله‌ای بر اساس مدل یک زمانی مرحله‌ای ارائه شده است. این مدل از فاصله اقلیدسی به عنوان معیار فاصله استفاده می‌کند. برای آزمایش صحت مدل پیشنهادی، از داده‌های GPS^۲ تاکسی‌های شهر فوشان^۳ چین استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی با پارامترهای مکانی-زمانی عملکرد خوبی را در مقایسه با مدل بردار پشتیبانی^۴ (SVM)، مدل شبکه عصبی مصنوعی، مدل مبتنی بر داده‌های زمان واقعی و مدل مبتنی بر داده‌های پیشین دارد.

یک الگوریتم پیش‌بینی جریان ترافیک کوتاه مدت مبتنی بر یک ماشین بردار پشتیبان چند هسته سازگار با همبستگی مکانی - زمانی در [۶۵] با عنوان AMSVM-STC^۵ پیشنهاد شده است. در ابتدا دو ویژگی غیرخطی و تصادفی بودن جریان ترافیک مورد بررسی قرار گرفته و برای ایجاد AMSVM از ترکیب هسته گاوسی^۶ و هسته چند جمله‌ای^۷ استفاده شده است. در گام دوم، پارامترهای AMSVM با الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات تطبیقی بهینه شده و یک روش جدید برای تنظیم وزن هسته ترکیبی با توجه به روند تغییرات جریان ترافیک در زمان واقعی پیشنهاد شده است. در آخر هم برای پیش‌بینی جریان ترافیک کوتاه مدت، اطلاعات همبستگی مکانی و زمانی با AMSVM ترکیب شده است. این الگوریتم با انجام آزمایشاتی روی مجموعه داده‌های واقعی ارزیابی شده است. نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی می‌تواند یک پیش‌بینی به موقع و سازگار، حتی در ساعت اوج رفت‌وآمد که شرایط ترافیک به سرعت تغییر می‌کند، انجام دهد. این روش در مقایسه با روش‌های مشابه مبتنی بر SVM از نظر میانگین خطای درصد مطلق، میانگین خطای مربع، ضریب همبستگی بهتر عمل کرده است.

در [۶۶]، یک مدل رگرسیون خطی محلی پیشنهاد شده است. برخلاف مدل‌های غیرپارامتری، این مدل کارایی و توانایی بیشتری برای مواجهه با مجموعه داده‌های توزیع شده دارد. در این مطالعه، داده‌های جریان ترافیک به عنوان یک متغیر کمکی چند متغیره^۸ توصیف شده است. با استفاده از روش اعتبارسنجی متقابل برای تعیین بعد بردار متغیر

^۱ k Nearest Neighbor

^۲ Global Positioning System

^۳ Foshan

^۴ Support Vector Machine

^۵ Adaptive Multi-kernel Support Vector Machine-Spatial Temporal Correlation

^۶ Gaussian

^۷ Polynomial

^۸ multivariate covariate

کمکی و پهنای باند، داده‌های مناسب برای ساخت مدل رگرسیون انتخاب شدند. بر همین اساس، مقدار پیش‌بینی شده محاسبه شده است. علاوه بر این، پیش‌بینی‌های تک مرحله‌ای و چند مرحله‌ای در این مقاله مورد استفاده قرار گرفته‌اند. استفاده از الگوریتم رگرسیون خطی در پیش‌بینی‌های کوتاه مدت دارای دو عیب مشخص است. اول اینکه، وقتی متغیرها غیرخطی هستند عملکرد ضعیفی دارد. جریان‌های واقعی ترافیک به ویژه در مناطق شهری دارای نوسانات بالا هستند. این بدان معنی است که در اغلب مواقع جریان‌های ترافیکی غیرخطی هستند و الگوریتم رگرسیون خطی را نمی‌توان مستقیماً روی مجموعه داده‌های ترافیک استفاده کرد؛ بنابراین، این روش‌ها به پیش‌پردازش داده‌ای بیشتری نیاز خواهد داشت و هزینه محاسباتی کلی مدل پیش‌بینی افزایش خواهد یافت. بعلاوه، چنین روش‌هایی توانایی تحلیل الگوهای پیچیده جریان ترافیک را ندارند.

در زمینه شبکه عصبی بازگشتی (RNN^1)، روش‌های حافظه طولانی کوتاه مدت ($LSTM^2$) و واحد بازگشتی مبتنی بر گیت (GRU^3) در سال‌های اخیر بیشتر در این حوزه مورد استفاده قرار گرفته‌اند. به‌عنوان مثال در [۶۷]، برای پیش‌بینی ترافیک، شبکه ترافیک به‌عنوان یک گراف در نظر گرفته شده است و یک چارچوب یادگیری عمیق جدید با عنوان، ($TGC-LSTM^4$)، برای یادگیری تعاملات بین راه‌ها در شبکه حمل‌ونقل و پیش‌بینی وضعیت ترافیک در سطح شبکه ارائه شده است. گراف شبکه ترافیک بر اساس توپولوژی شبکه حمل‌ونقل واقعی ایجاد شده است. این مدل به منظور دستیابی به همبستگی مکانی در اطلاعات جریان ترافیک از یک کانولوشن گراف محلی منطبق بر یک ماتریس استفاده می‌کند. نکته خلاقانه این مدل این است که ورودی آن ویژگی‌های کانولوشن گراف که یک بردار است، می‌باشد. این ساختار تا حد زیادی رابطه فضایی را با وزن‌های کانولوشن تفسیر می‌کند و منجر به عملکرد بهتر مدل در پیش‌بینی شبکه ترافیک می‌شود. نتایج ارزیابی‌ها بر روی ۲ مجموعه داده واقعی مختلف بیانگر این است که مدل پیشنهادی در مقایسه با روش‌های موجود عملکرد بهتری در پیش‌بینی ترافیک دارد. نمودارهای مربوط به وزن‌های کانولوشن گراف نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی می‌تواند تأثیرگذارترین راه‌ها و بخش‌های جاده‌ای در شبکه‌های ترافیکی را تشخیص دهد. در مقایسه با GRU ، $LSTM$ ساختار ساده‌تری دارد و به همین دلیل پیچیدگی محاسباتی را کمتر و وابستگی به قدرت محاسباتی را کاهش می‌دهد. این ویژگی می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی کارایی آموزش مدل پیش‌بینی را بهبود بخشد، بنابراین تمایل بیشتری برای استفاده از این روش‌ها در پیش‌بینی جریان ترافیک کوتاه‌مدت وجود دارد.

برای افزایش بیشتر سازگاری مدل‌های پیش‌بینی، در سال‌های اخیر روش‌های GRU با روش‌های دیگر ترکیب شده‌اند. به‌عنوان مثال، یک روش ترکیبی مبتنی بر GRU در [۶۸] پیشنهاد شده است که در آن سه لایه کانولوشن برای استخراج همبستگی فضایی به کار برده شده‌اند و یک ساختار پشته‌ای با دولایه GRU برای استخراج الگوهای زمانی استفاده شده است. این روش که از شبکه‌های عصبی عمیق برای بهبود دقت پیش‌بینی استفاده می‌کند، $DNN-BTF^5$ نام‌گذاری شده است. مدل $DNN-BTF$ از تناوب زمانی هفتگی/روزانه و ویژگی‌های مکانی-زمانی جریان ترافیک به‌طور کامل استفاده می‌کند. داده‌هایی از پایگاه داده $PeMS^6$ برای ارزیابی این مدل استفاده شده است. در مقایسه با مدل‌های موجود مبتنی بر GRU یا CNN^7 ، این مدل در مدیریت روابط مکانی-زمانی موجود در سیستم حمل‌ونقل توانایی

¹ Recurrent Neural Network

² Long-Short Term Memory

³ Gated Recurrent Unit

⁴ Traffic Graph Convolutional Long Short-Term Memory Neural Network

⁵ Deep Neural Network-Based Traffic Flow

⁶ Performance Measurement System

⁷ Convolutional Neural Network

بالا تری دارد و دقت پیش بینی را به طور قابل توجهی افزایش می دهد. داده هایی از پایگاه داده PeMS برای ارزیابی این مدل استفاده شده است. مرور جامع و کاملی از استفاده از الگوریتم های هوش مصنوعی برای پیش بینی ترافیک در [۶۳] ارائه شده است.

۵-۸-۲ کنترل چراغ های راهنمایی و رانندگی

یکی از راه حل ها مرسوم برای حل مشکل ترافیک و کاهش مصرف سوخت کنترل ترافیک به وسیله چراغ های راهنمایی و رانندگی (TSCs^۱) است. به طور معمول، به دلیل محدودیت منابع محاسباتی و ابزارهای شبیه سازی، کنترل چراغ های راهنما به صورت پویا با استفاده از منطق فازی و برنامه ریزی خطی، انجام می شود. الگوریتم های هوش مصنوعی از جمله الگوریتم های هوش محاسباتی و یادگیری تقویتی عمیق به طور گسترده ای در این حوزه به کار گرفته شده اند که در ادامه به برخی از آن ها اشاره شده است.

یک مدل کنترل منطق فازی دو مرحله ای با در نظر گرفتن بهره وری و عدالت ترافیکی برای یک تقاطع دارای چراغ راهنمایی و رانندگی در [۶۹] ارائه شده است. در مرحله اول، به منظور انتخاب فازهای سبز متوالی یک انتخاب گر فاز سبز توسعه داده شده است. در مرحله دوم، برای تعیین مدت زمان سبز بودن چراغ برای هر فاز انتخابی یک تنظیم کننده زمان سبز ارائه شده است. برای بهینه سازی قوانین فازی و توابع عضویت این دو کنترل کننده، از الگوریتم ژنتیک به صورت آفلاین استفاده شده است. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که مدل پیشنهادی از نظر بهره وری و عدالت ترافیکی از مدل های قبلی که مبتنی بر پاپیس^۲ و ممدانی^۳ بودند بهتر عمل می کند.

در [۷۰]، رویکرد سیستم چند عاملی برای توسعه مدل های کنترل چراغ های راهنمایی و رانندگی واکنشی^۴ بدون ناظر توزیع شده استفاده شده است، در این روش هر عامل در سیستم به عنوان کنترل کننده محلی چراغ راهنمایی و رانندگی در تقاطع در نظر گرفته شده است. اولین سیستم چند عاملی با استفاده از تکنیک های هوش محاسباتی ترکیبی توسعه یافته است. هر عامل برای به روز رسانی و انطباق دانش و سازوکار تصمیم گیری خود، از یک فرایند یادگیری آنلاین چند مرحله ای استفاده می کند. سیستم چند عاملی دوم با تلفیق تئوری تقریب تصادفی آشفته هم زمان^۵ (SPSA) در شبکه های عصبی فازی توسعه یافته است. مشکل کنترل چراغ های راهنمایی و رانندگی در زمان واقعی (لحظه ای) و پیوسته بودن زمان کنترل است؛ زیرا این موضوع نیازمند یادگیری آنلاین مداوم عوامل کنترل کننده پیاده سازی شده در شبکه ی ترافیکی است. در این مقاله برای ارزیابی روش ها، یک مدل شبیه سازی جامع از بخشی از منطقه مرکزی تجاری سنگاپور با استفاده از برنامه شبیه سازی میکروسکوپی PARAMICS ساخته شده است. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که سیستم چند عاملی ترکیبی در مقایسه با الگوریتم کنترل چراغ های راهنمایی و رانندگی موجود در سنگاپور (به نام GLIDE^۶) و سیستم چند عاملی مبتنی بر SPSA-NN، با افزایش پیچیدگی سناریوی شبیه سازی، بهبود قابل توجهی را در شرایط ترافیکی ایجاد می کند. با استفاده از سیستم چند عاملی ترکیبی مبتنی بر NN، میانگین تأخیر هر خودرو ۷۸ درصد و میانگین زمان توقف ۸۵ درصد در مقایسه با الگوریتم GLIDE کاهش یافتند. نتایج

^۱ Traffic Signal Controls

^۲ Pappis

^۳ Mamdani

^۴ Responsive

^۵ Simultaneous Perturbation Stochastic Approximation

^۶ Green Link Determining

به دست آمده بیانگر کارایی سیستم چندعاملی ترکیبی مبتنی بر NN در حل مشکلات کنترل چراغ‌های راهنمایی و رانندگی در مقیاس بزرگ به صورت توزیع شده است.

در [۷۱]، یک سیستم کنترل چراغ‌های راهنمایی و رانندگی مبتنی بر الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) ارائه شده است. از شبیه‌ساز ترافیکی SUMO^۱ برای ارزیابی الگوریتم پیشنهادی استفاده شده است. سناریوی مورد استفاده در شبیه‌سازی با استفاده از داده‌های واقعی ترافیکی مربوط به یکی از تقاطع‌های موجود در شهر کیلیس کشور ترکیه ایجاد شده است. تأثیر تعداد ذرات بر الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات و اعتبارسنجی نتایج از طریق مقایسه با داده‌های واقعی انجام شده است. همگرایی سریع و موفقیت الگوریتم‌های بهینه‌سازی ازدحام ذرات در حل مساله کنترل چراغ‌های راهنمایی و رانندگی مورد بررسی و با استفاده از روش‌های ریاضی و آماری به اثبات رسیده است. ۲۸ درصد بهبود در متوسط زمان سفر برای هر خودرو (۳۴ درصد برای سناریوی ترافیک سنگین و ۱۰ درصد برای سناریوی ترافیک روان) در مقایسه با روش‌های ایستای موجود، یکی از دستاوردهای این مقاله محسوب می‌شود. با توجه به بررسی‌های انجام شده، افزایش تعداد ذرات فقط موجب افزایش بار محاسبات و زمان رسیدن به جواب می‌شود و تأثیر چندانی روی بهبود نتایج ندارد.

کنترل ترافیک به دلیل ماهیت توزیع‌شدگی و خودمختاری توسط سیستم‌های چندعامله به خوبی قابل مدل‌سازی هستند. رانندگان و چراغ‌های راهنمایی و رانندگی را می‌توان به عنوان عامل‌هایی که رفتارهای هوشمندانه‌ای از خود نشان می‌دهند در نظر گرفت. برای ایجاد چنین رفتارهایی نیاز است اطلاعات محیط اطراف در ذهن عامل گنجانده شود، اما به دلیل پیچیدگی‌های بالای موجود در الگوهای ترافیک شهری و متغیر بودن اغلب محیط‌های ترافیکی، قرار دادن یک دانش اولیه از محیط در ذهن عامل‌ها بسیار دشوار و غیرعملی می‌باشد. بنابراین نیاز به یک روشی که عامل در طول تعامل با محیط بتواند دانش و اطلاعات مورد نیاز را کسب کند کاملاً ضروری است. در همین راستا، در [۷۲]، یک الگوریتم کاملاً مقیاس‌پذیر و غیرمتمرکز مبتنی بر یادگیری تقویتی چندعاملی (MARL^۲) براساس معماری عامل عملگر – نقاد سود (A2C^۳) برای حل مساله کنترل چراغ‌های راهنمایی و رانندگی ارائه شده است. این معماری به عنوان یک معماری رایج در یادگیری تقویتی که دارای ساختار حافظه جداگانه‌ای هم برای سیاست و هم برای تابع ارزش است مورد استفاده قرار گرفت است. به طور دقیق‌تر، با بهبود مشاهده‌پذیری و کاهش پیچیدگی یادگیری عوامل محلی، دو روش برای ایجاد ثبات در روند یادگیری ارائه شده است. الگوریتم A2C چند عاملی پیشنهادی براساس داده‌های مربوط به اوج ساعات ترافیکی در هر دو شبکه ترافیکی شبیه‌سازی شده و شبکه ترافیکی واقعی شهر موناکو، با الگوریتم‌های یادگیری Q و A2C مستقل مقایسه شده است. براساس نتایج این روش منجر به کاهش میانگین ترافیک خودروها در تقاطع‌ها می‌شود. مرور جامع و کاملی از استفاده روش‌های یادگیری تقویتی در حل مساله کنترل چراغ‌های راهنمایی و رانندگی در [۷۳] ارائه شده است.

تمرکز اصلی مقاله [۷۴] بر ایجاد راه‌حلی برای مساله کنترل چراغ‌های راهنمایی و رانندگی در چند تقاطع با استفاده از سیستم‌های چندعاملی است. یک معماری عامل دو حالتی برای کنترل مشکل ازدحام ترافیکی از طریق روش‌های مستقل و مشارکتی ارائه شده است. هر تقاطع توسط یک عامل با استفاده از یادگیری Q به صورت مستقل کنترل می‌شود. در فاز مشارکتی، تئوری بازی برای تعیین چگونگی همکاری بین عوامل جهت کنترل پویای چراغ‌های راهنمایی

^۱ Simulation of Urban MObility

^۲ Multi-agent Reinforcement learning

^۳ advantage actor critic

و رانندگی در تقاطع های مختلف استفاده شده است. نتایج به دست آمده نشان می دهد که روش پیشنهادی می تواند به طور مؤثری میانگین زمان تأخیر را در سناریوهای مختلف ترافیکی کاهش دهد. علاوه بر این، همکاری بین عوامل از ازدحام بیش از حد ترافیکی جلوگیری می کند.

در [۷۵]، طرحی پیشنهاد شده است که یادگیری حالت را بر اساس موقعیت و سرعت خودرو، عمل انتخابی را از بین ۴ فاز (مسیر) و تغییر در تأخیر تجمیعی را به عنوان پاداش با استفاده از شبکه عصبی کانولوشن در نظر گرفته است. در [۷۶]، حالت با استفاده از طول صف، عمل انتخابی را از بین ۲ فاز (مسیر) و اختلاف بین جریان ترافیکی مسیر رفت و برگشت را به عنوان پاداش با استفاده از خودرمنگار پشته ای (SAE¹) در نظر گرفته است. در [۷۷]، حالت با استفاده از موقعیت خودرو، عمل انتخابی را از بین ۲ فاز (مسیر) که زمان انتظار، توقف، تغییر مسیر و تأخیر را شامل می شود، با استفاده از DQN² در نظر گرفته است. در [۷۸] هم طرحی پیشنهاد شده است که حالت را بر اساس موقعیت و سرعت خودرو، عمل انتخابی را از بین ۴ فاز (مسیر) و تغییر در زمان توقف تجمیعی را به عنوان پاداش با استفاده از شبکه عصبی کانولوشن در نظر گرفته است. در [۷۹] چارچوبی برای یکپارچه سازی داده های موجود در ابر، خدمات شبکه های اجتماعی و حسگرهای هوشمند در قالب شهر هوشمند ارائه شده است. این چارچوب مبتنی بر سرویس، امکان بازیابی و تحلیل کلان داده هایی که از منابع فوق ایجاد و جمع آوری می شوند را فراهم می کند. این مقاله تمرکز اصلی خود را در حوزه حمل و نقل عمومی در شهر هوشمند قرار داده است. همچنین از رویکرد ریاضی فازی سازی³ برای مدل سازی ترافیک و فرآیندهای حمل و نقل استفاده شده است. برای حل مشکلات مختلف ترافیکی و حمل و نقلی، تحلیل دقیقی از سیستم های منطق فازی توسعه داده شده است. در این مقاله تجزیه و تحلیل نتایج به دست آمده با استفاده از سیستم استنتاج فازی ممدانی برای مدل سازی فرآیندهای پیچیده ترافیک ارائه شده است. در این روش از پنج ورودی (سرعت خودرو، وضعیت چراغ های راهنمایی و رانندگی، ظرفیت ترافیکی خیابان ها، فاصله بین چراغ های راهنمایی و رانندگی و مسافت طی شده) برای محاسبه شرایط ترافیکی استفاده شده است و تأثیر آن ها بر روی ترافیک بررسی شده است. شبیه سازی ها در محیط متلب انجام شده اند. البته معیارهای مختلف دیگری از جمله شرایط محیطی، مصرف انرژی، نظارت امنیتی و ... هم می تواند در تخمین شرایط ترافیکی اثرگذار باشد که در این مقاله به این موضوعات پرداخته نشده است.

۳-۸-۵ مشاوره سرعت

سیستم GLOSA⁴ امکان ارتباط خودروها با چراغ های راهنمایی و رانندگی را فراهم می کند. GLOSA رانندگان را از سرعت لازم برای رسیدن به محل تقاطع به منظور عبور بدون توقف در پشت چراغ قرمز مطلع می کند. این سیستم از رانندگی سریع رانندگان برای عبور از چراغ های راهنمایی جلوگیری می کند. این موضوع با کاهش تعداد شتاب دهی و ترمز خودروها در نزدیکی چراغ های راهنمایی علاوه بر کاهش مصرف سوخت، منجر به کاهش آلودگی و بهبود کیفیت هوا می شود. در حال حاضر این سیستم به صورت آزمایشی در خودرو F-PACE جگوار⁵ راه اندازی شده است. GLOSA مبتنی بر هوش مصنوعی با استفاده از معیارهای متوسط میزان مصرف سوخت و متوسط زمان توقف در پشت چراغ راهنما در [۸۰] ارائه شده است. در [۸۱]، یک روش جدید براساس الگوریتم ژنتیک مبتنی بر GLOSA

¹ Stacked Auto-Encoders

² Double Q-Network

³ Fuzzification

⁴ Green Light Optimal Speed Advisory

⁵ Jaguar

چند بخشی معرفی شده است. در این روش چراغ‌های راهنمایی مختلفی به صورت یک دنباله برای هدایت خودرو در نظر گرفته می‌شوند. در این روش فرض بر این است که خودروها به برنامه زمان‌بندی تمام چراغ‌های راهنمایی که در طول مسیر با آن‌ها روبرو می‌شوند، دسترسی دارند.

۹-۵ خودروهای برقی

همراه با توسعه شبکه‌های هوشمند، پذیرش و استفاده گسترده خودروهای الکتریکی (EVs^1) به عنوان راهکاری برای کاهش انتشار آلاینده‌ها و بهبود سیستم‌های حمل و نقل هوشمند محسوب می‌شوند. این خودروها با قابلیت ذخیره انرژی و تزریق آن به شبکه در زمان‌های مورد نیاز علاوه بر افزایش تاب‌آوری شبکه، امکان استفاده بهینه از منابع انرژی تجدیدپذیر را فراهم می‌کنند. با این حال، چالش‌های متعددی در این حوزه مطرح است. از یک سو، با توجه به ظرفیت محدود و هزینه‌های مربوط به شارژ باتری‌های EV، الگوریتم‌هایی برای به حداقل رساندن هزینه‌ها و همچنین جلوگیری از خالی بودن باتری در زمان مورد نیاز راننده، مورد نیاز هستند. از طرف دیگر، مجموعه EV ها باید به گونه‌ای سازماندهی شوند تا از ایجاد پیک در شبکه که ممکن است منجر به افزایش قیمت برق و تحمیل بار اضافی به شبکه‌های توزیع محلی شود، جلوگیری شود. مدیریت انرژی یک فناوری مهم در EV ها و خودروهای برقی هیبریدی پلاگین ($PHEV^2$) برای به حداکثر رساندن بازدهی، صرفه جویی در مصرف سوخت و همچنین کاهش انتشار آلاینده‌ها محسوب می‌شود. به منظور مقابله با این چالش‌ها، راه‌حل‌هایی مبتنی بر الگوریتم‌های هوش مصنوعی پیشنهاد شده‌اند که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره شده است.

در [۸۲]، یک الگوریتم مبتنی بر یادگیری تقویتی و یک الگوریتم مبتنی بر یادگیری تقویتی عمیق برای مدیریت انرژی مجموعه‌ای از HEV ها ارائه شده است. در مرحله اول، مدل پیش‌رانه (نیرو محرکه) خودروهای برقی هیبریدی سری^۳ ($SHETV^4$) ساخته شده و سپس فرمول مدیریت انرژی مربوطه ایجاد شده است. سپس، نوع جدیدی از روش یادگیری تقویتی با نام Dyna-H، از طریق ترکیب مرحله برنامه‌ریزی ابتکاری با عامل Dyna، توسعه داده شده است و برای کنترل مدیریت انرژی $SHETV$ بکار گرفته شده است. سرعت و بهینه بودن روش در مقایسه با روش‌های برنامه‌نویسی پویا و روش معمولی Dyna مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای مواجهه با مسئله "مشتق چند بعدی"^۵ در روش یادگیری تقویتی، از الگوریتم DQL^6 برای کنترل مدیریت انرژی استفاده شده است. این الگوریتم از یک روش بهینه-سازی جدید (AMSGrad) برای به‌روزرسانی وزن‌های شبکه عصبی استفاده می‌کند. سپس سیستم کنترل یادگیری تقویتی عمیق پیشنهادی با داده‌های مربوط به رانندگی واقعی با دقت بالا آموزش داده شده و با روش‌های مختلف مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهادی نسبت به سایر روش‌های مبتنی بر DQL ، سرعت آموزش

¹ Electric Vehicles

² Plug-in Hybrid-Electric Vehicles

^۳ در این دسته از خودروهای هیبریدی، پیش‌رانه برقی تمامی کارها را انجام می‌دهد و پیش‌رانه بنزینی تنها وظیفه شارژ باتری خودرو را دارد. در مسافت‌های طولانی (بیش از ۸۰ کیلومتر)، پیش‌رانه بنزینی نیز فعال شده و به پیش‌رانه برقی کمک می‌کند.

⁴ Series Hybrid Electric Tracked Vehicle

⁵ Curse of dimensionality

⁶ Deep Q-Learning

را افزایش و مصرف سوخت خودرو را کاهش می‌دهد. مروری بر استفاده از الگوریتم‌های یادگیری تقویتی برای مدیریت هوشمند انرژی خودروهای برقی در [۸۳] ارائه شده است.

در [۸۴]، مشکل مدیریت انرژی در HEV ها با تمرکز بر به حداقل رساندن هزینه عملیاتی شامل هزینه سوخت و هزینه تعویض باتری مستهلک شده (به عنوان مثال، هزینه خرید باتری جدید به همراه هزینه نصب آن) مورد بررسی قرار گرفته است. به همین منظور یک چارچوب یادگیری تودرتو ارائه شده است که در آن اقدامات بهینه (که شامل انتخاب زمان تعویض دنده و استفاده از احتراق داخلی موتور (ICE^1) به جای موتورهای برق (EM^2) برای حرکت خودرو نقلیه است) و محدودیت‌ها در دامنه وضعیت شارژ (SoC^3) باتری در حین حرکت یاد گرفته می‌شوند. به عبارت دقیق‌تر، فرآیند یادگیری حلقه داخلی حالت‌های عملیاتی اجزای HEV را تعیین می‌کند، این در حالی است که فرآیند یادگیری حلقه بیرونی تنزل وضعیت سلامت (SoH^4) باتری را از نظر کلی بررسی و تعدیل می‌کند. به دلیل استفاده از تکنیک‌های یادگیری ماشین، روش پیشنهادی به مدل‌سازی کامل و دقیق سیستم (مدل‌سازی اجزای HEV و مدل‌سازی مشخصات رانندگی) متکی نیست. چارچوب یادگیری پیشنهاد شده با چارچوب مبتنی بر یادگیری تقویتی پیشنهاد شده در [۸۵] تفاوت‌هایی دارد. این تفاوت‌ها عبارت‌اند از: ۱- هزینه تعویض باتری مستهلک‌شده در مدیریت انرژی HEV لحاظ شده است؛ و ۲- دو فرآیند یادگیری تودرتو استفاده شده است که فرآیند یادگیری حلقه داخلی به منظور به حداقل رساندن مصرف سوخت و فرآیند یادگیری حلقه بیرونی برای به حداقل رساندن هزینه تعویض باتری مستهلک شده در نظر گرفته شده‌اند. نتایج به دست آمده بیانگر این هستند که روش پیشنهادی هزینه عملیاتی HEV ها را تا ۴۸ درصد کاهش می‌دهد.

برای دستیابی به مصرف سوخت نزدیک به بهینه برای PHEV ها با استفاده از استراتژی کمینه‌سازی مصرف انرژی^۵ (ECMS)، لازم است فاکتور انرژی به صورت پویا تنظیم شود. برخلاف رویکردهای مبتنی بر مدل که به طور گسترده در این حوزه مورد استفاده قرار می‌گیرند، در [۸۶]، یک ECMS داده محور پیشنهاد شده است که فاکتور انرژی را با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی تعیین می‌کند. این روش در ابتدا با مقایسه اصل حداکثری پونتریاگین (PMP^6) با ECMS، به این نتیجه رسیده است که فاکتور انرژی به مقدار co-state روش PMP مربوط است. سپس، یک شبکه عصبی مصنوعی با سه متغیر ورودی قابل دسترس، شامل توان مورد نیاز فعلی، نسبت مسافت طی شده به کل مسافت و وضعیت شارژ باتری توسعه داده شده است به طوری که به صورت متناوب از طریق پروفایل‌های سرعت واقعی خودروها آموزش می‌بیند. شبیه‌سازی با در نظر گرفتن مقادیر SoC اولیه مختلف انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد که ECMS داده محور پیشنهاد شده در مقایسه با روش‌های بهینه‌سازی متداول مانند برنامه‌ریزی پویا و PMP، به میزان قابل قبولی (بین ۱۷/۷ تا ۲۹/۶ درصد) مصرف سوخت را با توجه به مقادیر SoC اولیه مختلف بهبود می‌دهد. زمان محاسباتی روش پیشنهادی نسبت به مدت زمان کل سفر نشان دهنده پتانسیل بالای این روش برای توسعه استراتژی مدیریت انرژی آگاه به زمان^۷ است.

¹ Internal Combustion Engine

² Electric Motors

³ State-of-Charge

⁴ State-of-Health

⁵ Equivalent Consumption Minimization Strategy

⁶ Pontryagin's Minimum Principle

⁷ Time-conscious

خودروهای برقی با باتری‌های بزرگ قادر به ذخیره مقدار زیادی انرژی هستند. این انرژی ذخیره شده می‌تواند به‌عنوان منبع تغذیه در حالت آماده به کار یا به‌عنوان ذخیره‌ساز انرژی پشتیبان برای بارهای خانگی در زمان خاموشی استفاده شود. علاوه بر این، از انرژی فتوولتائیک خورشیدی (PV) می‌توان برای شارژ باتری EV ها و همچنین بهبود منبع انرژی پشتیبان برای بارهای خانگی استفاده کرد. اهداف اصلی مقاله [۸۷]، کاهش هزینه انرژی خانوار و به حداقل رساندن وابستگی بارهای خانگی به شبکه برق، افزایش قابلیت اطمینان منبع تغذیه بارهای مسکونی در هنگام تخلیه بار و خاموشی و حداکثر استفاده از انرژی تولید شده توسط آرایه فتوولتائیک خورشیدی ($SPVA^1$) نصب شده در پشت بام هستند. در این مقاله، یک سیستم استنتاج فازی برای مدیریت انرژی مؤثر خانه و استفاده بهتر از انرژی ذخیره شده در خودروهای برقی برای بارهای داخلی خانه استفاده شده است. مدلی از سیستم خودرو برقی به خانه ($V2H^2$) مبتنی بر کنترل‌کننده منطق فازی برای مدیریت باتری خودرو، $SPVA$ پشت‌بام، توان پشتیبان اضطراری، بارهای خانگی DC^3 و AC^4 و توان شبکه پیشنهاد شده است. یک کنترل‌کننده منطق فازی مؤثر و قابل اعتماد مبتنی بر سیستم استنتاج سوگنو^۵ طراحی و توسعه یافته داده شده است که برای عملکرد بهتر توسط یک سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی ($ANFIS^6$) بهینه‌سازی شده است. تعداد قوانین برای طراحی اولیه ۴۷ قانون بود که با بهینه‌سازی $ANFIS$ به ۳۸ قانون کاهش یافته است. بعلاوه، نتایج کاهش قابل‌ملاحظه‌ای را در میزان هزینه پرداختی برای برق مصرفی در خانه نشان می‌دهد.

علاوه بر مدیریت انرژی خودروهای برقی، برنامه‌ریزی برای شارژ این نوع خودروها در پارکینگ‌ها در سال‌های اخیر یکی از موضوعات داغ مورد بحث بوده است. به‌جای اینکه شارژ خودرو به‌محض ورود به پارکینگ آغاز شود، اپراتور پارکینگ می‌تواند هزینه خرید برق را به‌صورت لحظه‌ای رصد کند و زمانی که قیمت پایین است اقدام به شارژ خودرو کند. با این حال، این فرآیند تصمیم‌گیری شامل پارامترهای تصادفی زیادی مانند قیمت برق لحظه‌ای و رفتار خودرو (زمان ورود و عزیمت) می‌باشد. در [۸۸]، یک چارچوب یادگیری ماشین با نظارت با استفاده از یک رگرسیون پرسپترون چندلایه‌ای پیشنهاد شده است که می‌تواند یک تخمین‌گر آنلاین را برای کمک به اپراتور در فرآیند تصمیم‌گیری زمان شارژ خودرو آموزش دهد. این تخمین‌گر آنلاین از مجموعه داده‌های قبلی موجود استفاده می‌کند و هزینه مقدار انرژی را که باید توسط اپراتور خریداری شود، تخمین می‌زند. از این روش برای مدیریت آنلاین EV ها در پارکینگ‌ها استفاده شده است و عملکرد آن از طریق مقایسه با داده‌های واقعی شارژ خودروها مقایسه و ارزیابی شده است. براساس نتایج به دست آمده، هزینه شارژ خودروها با سیستم پیشنهادی حدود ۲۷ درصد در مقایسه با زمان عدم استفاده از این روش کاهش می‌یابد.

۱۰-۵ منابع تجدید پذیر انرژی

روند رو به رشد استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر نیازمند افزایش قدرت و کیفیت فرآیندهای مرتبط در سیستم تولید، انتقال و توزیع خواهد بود. انرژی‌های تجدید پذیر به‌جای سوزاندن سوخت‌های فسیلی در نیروگاه‌های قدیمی عموماً از

¹ Solar Photo-Voltaic Array

² Vehicle-to-Home

³ Direct Current

⁴ Alternating Current

⁵ Sugeno

⁶ Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System

تولید انرژی بوسیله منابع طبیعی موجود بهره می برد. مزیت عمده انرژی‌های تجدیدپذیر استقلال از سوخت‌های فسیلی است که قیمت آن‌ها می‌تواند بسیار متغیر باشد. از سوی دیگر تنوع منابع انرژی تجدیدپذیر می‌تواند یک چالش باشد که به معنای نیاز به استفاده از روش‌های نوین خواهد بود. درمجموع با توجه به ماهیت‌های متفاوت مسائل مدیریتی در تولید، توزیع و انتقال چنین انرژی‌هایی چالش‌های متعددی می‌بایست مورد ارزیابی قرار گیرند و برای آن‌ها راه‌حل مناسب ارائه گردد. این چالش اگر به‌درستی مدیریت نشود، می‌تواند ما را به مصرف سوخت‌های فسیلی بازگرداند. تولید انرژی با استفاده از منابع تجدید پذیر بسته به محیط طبیعی که اطلاعات آن را نمی‌توان دقیقاً پیش‌بینی کرد، نامشخص است.

نفوذ روزافزون استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر در بخش انرژی بر لزوم پیش‌بینی دقیق منابع تأکید می‌کند. از سوی دیگر پیشرفت‌های چشمگیر در هوش مصنوعی از سال ۱۹۹۰ ظاهر شده است. هوش مصنوعی به‌طور بنیادین در حال تغییر شبکه انرژی و خصوصاً شبکه‌های برق مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر در سراسر جهان است. تنوع شرایط باد یا تابش خورشید از چالش‌هایی است که در تولید انرژی‌های تجدید پذیر مسائل زیادی را ایجاد کرده است و این مسئله با افزایش سهم انرژی‌های تجدید پذیر بحرانی‌تر شده است. درنتیجه، سیستم‌هایی که در تولید انرژی تجدیدپذیر عمل می‌نمایند نیازمند پیش‌بینی شرایط آب و هوایی (باد و خورشید) خواهند بود تا از میزان انرژی تولیدی آنها اطلاع حاصل شود. این سیستم‌ها در ادامه پیش‌بینی شرایط آب و هوایی نیازمند پیش‌بینی بار احتمالی نیز خواهند بود که این پیش‌بینی نیز توسط الگوریتم‌های هوش مصنوعی به‌دست خواهد آمد.

از سوی دیگر پیچیدگی شبکه‌ها دائماً در حال افزایش است و هوش مصنوعی باید داده‌ها را کاوش کند و الگوریتم‌های خودکار همراه با پیش‌بینی وضعیت هوا برای بهره‌برداری از پتانسیل کامل سرمایه‌گذاری انجام شده، مورد نیاز خواهد بود. با استفاده از هوش مصنوعی، سیستم‌ها حجم زیادی از داده‌های دریافت شده از تمام مؤلفه‌های شبکه هوشمند را جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل می‌کنند و سپس الگوریتم‌های تصمیم‌گیری برخط را برای بهترین تخصیص منابع در داخل و خارج از شبکه مورد استفاده قرار می‌دهند. تصمیمات پیش‌بینی، شبیه‌سازی و مدیریت مبتنی بر تجزیه و تحلیل عمیق مجموعه‌های بزرگ از داده، هوش مصنوعی را قادر می‌سازد مدل‌ها و الگوهای دوره‌ای را شناسایی کنند. در ادامه این سیستم‌ها قادر خواهند بود ناسازگاری‌ها را شناسایی کنند، روندهای تولید انرژی و تقاضای انرژی را برای کاهش یا حذف عدم تعادل در تقاضا و عرضه برای جلوگیری از قطعی برق با بهینه‌سازی تقاضا و عرضه در شبکه‌های هوشمند مدیریت نمایند. تمام این فعالیت‌ها با در نظر گرفتن کارایی و بهینه‌سازی شبکه برق به روشی مقرون‌به‌صرفه قابل انجام خواهند بود. این سیستم‌ها قادر خواهند بود بر اساس تجربه قبلی یا براساس تصمیمات قبلی انسانی به‌طور مستقل تصمیم‌گیری کنند. درمجموع استفاده از هوش مصنوعی در مدیریت انرژی‌های تجدید پذیر منجر به رشد اقتصادی و تأثیرات بالا بر محیط‌زیست و رفاه انسان‌ها خواهد شد.

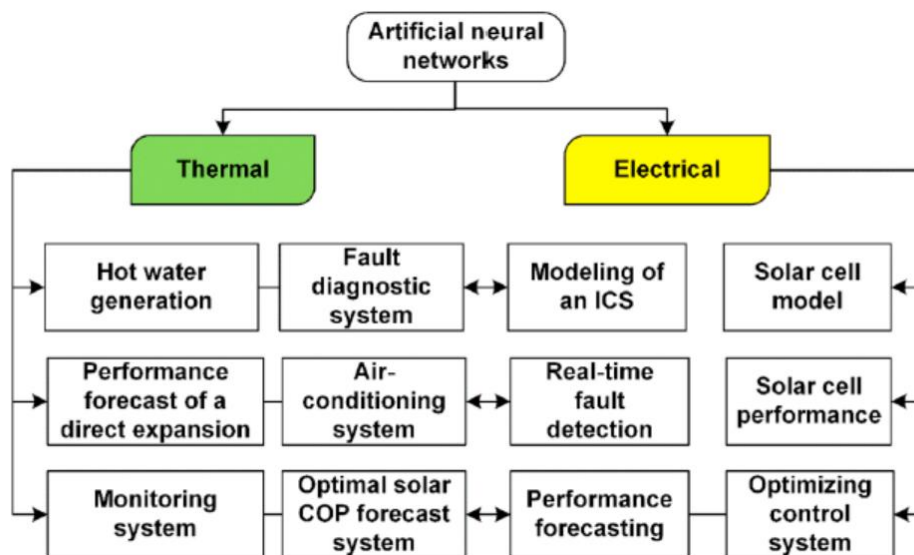
در ادامه به بررسی برخی مقالات حوزه هوش مصنوعی که برای بهبود عملکرد انرژی‌های تجدید پذیر ارائه شده است پرداخته می‌شود.

مقاله [۸۹] به استفاده از هوش مصنوعی در توسعه انرژی تجدیدپذیر در اروپا پرداخته است. در این مقاله به بررسی زیرساخت انرژی‌های تجدید پذیر برای نسل آینده شهرهای هوشمند پرداخته شده است. درواقع مسائل اقتصادی باعث گرایش و سرمایه‌گذاری بخش‌های مختلف صنعتی به حمایت بیشتر از بخش انرژی‌های تجدید پذیر گردیده که این امر باعث تعریف مشوق‌ها و تخصیص بودجه‌های مناسب برای این حوزه شده است. از طرف دیگر، به نظر می‌رسد هوش مصنوعی، یادگیری ماشین و قابلیت‌های محاسبات شناختی ازجمله عوامل کلیدی برای استفاده از قابلیت‌های

شبکه‌های هوشمند انرژی خواهند بود. این مقاله به ارتباط بین مباحثی مانند هوش مصنوعی، انرژی تجدید پذیر و شبکه هوشمند انرژی در صنعت برق و تجزیه و تحلیل مسائل اقتصادی برای استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر پرداخته است. هوش مصنوعی در بخش انرژی بسیار مورد نیاز است، زیرا امکان استفاده از حجم بالایی از داده و سیستم‌های پیچیده را فراهم می‌کند. این ویژگی در بخش انرژی‌های تجدید پذیر از اهمیت بالاتری برخوردار است زیرا هوش مصنوعی راه‌حل‌های بسیار متنوع و منعطفی را به جهت نظارت، بهره‌برداری، نگهداری و ذخیره‌سازی فراهم می‌کند که تا پیش از این وجود نداشته‌اند. ادغام هوش مصنوعی با سیستم‌های انرژی تجدید پذیر از جنبه‌های زیر حائز اهمیت هستند :

- تولید با توجه به تغییرپذیری منابع و نوسانات عرضه.
- پایداری و قابلیت اطمینان شبکه
- پیش‌بینی دقیق تقاضا و پیش‌بینی آب‌وهوا
- مدیریت کارآمد در سمت تقاضا
- عملیات ذخیره انرژی

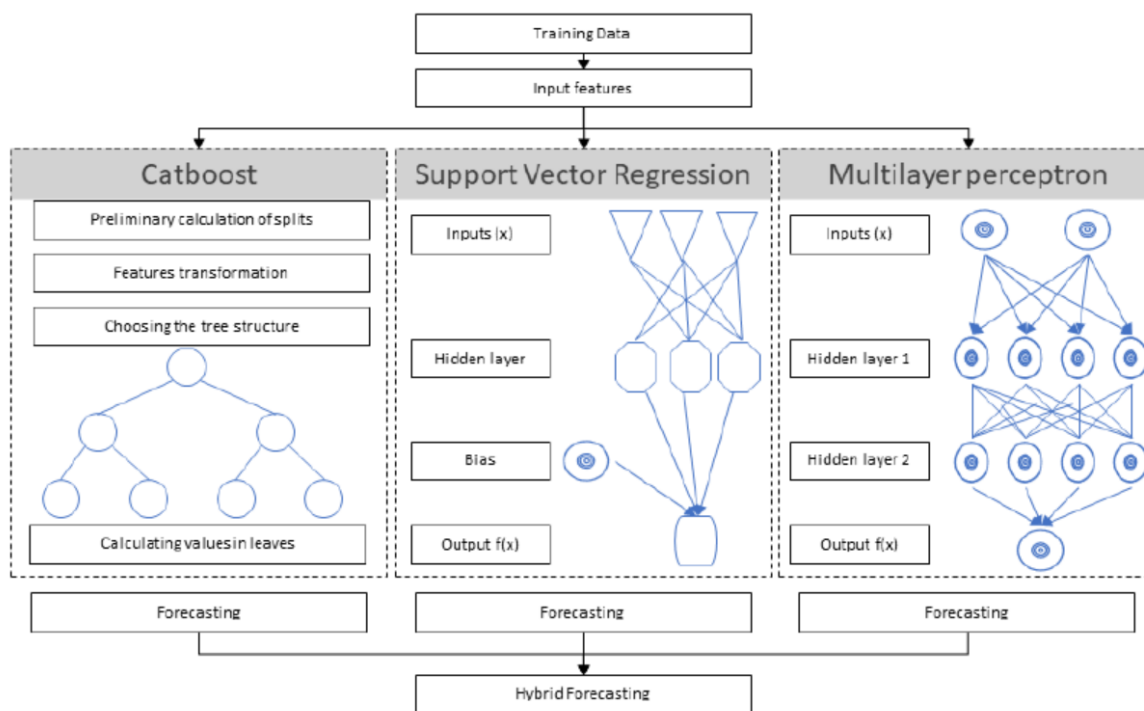
در مقاله [۹۰] یک مطالعه بر روی انرژی‌های تجدید پذیر و نیازمندی‌هایی که مدل‌های پیش‌بینی باید در شبکه‌های هوشمند برق و همچنین ساختمان‌های هوشمند فراهم کنند، ارائه نموده است. لازم به ذکر است که داده‌های مربوط به مصرف انرژی خانگی، تجاری و صنعتی برای تخمین سهم قابل توجهی از بخش‌های مختلف در بازار انرژی در دسترس است. پیش‌بینی انرژی و مدیریت منابع تغذیه ریشه اصلی در برنامه‌ریزی انرژی دارند. در این مقاله مسائل مرتبط به پیش‌بینی در قالب سه مقیاس کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت دسته‌بندی شده‌اند. بعلاوه سه منبع انرژی تجدیدپذیر، یعنی انرژی بادی، خورشیدی و زمین گرمایی مورد بحث و بررسی قرار گرفته‌اند. از نقطه نظر هوش مصنوعی نیز پیش‌بینی در قالب سه دسته از الگوریتم‌ها مانند یادگیری ماشین، رویکردهای مبتنی بر گروه و شبکه‌های عصبی مصنوعی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است و روش‌های متفاوتی که تاکنون برای پیش‌بینی انرژی‌های تجدید پذیر ارائه شده‌اند دسته بندی شده‌اند. مدل‌های یادگیری ماشین می‌توانند با تجزیه و تحلیل دقیق داده‌ها پیش‌بینی‌های دقیقی به جهت طراحی مکانیزم‌های مدیریتی مهیا سازند. از بین روش‌های یادگیری ماشین، شبکه‌های عصبی مصنوعی کاربردهایی در مقیاس صنعتی ارائه می‌نمایند که در شکل ۵-۱۷ به برخی از آن‌ها اشاره شده است.



شکل ۵-۱۷: کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی در دو نوع از انرژی‌های تجدید پذیر [۹۰]

در مقاله [۹۱] بهره‌برداری از نور خورشید و باد به عنوان منابع قابل توجه انرژی تجدید پذیر طی چند سال گذشته مورد بررسی قرار گرفته است. در این مقاله به ابعاد مختلف تلفیق روش‌های هوش مصنوعی با حوزه انرژی تجدید پذیر پرداخته شده و موارد مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. به عنوان نمونه در بخش انرژی باد، تحقیق و توسعه در استفاده از هوش مصنوعی در انرژی باد شامل چندین روش اصلی مانند یادگیری مبتنی بر شبکه عصبی، آماری، تکاملی و ترکیب آن‌ها به عنوان تکنیک‌های ترکیبی هوش مصنوعی. بیشتر کارهای تحقیقاتی بر پیش‌بینی سرعت باد و قدرت باد با استفاده از یادگیری مبتنی بر شبکه عصبی متمرکز است.

در [۹۲] از تکنیک‌های مختلف داده‌کاوی، از جمله پیش پردازش داده‌های تاریخی و ویژگی‌های سری زمانی بار استفاده شده است و مبتنی بر آن‌ها الگوریتمی به جهت پیش‌بینی ارائه گشته است. در این الگوریتم روند مصرف برق از منابع انرژی تجدید پذیر و منابع انرژی غیر تجدید پذیر مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد و در ادامه مدلی مرکب از اطلاعات این دو مرجع در تولید انرژی ارائه می‌شود. از نقطه نظر یادگیری ماشین، این روش مبتنی بر ترکیب پرسپترون چندلایه و رگرسیون مبتنی بر ماشین‌های بردار پشتیبان است. این روش مبتنی بر یادگیری گروهی و ترکیب چند الگوریتم یادگیر برای ایجاد یک الگوریتم یادگیر قوی‌تر است. یادگیری گروهی فرآیند ترکیب چندین مدل برای دستیابی به یک مدل جامع‌تر است. ایده اصلی یادگیری گروهی این است که حتی اگر یک مدل ضعیف پیش‌بینی اشتباه کند، دیگر مدل موجود در گروه می‌تواند اشتباهات کلی را بهبود بخشد. شکل ۵-۱۸ ساختار بالای الگوریتم پیشنهادی برای پیش‌بینی را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۱۸ مدل یادگیر پیشنهادی مبتنی بر سه الگوریتم یادگیر [۹۲]

در این روش ترکیبی از پرسپترون چندلایه، رگرسیون بردار پشتیبان و CatBoost برای پیش‌بینی مصرف انرژی ارائه شده است. رگرسیون بردار پشتیبان یک روش یادگیری ماشین است که بر اساس تئوری یادگیری آماری ساخته شده است. رگرسیون بردار پشتیبان را می‌توان برای پیش‌بینی بار کوتاه‌مدت استفاده نمود.

در مقاله [۹۳]، یک روش برای کنترل مدیریت انرژی منابع انرژی‌های تجدیدپذیر و ادغام با بار خانگی معرفی شده است. این روش بر اساس الگوریتم ژنتیک و بهینه‌سازی ازدحام ذرات دودویی که از روش‌های بهینه‌سازی مطرح هستند طراحی شده است که امکان مدیریت چندین وسیله و چندین منبع تولید پراکنده را برای مدیریت انرژی هوشمند ارائه می‌نماید. در این مقاله هدف ارائه راهکاری برای کم کردن تاثیر متغیر بودن ماهیت انرژی‌های تجدیدپذیر می‌باشد. یک چالش اساسی در ادغام انرژی‌های تجدیدپذیر در شبکه برق این است که تولید توان آن‌ها به‌طور متناوب و غیرقابل کنترل است؛ بنابراین، پیش‌بینی تولید انرژی‌های تجدیدپذیر در آینده حائز اهمیت است زیرا شبکه باید از مقدار توان تولیدی این منابع تا حدودی آگاهی داشته باشد. مقاله ارائه‌شده در [۹۴] به پیش‌بینی انرژی تولیدی از خورشید مبتنی بر پیش‌بینی‌های هواشناسی با استفاده از یادگیری ماشین پرداخته است. درواقع پیش‌بینی‌های هواشناسی مبتنی بر یادگیری ماشین به‌عنوان یک عامل اصلی در پیش‌بینی انرژی تولیدشده از خورشید لحاظ شده است. لازم به ذکر است که توسعه مدل‌های پیش‌بینی برای مزارع بزرگ خورشیدی امکان‌پذیر می‌باشد ولی توسعه آن‌ها برای تولید پراکنده در میلیون‌ها خانه در سراسر شبکه یک مشکل بسیار چالش‌برانگیز است. در این مقاله یک الگوریتم مبتنی بر شبکه عصبی ارائه شده است که با استفاده از هفت معیار متمایز آب‌وهوا به پیش‌بینی توان تولیدی پرداخته است و تا ۲۷٪ دقیق‌تر از مدل‌های پیش‌بینی موجود است.

۱۱-۵ بازار برق

به دلیل آزادسازی بازارهای برق در دهه‌های گذشته، پویایی قیمت برق به یک پدیده پیچیده با ویژگی‌های نادر و پیامدهای مهم تبدیل شده است. به‌طور خاص، در مقایسه با کالاهای دیگر، تجارت برق ویژگی‌هایی را از خود نشان می‌دهد که غیرمعمول است. در سال‌های اخیر، با افزایش نفوذ منابع انرژی تجدیدپذیر، رفتار ذکر شده گسترش پیدا کرده است. درحالی‌که بحثی در مورد مشارکت منابع انرژی تجدیدپذیر در ساختن جهانی با تاب‌آوری بیشتر وجود ندارد، نگرانی‌های زیادی در مورد تأثیر آن‌ها بر قیمت برق و پایداری شبکه مطرح شده است. به‌طور خاص، با افزایش نفوذ منابع انرژی تجدیدپذیر، وابستگی تولید برق و به‌نوبه خود نوسانات قیمت برق به شرایط آب و هوایی بیشتر می‌شود. این رابطه تا حد زیادی در مقالات مشخص شده است: در [۹۵] و [۹۶] اثر نفوذ انرژی باد در بازار برق نیوانگلند و تگزاس مورد مطالعه قرار گرفته و نتیجه گرفته شده است که نوسان قیمت با افزایش نفوذ انرژی باد افزایش می‌یابد. با نگاهی به نفوذ انرژی خورشیدی، [۹۷] نشان داده است که انتظار می‌رود با افزایش سهم سلول‌های خورشیدی در شبکه برق کالیفرنیا، نوسان قیمت بیشتر شود. به همین ترتیب، با بررسی تأثیر افزایش نفوذ انرژی باد در انگلیس برای سال ۲۰۲۱، در [۹۸] گزارش شده که انتظار می‌رود قیمت‌ها بیش از شرایط فعلی متغیر باشد. افزایش تولید انرژی منابع تجدیدپذیر میزان نوسان قیمت‌ها را افزایش می‌دهد، رفتار عوامل بازار به‌طور طبیعی غیرقابل پیش‌بینی می‌شود، افت ناگهانی تولید و مصرف بیشتر می‌گردد، عدم تعادل بین تولید و مصرف افزایش می‌یابد و برق شبکه ناپایدارتر خواهد شد.

تغییر ساختار صنعت برق باعث تغییر در ساختار سنتی شرکت‌ها شده است. بخش‌های تولید، انتقال و توزیع که زمانی قبل از این تغییر توسط یک شرکت واحد کنترل می‌شدند از هم جدا شده‌اند. رقابت ایجاد شده بین شرکت‌های تولیدکننده در بازار برق، ریسک را برای این شرکت‌ها و سایر نهادهای صنعت برق افزایش می‌دهد. از آنجاکه یک شرکت واحد، دیگر کل زنجیره تأمین را در اختیار ندارد، مدیریت ریسک به یکی از جنبه‌های مهم تجارت برق تبدیل شده است. برای مدیریت چنین خطراتی در بازار برق، پیش‌بینی شاخص‌های مختلف بازار مانند قیمت برق ساعتی، لازم و ضروری است. پیش‌بینی دقیق قیمت‌های بازار ورودی مهمی در فعالیت‌های تصمیم‌گیری یک شرکت تولیدکننده برای تولید انرژی است. برق کالای خاصی است زیرا ذخیره برق بسیار گران است؛ بنابراین، تقریباً بیشتر برق تولید شده باید بلافاصله مصرف شود؛ بنابراین، هم تولیدکنندگان و هم مصرف‌کنندگان برای ایجاد استراتژی‌های خاص خود، نیاز به پیش‌بینی دقیق قیمت دارند [۹۹].

روش‌ها و مدل‌های پیش‌بینی قیمت برق به‌طورمعمول به پنج حوزه تقسیم می‌شود: (۱) مدل‌های تئوری بازی (۲) روش‌های بنیادین (۳) مدل‌های فرم کاهش یافته (۴) مدل‌های آماری و (۵) روش‌های یادگیری ماشین. با توجه به بررسی‌های انجام‌شده، روش‌های آماری و یادگیری ماشینی نتایج بهتری در این زمینه داشته‌اند که در ادامه این گزارش به این دو نوع روش پرداخته شده است. ازجمله روش‌های آماری معمول برای پیش‌بینی قیمت می‌توان به مدل‌های

AR^1 , ARX^2 , $DSHW^3$, $TARX^4$, $ARIMA^5$, مدل‌های غیر پارامتریک، $GARCH^6$ ، DR^7 و TF^8 اشاره کرد. بعلاوه نسخه‌های ترکیبی نیز بخصوص مدل‌های بر پایه ویولت^۹ نیز رایج هستند [۱۰۰].

یک اشکال مدل‌های آماری این است که آن‌ها معمولاً پیش‌بینی‌های خطی هستند و در نتیجه ممکن است در داده‌هایی که تغییرات آن‌ها زیاد است به‌عنوان مثال داده‌های ساعتی با تغییرات سریع عملکرد خوبی نداشته باشند. برای پرداختن به این مسئله و پیش‌بینی رفتار غیرخطی قیمت‌های ساعتی، روش‌های مختلف یادگیری ماشین ارائه شده است. در این میان، روش‌های $MLPs^{10}$ ، SVR^{11} و RBF^{12} بیشترین استفاده را دارند.

در [۱۰۰] سه مدل هوشمند SVM^{13} ، ANN و $ACO-ANN^{14}$ برای پیش‌بینی قیمت برق با استفاده از نرم‌افزار متلب معرفی و اجرا شده‌اند. این سه مدل بر روی داده‌هایی که حاوی قیمت‌های ساعتی برای یک دوره یک ساله هستند، آموزش و آزمایش شده‌اند. نتایج نشان داده است که روش ANN پیشنهادی در مقایسه با روش‌های دیگر دارای میزان خطای کمتری است. روش پیشنهادی $ACO-ANN$ برای پیش‌بینی قیمت برق، بدون اینکه دقت نتیجه را کاهش دهد، داده‌های ورودی را به‌صورت هوشمندانه کاهش می‌دهد. اجرای SVM برای پیش‌بینی قیمت برق نتایج دقیق‌تری را با عملکرد بسیار سریع نسبت به ANN نشان می‌دهد؛ بنابراین این روش‌ها عملی و مفید هستند. مجموعه داده‌های مورد استفاده برای پیش‌بینی قیمت برق از نیویورک ایزو (NYISO) گرفته شده است که در وب‌سایت آن موجود می‌باشد.

در دهه گذشته، حوزه شبکه‌های عصبی چندین نوآوری را تجربه کرده است که منجر به آنچه تحت عنوان یادگیری عمیق^{۱۵} (DL) می‌شود، شده است. به‌طور خاص، یکی از موضوعات سنتی شبکه‌های عصبی هزینه محاسباتی زیاد برای آموزش مدل‌های بزرگ بوده است. با این حال، هنگامی که [۱۰۱] نشان داد که می‌توان یک شبکه اعتقادی عمیق^{۱۶} را با استفاده از الگوریتمی به نام پیش‌آموزش greedy layer به‌طور کارآمدی آموزش داد، این امر کاملاً تغییر کرد. هم‌زمان با پیشرفت‌های مرتبط، محققان قادر به آموزش کارآمد شبکه‌های عصبی پیچیده‌ای شدند که عمق آن‌ها فقط به یک‌لایه پنهان محدود نمی‌شد (مانند MLP سنتی). همان‌طور که این ساختارهای جدید نتایج بهتری را نشان داده

¹Autoregressive

²Autoregressive With Exogenous Inputs

³Double seasonal Holt-Winter

⁴Threshold ARX

⁵Autoregressive Integrated Moving Average

⁶Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity

⁷Dynamic Regression

⁸Transfer Function

⁹Wavelet

¹⁰Multilayer perceptrons

¹¹Support Vector Regressors

¹²Radial Basis Function

¹³Support Vector Machines

¹⁴Ant Colony Optimization

¹⁵Deep Learning

¹⁶Deep belief Network

و گسترش یافتند، این رشته به عنوان یادگیری عمیق تغییر نام داد تا بر اهمیت عمق در پیشرفت‌های به دست آمده تأکید شود.

در [۱۰۰] چهار مدل مختلف یادگیری عمیق (DL) برای پیش‌بینی قیمت برق روز آینده پیشنهاد شده است. علاوه بر این، یک مطالعه جامعی برای مقایسه دقت پیش‌بینی مدل‌های پیشنهادی با مدل‌های دیگر در مقالات انجام شده که شامل بیست و هفت روش مختلف می‌باشد. نشان داده شده است که سه مورد از چهار پیش‌بینی کننده DL، یعنی مدل شبکه عصبی عمیق (DNN)، LSTM^۱ و GRU^۲ از نظر آماری به طور قابل توجهی بهتر از همه مدل‌ها هستند. علاوه بر این، در میان این سه مدل، DNN با اختلاف در دقت که از نظر آماری قابل توجه است، می‌تواند از دو مدل دیگر پیشی بگیرد. با وجود این تفاوت، برای به دست آوردن یک پیش‌بینی کننده با عملکرد بالا، این سه مدل لازم هستند، زیرا دقت مدل‌های GRU و LSTM در بعضی از ساعات خاص هنوز بهتر است. در میان بقیه پیش‌بینی کنندگان، مشاهده شده است که یک تقسیم واضح بین یادگیری ماشین و روش‌های آماری وجود دارد و دسته اول نشان می‌دهد از نظر آماری دقت بهتری دارند. علاوه بر این، نشان داده شده است که مدل‌های با میانگین متحرک بدترین عملکرد را دارند و روش‌های ترکیبی از نمونه‌های ساده خود بهتر عمل می‌کنند.

۱۲-۵ جمع‌بندی

در این گزارش به مرور بخش‌های مختلف مدیریت انرژی هوشمند و بیان چالش‌های پیش رو بخش‌های مختلف انرژی در شهرهای هوشمند پرداخته شد. سپس ابزارها و روش‌های هوشمند مدیریت انرژی که در مقالات و پروژه‌های کشورهای مختلف در حال انجام و تحقیق می‌باشد مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به افزایش زندگی شهرنشینی در سال‌های آینده و مشکلات تامین انرژی در شهرهای هوشمند نیاز به حرکت به سمت روش‌های هوشمند و استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی در مدیریت انرژی بیش از پیش احساس می‌شود و نیاز می‌باشد قبل از اینکه مساله انرژی در شهرهای آینده به یک چالش تبدیل شود از هم اکنون زیرساخت‌های آن مورد بررسی و پیاده سازی قرار گیرد. در ادامه خلاصه مقالات بررسی شده در حوزه‌های مختلف انرژی هوشمند آورده شده است.

جدول ۵-۱: خلاصه مقالات بررسی شده در حوزه‌های مختلف انرژی هوشمند

ردیف	زیر سیستم	کاربرد	روش هوش مصنوعی	مرجع
۱	خانه هوشمند	تخمین مصرف کل ساختمان	شبکه عصبی مصنوعی (ANN)	[۲۷]
۲	خانه هوشمند	پیش‌بینی بار گرمایش ساختمان	شبکه عصبی انتشار معکوس (BPNN)	[۲۸]
۳	خانه هوشمند	پیش‌بینی تقاضای گرمایش ماهانه ساختمان‌های مسکونی	رگرسیون خطی چندگانه (MLR)	[۳۲]

^۱Long-Short Term Memory

۴	خانه هوشمند	پیش‌بینی بار خنک‌کننده ساختمان‌های تجاری	شبکه عصبی رگرسیون عمومی (GRNN)	[۳۶]
۵	خانه هوشمند	پیش‌بینی تقاضای بار خنک‌کننده ساختمان	شبکه عصبی انتشار معکوس (BPNN)	[۳۸]
۶	خانه هوشمند	پیش‌بینی مصرف انرژی سالانه ساختمان‌های مسکونی شهری	روش رگرسیون و ANN	[۳۹]
۷	خانه هوشمند	پیش‌بینی مصرف انرژی آب گرم HVAC	روش رگرسیون و ANN	[۴۰]
۸	خانه هوشمند	پیش‌بینی مصرف انرژی ساختمان	SVR	[۴۱]
۹	خانه هوشمند	پیش‌بینی ساعتی بار خنک‌کننده یک ساختمان اداری	SVR	[۴۲]
۱۰	خانه هوشمند	پیش‌بینی مصرف ساعتی برق خانه مسکونی	SVR, BPNN, RBFNN, GRNN	[۴۳, ۴۴]
۱۱	خانه هوشمند	کنترل عملکرد HVAC در ساختمان	ترکیبی از دو روش RL و MPC	[۴۶]
۱۲	خانه هوشمند	کنترل HVAC	یادگیری تقویتی عمیق (DRL)	[۴۷]
۱۳	ذخیره‌کننده انرژی	وضعیت شارژ باتری	PFA	[۴۹]
۱۴	ذخیره‌کننده انرژی	وضعیت شارژ باتری	DP	[۵۲]
۱۵	ذخیره‌کننده انرژی	وضعیت شارژ باتری	PSO	[۵۳]
۱۶	ذخیره‌کننده انرژی	وضعیت شارژ باتری	MILP	[۵۶]
۱۷	ریز شبکه	مدیریت بار ریز شبکه	الگوریتم ژنتیک (MRC-GA)	[۵۶]
۱۸	ریز شبکه	ذخیره انرژی در ریز شبکه	الگوریتم مدیریت انرژی هوشمند (SEMA)	[۵۷]
۱۹	ریز شبکه	برنامه‌ریزی بهینه واحدهای تولیدی و ذخیره‌سازی باتری در یک ریز شبکه	الگوریتم (MVPA)	[۵۸]
۲۰	ریز شبکه	مدیریت اقتصادی انرژی در یک ریز شبکه جزیره‌ای	یادگیری تقویتی	[۵۹]
۲۱	ریز شبکه	شناسایی وضعیت، بهینه‌سازی و محافظت از ریز شبکه	یادگیری تقویتی	[۶۰]
۲۲	ریز شبکه	حداکثر رساندن سود حاصل از مبادله انرژی با شبکه اصلی	استنتاج فازی (FIS)	[۶۱]

۲۳	ریز شبکه	بهینه سازی هزینه تولید انرژی در ریز شبکه	الگوریتم ترکیبی MGWOSCACSA	[۶۲]
۲۴	حمل و نقل هوشمند	پیش بینی وضعیت ترافیک کوتاه مدت	الگوریتم K-means	[۶۴]
۲۵	حمل و نقل هوشمند	پیش بینی جریان ترافیک کوتاه مدت	الگوریتم AMSVM-STC	[۶۵]
۲۶	حمل و نقل هوشمند	پیش بینی جریان ترافیک کوتاه مدت	مدل رگرسیون خطی محلی	[۶۶]
۲۷	حمل و نقل هوشمند	پیش بینی جریان ترافیک کوتاه مدت	الگوریتم TGC-LSTM	[۶۷]
۲۸	حمل و نقل هوشمند	پیش بینی جریان ترافیک کوتاه مدت	الگوریتم DNN-BTF	[۶۸]
۲۹	حمل و نقل هوشمند	کنترل چراغ راهنمایی و رانندگی (یک تقاطع)	مدل کنترل منطق فازی دو مرحله ای + الگوریتم ژنتیک	[۶۹]
۳۰	حمل و نقل هوشمند	کنترل چراغ راهنمایی و رانندگی (چند تقاطع)	تقریب تصادفی آشفته همزمان SPSA	[۷۰]
۳۱	حمل و نقل هوشمند	کنترل چراغ راهنمایی و رانندگی (یک تقاطع)	الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات PSO	[۷۱]
۳۲	حمل و نقل هوشمند	کنترل چراغ راهنمایی و رانندگی (چند تقاطع)	یادگیری تقویتی چند عاملی MARL	[۷۲]
۳۳	حمل و نقل هوشمند	کنترل چراغ راهنمایی و رانندگی (چند تقاطع)	یادگیری Q + تئوری بازی	[۷۴]
۳۴	حمل و نقل هوشمند	کنترل چراغ راهنمایی و رانندگی (یک تقاطع)	شبکه عصبی کانولوشن	[۷۵]
۳۵	حمل و نقل هوشمند	کنترل چراغ راهنمایی و رانندگی (چند تقاطع)	Double Q-Network	[۷۷]
۳۶	حمل و نقل هوشمند	مدلسازی ترافیک و فرآیندهای حمل و نقل	سیستم استنتاج فازی ممدانی	[۷۹]
۳۷	حمل و نقل هوشمند	ارتباط خودروها با چراغ های راهنمایی و رانندگی	الگوریتم های هوش ازدحامی مانند ژنتیک و مورچگان	[۸۰] [۸۱]
۳۸	خودرو برقی	مدیریت انرژی مجموعه ای از HEV	یادگیری تقویتی با نام Dyna- Deep Q-Learning + H	[۸۲]
۳۹	خودرو برقی	مدیریت انرژی مجموعه ای از HEV	یادگیری تقویتی تو در تو (دو مرحله ای)	[۸۴]
۴۰	خودرو برقی	مدیریت انرژی مجموعه ای از HEV	یادگیری تقویتی	[۸۵]

۴۱	خودرو برقی	کمینه‌سازی مصرف انرژی PHEV	شبکه عصبی مصنوعی [۸۶]
۴۲	خودرو برقی	استفاده بهتر از انرژی ذخیره شده در خودروهای برقی برای بارهای داخلی خانه	سیستم استنتاج سوگو [۸۷]
۴۳	خودرو برقی	برنامه‌ریزی برای شارژ خودروهای برقی در پارکینگ‌ها	رگرسیون پرسپترون چندلایه-ای [۸۸]
۴۴	تجدید پذیر	مدیریت شبکه (پایش، تشخیص خطا، تخمین و بهینه سازی)	شبکه عصبی مصنوعی [۹۰]
۴۵	تجدید پذیر	پیشبینی تولید از طریق پیشبینی شرایط آب و هوایی	شبکه عصبی مصنوعی، محاسبات تکاملی و یادگیری آماری [۹۱]
۴۶	تجدید پذیر	پیشبینی تولید از طریق استفاده از اطلاعات منابع آب و هوایی در قالب سری های زمانی	شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون و ماشین های بردار پشتیبان [۹۲]
۴۸	تجدید پذیر	کنترل مدیریت انرژی منابع انرژی‌های تجدید پذیر و ادغام با بار خانگی	الگوریتم ژنتیک و الگوریتم بهینه سازی ذرات [۹۳]
۴۸	تجدید پذیر	مدیریت شبکه مبتنی بر پیشبینی شرایط آب و هوایی	شبکه عصبی مصنوعی [۹۴]
۴۹	بازار برق	پیشبینی قیمت	یادگیری ماشین [۹۹]
۵۰	بازار برق	پیشبینی قیمت	شبکه عصبی مصنوعی [۱۰۰]

- [1] Wu, X., Shen, J., Li, Y., Zhang, J., & Lee, K. Y. "Data-driven Predictive Control of Micro Gas Turbine Combined Cooling Heating and Power system". IFAC PapersOnLine, Vol.49, pp. 419-424, 2016.
- [2] Yang, J. "Integration and performance simulation study of combined cooling heating and power system based on micro turbine". Ph.D. dissertation, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai, China, 2009.
- [3] F. D. Bianchi, H. D. Battista and R. J. Mantz, "Wind turbine control systems". Springer Publishing Company, April 2006.
- [4] Iran Renewable Energy Organization, <http://www.suns.org.ir/>
- [5] Houtzager, Ivo, "Towards data-driven control for modern wind turbines", 2011.
- [6] S. Simani, S. Alvisi, "Data-Driven Control Techniques for Renewable Energy Conversion Systems: Wind Turbine and Hydroelectric Plants", Electronics, Vol. 18, pp. 896- 914, 2019.
- [7] Luo, Xiaosuo. "Data-driven predictive control for continuous-time linear parameter varying systems with application to wind turbine." International Journal of Control, Automation and Systems vol.15pp. 619-626, 2017.
- [8] P. Nagendra, S. H. nee Dey, and T. Dutta, "Artificial Neural Network Application for Power Transfer Capability and Voltage Calculations in Multi-Area Power System", Leonardo Electron., vol. 16, pp. 119-128, 2010.
- [9] A. Abu-Siada, S. Islam, and E. Mohamed, "Application of artificial neural networks to improve power transfer capability through OLTC", Int. J. Eng. Sci. Technol., vol. 2, pp. 8-18, 2010.
- [10] L. Teklić, B. Filipović-Grčić, and I. Pavičić, "Artificial neural network approach for locating faults in power transmission system", in Eurocon 2013, pp. 1425-1430, 2013.
- [11] M. Jamil, S. K. Sharma, and R. Singh, "Fault detection and classification in electrical power transmission system using artificial neural network", Springerplus, vol. 4, pp. 1-13, 2015.
- [12] O. O. Kalu and T. C. Madueme, "Application of artificial neural network (ANN) to enhance power systems protection: a case of the Nigerian 330 kV transmission line, Electr". Eng., vol. 100, pp. 1467-1479, 2018.
- [13] پروژه " بررسی روش های کنترل مبتنی بر داده و پیاده سازی الگوریتم های مرتبط"، گروه پژوهشی فناوری اطلاعات و ارتباطات، پژوهشگاه نیرو، سال ۱۳۹۷
- [14] J. L. Brooks, C. E. L. A. B. (NAVY) P. H. CA., and C.). C. E. L. "Naval Construction Battalion Center (Port Hueneme, Solid State Transformer Concept Development". Defense Technical Information Center, 1980.
- [15] J. HARRISON Michael, "A CYCLO-CONVERTER AND METHODS OF OPERATION", WO/2008/018802Feb-2008.

- [16] H. Wrede, V. Staudt, and A. Steimel, "Design of an Electronic Power Transformer", Proc. Of the Annual Conference of the Ind. Electr. Society (IECON), Vol. 2, pp. 1380- 1385 ,2002.
- [17] H. Akagi, S. Inoue, and T. Yoshii: "Control and Performance of a Transformerless Cascade PWM STATCOM with Star Configuration", IEEE Transactions on Ind. Appl., Vol. 43, pp. 1041 - 1049 ,2007.
- [18] A. Maitra, A. Sundaram, M. Gandhi, S. Bird, and S. Doss, "INTELLIGENT UNIVERSAL TRANSFORMER DESIGN AND APPLICATIONS", in 20 Th International Conference on Electricity Distribution, pp. 8-11, 2009.
- [19] J. W. Kolar, "Next Generation Power Electronics Infrastructure System the Energy Internet", pp. 1-57.
- [20] Kumars Rouzbehi, Juan Manuel Escaño, " A Data-Driven Based Voltage Control Strategy for DC-DC Converters: Application to DC Microgrid ", Electronics, Vol. 8, pp. 493 - 507,2019.
- [21] Ashib Rahman, Rabiul Islam, " Data Driven Coordinated Control of Converters in a Smart Solid State Transformer for Reliable and Automated Distribution Grids", Transactions on Industry Applications, Vol. 56, pp. 4532 - 4542,2020.
- [22] S. Park and C. Chen, "Admittance Compensation in Current Loop Control for a Grid- Tie LCL Fuel Cell Inverter", IEEE Trans. Power Electron., vol. 23, pp. 1716- 1723, 2008.
- [23] S. R. Hadianamrei, "A Novel Design Method of LCL Type Utility Interface for Three-Phase Voltage Source Rectifier", in IEEE 36th Conference on Power Electronics Specialists, pp. 313-317, 2005.
- [24] Z. Wang and R. S. Srinivasan, "A review of artificial intelligence based building energy use prediction: Contrasting the capabilities of single and ensemble prediction models", Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 75, pp. 796-808, 2017.
- [25] S. Seyedzadeh, F. P. Rahimian, I. Glesk, and M. Roper, "Machine learning for estimation of building energy consumption and performance: a review", Visualization in Engineering, vol. 6, p. 5-16, 2018.
- [26] A. Foucquier, S. Robert, F. Suard, L. Stéphan, and A. Jay, "State of the art in building modelling and energy performances prediction: A review", Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 23, pp. 272-288, 2013.
- [27] A. H. Neto and F. A. S. Fiorelli, "Comparison between detailed model simulation and artificial neural network for forecasting building energy consumption", Energy and buildings, vol. 40, pp. 2169-2176, 2008.
- [28] C. Turhan, T. Kazanasmaz, I. E. Uygun, K. E. Ekmen, and G. G. Akkurt, "Comparative study of a building energy performance software (KEP-IYTE-ESS) and ANN-based building heat load estimation," Energy and Buildings, vol. 85, pp. 115-125, 2014.
- [29] J. Leitão, P. Gil, B. Ribeiro, and A. Cardoso, "A survey on home energy management," IEEE Access, vol. 8, pp. 5699-5722, 2020.
- [30] M. Beaudin and H. Zareipour, "Home energy management systems: A review of modelling and complexity," Renewable and sustainable energy reviews, vol. 45, pp. 318-335, 2015.

- [31] M. Figueiredo, B. Ribeiro, and A. de Almeida, "Electrical signal source separation via nonnegative tensor factorization using on site measurements in a smart home," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 63, pp. 364-373, 2013.
- [32] T. Catalina, J. Virgone, and E. Blanco, "Development and validation of regression models to predict monthly heating demand for residential buildings," *Energy and buildings*, vol. 40, pp. 1825-1832, 2008.
- [33] T. Catalina, V. Iordache, and B. Caracaleanu, "Multiple regression model for fast prediction of the heating energy demand," *Energy and buildings*, vol. 57, pp. 302-312, 2013.
- [34] D. Jacob, S. Dietz, S. Komhard, C. Neumann, and S. Herkel, "Black-box models for fault detection and performance monitoring of buildings," *Journal of Building Performance Simulation*, vol. 3, pp. 53-62, 2010.
- [35] Z. Wang and R. S. Srinivasan, "A review of artificial intelligence based building energy prediction with a focus on ensemble prediction models," in *2015 Winter Simulation Conference (WSC)*, pp. 3438-3448, 2015.
- [36] A. E. Ben-Nakhi and M. A. Mahmoud, "Cooling load prediction for buildings using general regression neural networks," *Energy Conversion and Management*, vol. 45, pp. 2127-2141, 2004.
- [37] B. B. Ekici and U. T. Aksoy, "Prediction of building energy consumption by using artificial neural networks," *Advances in Engineering Software*, vol. 40, pp. 356-362, 2009.
- [38] R. Yokoyama, T. Wakui, and R. Satake, "Prediction of energy demands using neural network with model identification by global optimization," *Energy Conversion and Management*, vol. 50, pp. 319-327, 2009.
- [39] S. Farzana, M. Liu, A. Baldwin, and M. U. Hossain, "Multi-model prediction and simulation of residential building energy in urban areas of Chongqing, South West China," *Energy and Buildings*, vol. 81, pp. 161-169, 2014.
- [40] Y. Zhang, Z. O'Neill, B. Dong, and G. Augenbroe, "Comparisons of inverse modeling approaches for predicting building energy performance," *Building and Environment*, vol. 86, pp. 177-190, 2015.
- [41] B. Dong, C. Cao, and S. E. Lee, "Applying support vector machines to predict building energy consumption in tropical region," *Energy and Buildings*, vol. 37, pp. 545-553, 2005.
- [42] Q. Li, Q. Meng, J. Cai, H. Yoshino, and A. Mochida, "Applying support vector machine to predict hourly cooling load in the building," *Applied Energy*, vol. 86, pp. 2249-2256, 2009.
- [43] J. Massana, C. Pous, L. Burgas, J. Melendez, and J. Colomer, "Short-term load forecasting in a non-residential building contrasting models and attributes," *Energy and Buildings*, vol. 92, pp. 322-330, 2015.
- [44] Z. Wang, R. S. Srinivasan, and J. Shi, "Artificial intelligent models for improved prediction of residential space heating," *Journal of Energy Engineering*, vol. 142, p. 04016006, 2016.
- [45] K. Mason and S. Grijalva, "A review of reinforcement learning for autonomous building energy management," *Computers & Electrical Engineering*, vol. 78, pp. 300-312, 2019.

- [46] S. Liu and G. P. Henze, "Experimental analysis of simulated reinforcement learning control for active and passive building thermal storage inventory: Part 2: Results and analysis," *Energy and buildings*, vol. 38, pp. 148-161, 2006.
- [47] T. Wei, Y. Wang, and Q. Zhu, "Deep reinforcement learning for building HVAC control," in *Proceedings of the 54th Annual Design Automation Conference 2017*, pp. 1-6, 2017.
- [48] J.-S. Chou and D.-K. Bui, "Modeling heating and cooling loads by artificial intelligence for energy-efficient building design," *Energy and Buildings*, vol. 82, pp. 437-446, 2014.
- [49] C. Keerthisinghe, A. C. Chapman, and G. Verbič, "Energy management of PV-storage systems: Policy approximations using machine learning," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 15, pp. 257-265, 2018.
- [50] C. Keerthisinghe, G. Verbič, and A. C. Chapman, "Energy management of PV-storage systems: ADP approach with temporal difference learning," in *2016 Power Systems Computation Conference (PSCC)*, pp. 1-7, 2016.
- [51] C. Keerthisinghe, G. Verbič, and A. C. Chapman, "Evaluation of a multi-stage stochastic optimisation framework for energy management of residential PV-storage systems," in *2014 australasian universities power engineering conference (AUPEC)*, pp. 1-6, 2014.
- [52] H. Tischer and G. Verbic, "Towards a smart home energy management system-a dynamic programming approach," in *2011 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies*, pp. 1-7, 2011.
- [53] M. A. A. Pedrasa, T. D. Spooner, and I. F. MacGill, "Coordinated scheduling of residential distributed energy resources to optimize smart home energy services," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 1, pp. 134-143, 2010.
- [54] Z. Chen, L. Wu, and Y. Fu, "Real-time price-based demand response management for residential appliances via stochastic optimization and robust optimization," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 3, pp. 1822-1831, 2012.
- [55] C. Keerthisinghe, G. Verbič, and A. C. Chapman, "A fast technique for smart home management: ADP with temporal difference learning," *IEEE Transactions on smart grid*, vol. 9, pp. 3291-3303, 2016.
- [56] C. Chen, S. Duan, T. Cai, B. Liu, and G. Hu, "Smart energy management system for optimal microgrid economic operation," *IET Renew. Power Gener.* vol. 5, no. 3, pp. 258–267, 2011.
- [57] A. Aktas, K. Erhan, S. Ozdemir, and E. Ozdemir, "Experimental investigation of a new smart energy management algorithm for a hybrid energy storage system in smart grid applications," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 144, pp. 185–196, 2017.
- [58] M. A. M. Ramli, H. Bouchekara, and A. S. Alghamdi, "Efficient energy management in a microgrid with intermittent renewable energy and storage sources," *Sustainability*, vol. 11, no. 14, p. 3839, 2019.
- [59] T. Levent, P. Preux, E. Le Pennec, J. Badosa, G. Henri, and Y. Bonnassieux, "Energy Management for Microgrids: a Reinforcement Learning Approach," in *2019 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT-Europe)*, pp. 1–5, 2019.

- [60] M. Elbana, N. Abbasy, and A. Meghad, SMART CONTROL ALGORITHMS FOR MICROGRID STATUS DETECTION, OPTIMIZATION AND PROTECTION. 2019.
- [61] S. Leonori, M. Paschero, F. M. F. Mascioli, and A. Rizzi, "Optimization strategies for Microgrid energy management systems by Genetic Algorithms," *Appl. Soft Comput.*, vol. 86, p. 105-115, 2020.
- [62] B. Dey, F. P. García Márquez, and S. K. Basak, "Smart energy management of residential microgrid system by a novel hybrid mgwoscacs algorithm," *Energies*, vol. 13, p. 35-45, 2020.
- [63] A. Boukerche, Y. Tao, and P. Sun, "Artificial intelligence-based vehicular traffic flow prediction methods for supporting intelligent transportation systems," *Computer Networks*, vol. 182, p. 107-119, 2020.
- [64] B. Yu, X. Song, F. Guan, Z. Yang, and B. J. J. o. T. E. Yao, "k-Nearest neighbor model for multiple-time-step prediction of short-term traffic condition," vol. 142, p. 45-51, 2016.
- [65] X. Feng, X. Ling, H. Zheng, Z. Chen, and Y. J. I. T. o. I. T. S. Xu, "Adaptive multi-kernel SVM with spatial-temporal correlation for short-term traffic flow prediction," vol. 20, pp. 2001-2013, 2018.
- [66] H. Sun, H. X. Liu, H. Xiao, R. R. He, and B. J. T. R. R. Ran, "Use of local linear regression model for short-term traffic forecasting," vol. 1836, pp. 143-150, 2003.
- [67] Z. Cui, K. Henrickson, R. Ke, and Y. J. I. T. o. I. T. S. Wang, "Traffic graph convolutional recurrent neural network: A deep learning framework for network-scale traffic learning and forecasting," 2019.
- [68] Y. Wu, H. Tan, L. Qin, B. Ran, and Z. Jiang, "A hybrid deep learning based traffic flow prediction method and its understanding," *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 90, pp. 166-180, 2018.
- [69] J. Qiao, N. Yang, J. J. I. T. o. S. Gao, Man, C.-P. A. Systems, and Humans, "Two-stage fuzzy logic controller for signalized intersection," vol. 41, pp. 178-184, 2010.
- [70] D. Srinivasan, M. C. Choy, and R. L. J. I. T. o. i. t. s. Cheu, "Neural networks for real-time traffic signal control," vol. 7, pp. 261-272, 2006.
- [71] S. A. Çeltek, A. Durdu, and M. E. M. J. M. Ali, "Real-time traffic signal control with swarm optimization methods," vol. 166, p. 108-119, 2020.
- [72] T. Chu, J. Wang, L. Codecà, and Z. J. I. T. o. I. T. S. Li, "Multi-agent deep reinforcement learning for large-scale traffic signal control," vol. 21, pp. 1086-1095, 2019.
- [73] K.-L. A. Yau, J. Qadir, H. L. Khoo, M. H. Ling, and P. J. A. C. S. Komisarczuk, "A survey on reinforcement learning models and algorithms for traffic signal control," vol. 50, pp. 1-38, 2017.
- [74] M. J. I. I. T. S. M. Abdoos, "A Cooperative Multi-Agent System for Traffic Signal Control Using Game Theory and Reinforcement Learning," 2020.
- [75] W. Genders and S. J. a. p. a. Razavi, "Using a deep reinforcement learning agent for traffic signal control," 2016.

- [76] L. Li, Y. Lv, and F.-Y. J. I. C. J. o. A. S. Wang, "Traffic signal timing via deep reinforcement learning," vol. 3, pp. 247-254, 2016.
- [77] E. J. M. s. t. van der Pol, University of Amsterdam, "Deep reinforcement learning for coordination in traffic light control," 2016.
- [78] J. Gao, Y. Shen, J. Liu, M. Ito, and N. J. a. p. a. Shiratori, "Adaptive traffic signal control: Deep reinforcement learning algorithm with experience replay and target network," 2017.
- [79] M. A. Khan, S. Abbas, Z. Hasan, and A. J. n. J. Fatima, "Intelligent transportation system (ITS) for smart-cities using mamdani fuzzy inference system," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*, vol. 9, p. 12-20, 2018.
- [80] K. Katsaros, R. Kernchen, M. Dianati, and D. Rieck, "Performance study of a Green Light Optimized Speed Advisory (GLOSA) application using an integrated cooperative ITS simulation platform," in *2011 7th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference*, pp. 918-923, 2011.
- [81] M. Seredynski, W. Mazurczyk, and D. Khadraoui, "Multi-segment green light optimal speed advisory," in *2013 IEEE International Symposium on Parallel & Distributed Processing, Workshops and Phd Forum*, pp. 459-465, 2013.
- [82] G. Du, Y. Zou, X. Zhang, T. Liu, J. Wu, and D. J. E. He, "Deep reinforcement learning based energy management for a hybrid electric vehicle," p.117-125, 2020.
- [83] X. Hu, T. Liu, X. Qi, and M. Barth, "Reinforcement learning for hybrid and plug-in hybrid electric vehicle energy management: Recent advances and prospects," *IEEE Industrial Electronics Magazine*, vol. 13, pp. 16-25, 2019.
- [84] X. Lin, P. Bogdan, N. Chang, and M. Pedram, "Machine learning-based energy management in a hybrid electric vehicle to minimize total operating cost," in *2015 IEEE/ACM International Conference on Computer-Aided Design (ICCAD)*, pp. 627-634, 2015.
- [85] X. Lin, Y. Wang, P. Bogdan, N. Chang, and M. Pedram, "Reinforcement learning based power management for hybrid electric vehicles," in *2014 IEEE/ACM International Conference on Computer-Aided Design (ICCAD)*, pp. 33-38, 2014.
- [86] S. Xie, X. Hu, S. Qi, and K. Lang, "An artificial neural network-enhanced energy management strategy for plug-in hybrid electric vehicles," *Energy*, vol. 163, pp. 837-848, 2018.
- [87] M. S. Shamami, M. S. Alam, F. Ahmad, S. M. Shariff, I. AlSaidan, Y. Rafat, et al., "Artificial Intelligence-Based Performance Optimization of Electric Vehicle-to-Home (V2H) Energy Management System," *SAE International Journal of Sustainable Transportation, Energy, Environment, & Policy*, vol. 1, pp. 112-121, 2020.
- [88] A. Alahyari, D. Pozo, and M. A. Sadri, "Online Energy Management of Electric Vehicle Parking-Lots," in *2020 International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST)*, pp. 1-6, 2020.
- [89]. Şerban, Andreea Claudia, and Miltiadis D. Lytras. "Artificial Intelligence for Smart Renewable Energy Sector in Europe—Smart Energy Infrastructures for Next Generation Smart Cities." *IEEE* ,2020.

- [90]. Ahmad, Tanveer, Hongcai Zhang, and Biao Yan. "A review on renewable energy and electricity requirement forecasting models for smart grid and buildings." *Sustainable Cities and Society*, vol.55, pp.102-114,2020.
- [91]. Jha, Sunil Kr, et al. "Renewable energy: Present research and future scope of Artificial Intelligence." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.77, pp. 297-317,2017.
- [92]. Khan, Prince Waqas, et al. "Machine learning-based approach to predict energy consumption of renewable and nonrenewable power sources." *Energies*, vol.13, pp. 19-27,2020.
- [93]. Javaid, Nadeem, et al. "Energy efficient integration of renewable energy sources in the smart grid for demand side management." *IEEE Access*, vol.6, pp. 77077-77096,2018.
- [94]. Sharma, Navin, et al. "Predicting solar generation from weather forecasts using machine learning." 2011 IEEE international conference on smart grid communications (SmartGridComm). IEEE, 2011.
- [95] C. B. Martinez-Anido, G. Brinkman, and B.-M. Hodge, "The impact of wind power on electricity prices," *Renewable Energy*, vol. 94, pp. 474-487, 2016.
- [96] R. Baldick, "Wind and energy markets: A case study of Texas," *IEEE Systems Journal*, vol. 6, pp. 27-34, 2011.
- [97] I. Milstein and A. Tishler, "Can price volatility enhance market power? The case of renewable technologies in competitive electricity markets," *Resource and Energy Economics*, vol. 41, pp. 70-90, 2015.
- [98] R. Green and N. Vasilakos, "Market behaviour with large amounts of intermittent generation," *Energy Policy*, vol. 38, pp. 3211-3220, 2010.
- [99] E. Foruzan, S. D. Scott, and J. Lin, "A comparative study of different machine learning methods for electricity prices forecasting of an electricity market," in 2015 North American Power Symposium (NAPS), pp. 1-6, 2015.
- [100] J. Lago, F. De Ridder, and B. De Schutter, "Forecasting spot electricity prices: Deep learning approaches and empirical comparison of traditional algorithms," *Applied Energy*, vol. 221, pp. 386-405, 2018.
- [101] G. E. Hinton, S. Osindero, and Y.-W. Teh, "A fast learning algorithm for deep belief nets," *Neural computation*, vol. 18, pp. 1527-1554, 2006.

فصل ششم: طراحی مفهومی سیستم مدیریت هوشمند انرژی الکتریکی

طراحی مفهومی یک ارائه توصیفی از محصول پیشنهادی است و به صورت مجموعه‌ای از ایده‌ها و مفاهیم یکپارچه است در مورد آنچه محصول باید انجام دهد. این مرحله از پروژه برای به حداقل رساندن خطا، مدیریت هزینه‌ها و ارزیابی ریسک‌ها، انجام می‌شود.

مهندسی سیستم‌ها^۱ (SE) یک فرایند بین رشته‌ای است که روی مدیریت ریسک‌ها در طراحی، استقرار و نگهداری مؤلفه‌های تعاملی پیچیده در طول چرخه زندگی آن‌ها تمرکز دارد. فرآیند SE شامل توسعه از بالا به پایین نیازهای عملکردی و فیزیکی یک سیستم از مجموعه اهداف اولیه تعریف شده است. هدف اصلی این فرآیند، سازمان‌دهی اطلاعات و دانش برای کمک به افرادی است که برنامه‌ریزی، توسعه و بهره‌برداری از سیستم‌های لازم برای رسیدن به اهداف اولیه را مدیریت، هدایت و کنترل می‌کنند. اهداف کلی SE دو مورد زیر است:

۱- اجرای پروژه‌ها مطابق با بودجه و برنامه‌ریزی قبلی

۲- در نظر گرفته شدن تمامی نیازها/اهداف مشخص و تعریف شده در ابتدای پروژه

به منظور جلوگیری از نقص‌ها و مشکلات تعاملی پرهزینه که می‌تواند در مراحل توسعه، بهره‌برداری و نگهداری سیستم مدیریت هوشمند انرژی^۲ (SEM) در شهر هوشمند به وجود آید، طراحی مفهومی (CD^۳) این سیستم در مراحل اولیه یکی از نیازهای ضروری محسوب می‌شود. سیستم مدیریت هوشمند انرژی در شهر هوشمند به دلایل زیر بسیار چالش‌برانگیز هستند:

۱- به کارگیری فناوری‌های جدید و بسیار پیچیده.

۲- سازمان‌های ذینفع زیاد که هر یک مؤلفه‌های مختص خود را دارند و باید از طریق به اشتراک گذاری اطلاعات با یکدیگر تعامل کنند.

به اشتراک گذاری اطلاعات در صورتی که فرآیندهای توسعه‌ای متعددی در مراحل پیاده‌سازی وجود داشته باشند، می‌تواند منجر به ایجاد ریسک در سیستم شود. عدم اطلاع از اطلاعاتی که می‌بایست به اشتراک گذاشته شوند و نحوه رمزگذاری این اطلاعات می‌تواند در ایجاد ریسک مؤثر باشد و ممکن است منجر به قطع یا خرابی سرویس مدیریت هوشمند انرژی شود. پیروی از یک فرایند مهندسی سیستم^۴ (SEP) می‌تواند به طور قابل توجهی به کاهش تعداد و شدت نقص‌ها و ریسک‌ها در سیستم پیچیده مدیریت هوشمند انرژی کمک کند. شکل ۶-۱ نمودار V شکل مهندسی سیستم را برای ایجاد سیستم مدیریت هوشمند انرژی نشان می‌دهد. این نمودار مراحل مورد نیاز برای رسیدن از یک برنامه‌ریزی اولیه (سمت چپ بالای نمودار) به یک سیستم استقرار یافته (سمت راست بالای نمودار) را نشان می‌دهد.

us Inputs

¹Double seasonal

Holt-Winter

²Threshold ARX

³Auto

regressive Integrated Mov

ing Average

⁴Generalized Autoregress



شکل ۶-۱ نمودار V شکل مهندسی سیستم را برای ایجاد سیستم مدیریت هوشمند انرژی [۱]

با توجه به اینکه هدف این پروژه ارائه طراحی مفهومی (طراحی سطح بالا) برای سیستم مدیریت هوشمند انرژی می باشد، مراحل اشاره شده در شکل بالا به منظور طراحی سطح بالا در ادامه توضیح داده می شوند.

برنامه ریزی اولیه: اولین قدم در SEP برای سیستم مدیریت هوشمند انرژی توسعه نیازهای اولیه و اهداف خاص آن پروژه است. سپس، معماری مدیریت هوشمند انرژی توسعه داده می شود که مشخص کننده مجموعه ای از سرویس های مدیریت هوشمند انرژی است که نیازها و اهداف از قبل تعیین شده را برآورده می کند. علاوه بر این، معماری پیاده سازی هر یک از سرویس های مدیریت هوشمند انرژی با شناسایی ذینفعان و جریان اطلاعات ورودی و خروجی آنها می بایست طراحی شود. نهایتاً، معماری مدیریت هوشمند انرژی شامل شناسایی استانداردهای باز (پروتکل های محلی) مورد توافق ذینفعان است که برای رمزگذاری جریان اطلاعات بین عناصر سیستم مدیریت هوشمند انرژی مورد استفاده قرار می گیرد.

طراحی مفهومی سیستم مدیریت هوشمند انرژی چگونگی ترجمه نیازها و الزامات ذینفعان در سطح سیستمی را مشخص می کند. این مدل مشخص می کند که سیستم چه کارهایی را باید انجام دهد و با چه سیستم های دیگری باید تعامل داشته باشد تا بتواند نیازها را برآورده کند.

تحلیل مدیریت هوشمند انرژی: در مرحله دوم، معماری مدیریت هوشمند انرژی به عنوان ورودی گزارش مطالعه امکان سنجی (FSR^1) مدیریت هوشمند انرژی استفاده می شود. FSR مدیریت هوشمند انرژی باید شامل عناصر ذینفعان و الزامات عملکردی آنها و جریان های اطلاعاتی بین سایر مؤلفه های موجود در معماری مدیریت هوشمند انرژی باشد. در FSR تجزیه و تحلیل های اضافی مانند برآورد دقیق هزینه و مزایا و گزینه های فناوری برای عناصر موجود در مدیریت هوشمند انرژی با توجه به ملاحظات محلی و زیست محیطی مورد بررسی قرار می گیرد. FSR همچنین اهداف قابل اندازه گیری مدیریت هوشمند انرژی را مشخص می کند تا بعداً برای تأیید و ارزیابی اینکه مدیریت هوشمند انرژی مستقر شده تمام اهداف را برآورده کرده است، مورد استفاده قرار گیرد.

توسعه مشخصات: این مرحله شامل ۳ فاز نیازمندی های سیستم، طراحی سطح بالا و طراحی دقیق و با جزئیات می شود. نیازمندی های سیستم، نیازمندی های عملکردی، کارایی و زیست محیطی مربوط به مؤلفه های مختلف موجود در

سیستم مدیریت هوشمند انرژی را شامل می‌شوند. نیازمندی‌های سیستم نباید به فناوری‌های انتخاب شده وابستگی داشته باشند. نیازمندی‌های سیستم باید در راستای اهداف مشخص شده در FSR باشند و به‌عنوان آزمون‌های تأیید عملکرد سیستم مدیریت هوشمند انرژی قابل استفاده باشند. پس از تعریف نیازمندی‌های سیستم مدیریت هوشمند انرژی (عملکردی، کارایی و محیطی)، می‌توان از آن‌ها برای انتخاب فناوری‌های موردنیاز در سیستم مدیریت هوشمند انرژی استفاده کرد. مجموعه فناوری‌های انتخاب‌شده، در طراحی سطح بالا لحاظ می‌شوند. بعد از طراحی سطح بالا، طراحی دقیق و با جزئیات انجام می‌شود.

بعد از مرحله توسعه مشخصات، با توجه به نمودار V شکل مهندسی سیستم در شکل ۶-۱، مراحل پیاده‌سازی و آزمون (نصب و راه‌اندازی بخش‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری، آزمون تجهیزات، تأیید و اعتبارسنجی زیرسیستم‌ها و سیستم کلی) و مدیریت، بهره‌برداری و نگهداری قرار دارند که خارج از محدوده پروژه فعلی هستند. در ادامه جزییات بیشتری از طراحی مفهومی بخش‌های مختلف سیستم مدیریت هوشمند انرژی توضیح داده می‌شود.

۲-۶ طراحی مفهومی مدیریت هوشمند انرژی

توسعه طراحی مفهومی نیازمند مجموعه‌ای از مراحل است که این مراحل در شکل ۶-۲ نشان داده شده‌اند؛ که شامل موارد زیر می‌باشد:

۱. ارائه اهداف
۲. شناسایی ذینفعان و ایجاد کارگروه ذینفعان
۳. توسعه معماری با مجموعه خدمات مشخص
۴. اختصاص مجموعه خدمات به پروژه‌ها
۵. تأیید مجموعه خدمات توسط ذینفعان
۶. انتشار طراحی مفهومی

در ادامه هر یک از این مراحل برای بخش‌های مختلف سیستم مدیریت هوشمند انرژی توضیح داده شده‌اند.



شکل ۶-۲ مراحل توسعه طراحی مفهومی [۱]

۱-۲-۶ ارائه اهداف انرژی هوشمند

۱-۲-۱-۶ خانه هوشمند

یکی از ویژگی‌های خانه هوشمند مجهز بودن به سنسورها و عملگرهای مختلف و مرتبط بودن این سنسورها و عملگرها به یک سیستم کنترلی مرکزی است. در یک شهر هوشمند، بین شبکه هوشمند انرژی و خانه هوشمند و اجزای آن ارتباط دوطرفه‌ای وجود دارد. به این ترتیب برای پاسخ به تقاضا و مدیریت تولید و مصرف اجزای خانه هوشمند می‌تواند توسط یک کنترل مرکزی در شهر نیز کنترل شوند.

در این قسمت اهداف خانه هوشمند و همچنین معیارهای اندازه‌گیری این اهداف بیان می‌شود تا در آینده پس از پیاده‌سازی خانه هوشمند بتوان آن پروژه پیاده‌سازی را مورد سنجش قرار داد. هدف از خانه هوشمند می‌تواند مصرف بهینه انرژی در خانه، کاهش هزینه‌های انرژی خانه، راحتی و آسایش افراد در منزل، تامین امنیت و ایمنی و همچنین مدیریت مصرف انرژی در خانه و همچنین مدیریت پاسخ به تقاضا و یا ترکیبی از این موارد باشد. یکی از مواردی که امروزه برای پیاده‌سازی و تصمیم‌گیری در این زمینه مورد توجه است، استفاده از هوش مصنوعی می‌باشد. هوش مصنوعی می‌تواند با یادگیری سلاقی و عادت‌های افراد داخل منزل به فراهم نمودن راحتی و آسایش آن‌ها کمک نماید. میزان بهینه‌سازی مصرف انرژی و یا کاهش هزینه‌ها به صورت کمی می‌تواند مورد ارزیابی قرار گیرد و طبیعتاً هر چه مقدار بیشتری باشد مطلوب‌تر است. در مورد میزان راحتی و آسایش نیز می‌توان ارزیابی را با استفاده از نظرسنجی از افراد مختلف انجام داد و با استفاده از کارهای آماری به یک معیار عملکرد مطلوب دست پیدا کرد.

۲-۱-۲-۶ حمل و نقل هوشمند

شناسایی اهداف حمل و نقل هوشمند^۱ (ITS)، گام مهمی در جهت شناسایی سرویس‌های ITS مناسب برای هر شهر یا منطقه محسوب می‌شود. اهداف ITS باید مطابق با برنامه ITS دولت‌ها تعیین شوند. اهداف به عنوان نقطه شروع انتخاب و سفارشی‌سازی سرویس‌های مورد نیاز در معماری ITS منطقه‌ای محسوب می‌شوند. در مرجع [۱]، جابجایی هوشمند (راحتی و کارایی)، ایمنی، کاهش گازهای گلخانه‌ای و مسیریابی هوشمند چهار گروه اصلی اهداف در ITS محسوب می‌شوند که این اهداف باید به صورت مشخص بیان شوند و معیار اندازه‌گیری عملکردی هم برای آن‌ها تعریف شود. به عنوان مثال، جدول ۶-۱ تعدادی از اهداف و معیارهای اندازه‌گیری عملکرد را برای بخش جابجایی هوشمند (راحتی و کارایی) بیان می‌کند.

جدول ۶-۱ نمونه‌ای از اهداف و معیارهای مرتبط برای بخش جابجایی هوشمند (راحتی و کارایی) در

سیستم‌های حمل و نقل هوشمند

اهداف	معیارهای اندازه‌گیری عملکرد
بهبود (کوتاه کردن) زمان سفر حمل و نقل عمومی.	- میانگین زمان هر سفر به دقیقه
کنترل و مدیریت میزان پر بودن اتوبوس‌ها برای جلوگیری از ازدحام جمعیت	- تعداد متوسط مسافرانی که نمی‌توانند در وسایل نقلیه حمل و نقل عمومی با مسیر ثابت بنشینند - تعداد متوسط مسافرانی که نمی‌توانند سوار وسایل نقلیه حمل و نقل عمومی با مسیر ثابت شوند
احساس رضایت مسافران از تجربه سفر خود	- درصد مسافرانی که در نظرسنجی از تجربه سفر خود "راضی" (در مقابل "ناراضی") هستند

۳-۱-۲-۶ خودرو برقی

y

¹Dynamic Regression

¹Transfer Funct

شناسایی اهداف خودروهای برق^۱ (EV)، گام مهمی در جهت شناسایی سرویس‌های مورد نیاز و ضروری این حوزه محسوب می‌شود. دلایل فنی و اقتصادی بسیاری در توجیه‌پذیری استفاده از خودروهای برقی وجود دارد. این دلایل شامل چهار حوزه اصلی آلاینده‌گی، مصرف انرژی، فناوری و اقتصادی است. 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 برق و کاهش سهم حمل‌ونقل در میزان آلودگی هوا، شدت مصرف انرژی و هزینه‌های مصرف سوخت فسیلی از مهم‌ترین اهداف توسعه فناوری EV ها محسوب می‌شوند که این اهداف باید به‌صورت مشخص بیان شوند و معیار اندازه‌گیری عملکردی هم برای آن‌ها تعریف شود^[۲]. اهداف به‌عنوان نقطه شروع انتخاب و سفارشی‌سازی سرویس‌های موردنیاز در معماری EV ها محسوب می‌شوند. ارائه راه‌حلی جامع در خصوص توسعه زیرساخت یکپارچه شارژ خودروهای برقی و مدیریت هوشمند آن‌ها مهم‌ترین هدف در طراحی مدل مفهومی EV ها به شمار می‌آید.

۴-۱-۲-۶ انرژی‌های تجدیدپذیر

شناسایی اهداف انرژی‌های تجدیدپذیر از گام‌های اولیه و مهم در توسعه سیستم‌های مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر است. اهداف توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر بایستی با اسناد بالادستی و برنامه‌های کلان دولت و با در نظر گرفتن فناوری‌های موجود تنظیم شوند. در سند راهبرد ملی انرژی کشور که در^[۳] قابل دسترسی است در خصوص افزایش استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر بسیار توصیه شده است. لازم به ذکر است که فناوری‌های متعددی در توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر نقش دارند که بسیاری از آن‌ها جزو فناوری‌های پیشرفته محسوب می‌گردند که ممکن است در راستای پیاده‌سازی این سیستم‌ها در کشور در دسترس نباشند. با توجه به اینکه در حال حاضر بیشتر انرژی تولیدی از سوخت‌های فسیلی است که باعث ایجاد آلودگی بسیار می‌باشد و درعین حال این سوخت‌ها در حال اتمام می‌باشد دولت‌ها برنامه‌ها و اهداف مختلفی برای جایگزینی استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به جای سوخت‌های فسیلی دارند.

۵-۱-۲-۶ بازار برق

شناسایی اهداف بازار برق به‌منظور توسعه و گسترش سیستم‌های انرژی محور امری حیاتی است. بازار برق یک بازار نسبتاً بزرگ و پیچیده محسوب می‌گردد که بسیاری از پارامترهای آن به‌واسطه پیچیدگی این بازار به‌راحتی قابل تخمین نیست. ثبات قیمت انرژی می‌تواند به‌عنوان یک هدف اصلی در بازار برق شناسایی شود. گرچه اهداف دیگر مانند کاهش استفاده از برق با منشاء سوخت‌های فسیلی و افزایش استفاده از منابع تجدیدپذیر در مدیریت بازار برق و حتی قیمت‌گذاری‌ها موثر هستند^[۴]. ولی این امر به‌راحتی محقق نخواهد شد. درواقع به‌واسطه اضافه شدن انرژی‌های تجدیدپذیر به سیستم انرژی که از طریق منابع با خواص متغیر استخراج می‌شوند هزینه نهایی و به‌دست‌آمده برای تولید انرژی دچار تغییرات زیادی می‌گردد که زمان و میزان این تغییرات ممکن است تابع شرایط پیچیده‌ای مانند شرایط آب و هوایی باشد. بعلاوه در شرایط آتی سیستم‌های انرژی که مصرف‌کنندگان خود می‌توانند مانند تولیدکنندگان در سیستم به فروش انرژی خود بپردازند ارائه و مدیریت زیرساخت‌هایی جهت سازمان‌دهی بازار برق که دیگر تبدیل به یک بازار بسیار بزرگ شده است جزو ضروریات یک جامعه خواهد بود. لازم به ذکر است که هم‌اکنون در قالب بازارهای انرژی و با تبادل انرژی به‌صورت نظیر به نظیر زیرساخت‌های فنی برای چنین بازاری در حال گسترش است و در این خصوص رمز ارزهایی نیز ارائه شده

ion

^۱Wavvlet

^۱Multi

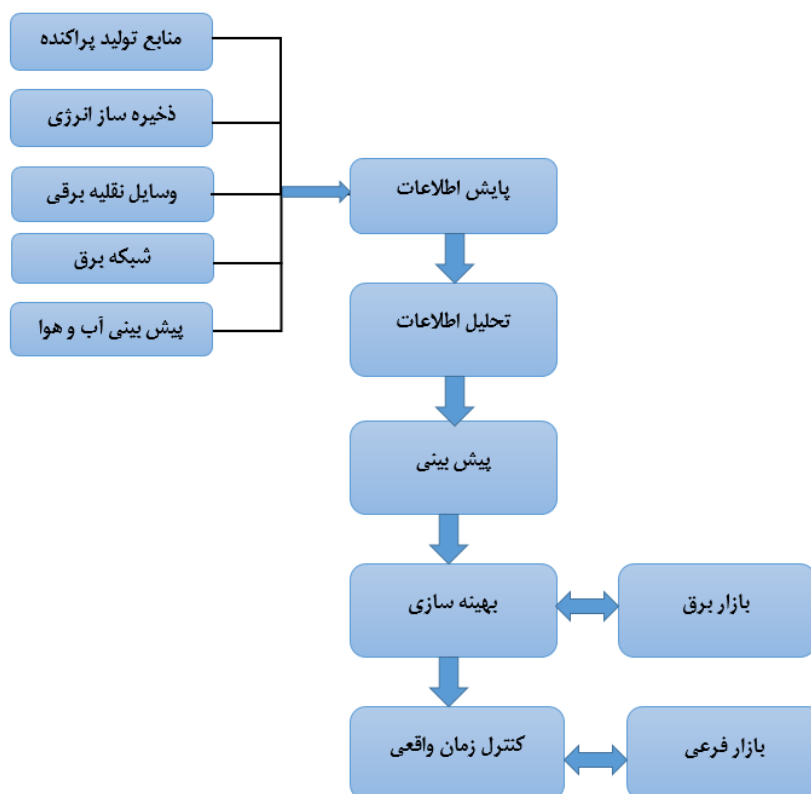
است. آنچه در آینده بازار برق برای یک حکومت ممکن است مشکلاتی ایجاد کند حفظ شرایط حاکمیتی است چراکه بازار به سمتی پیش می‌رود که امکان کنترل انحصاری از طریق حکومت برای آن امکان‌پذیر نباشد.

۶-۱-۲ ذخیره‌ساز انرژی

به‌طور کلی ذخیره انرژی برق تولید شده توسط نیروگاه‌های سوختی کار دشواری است زیرا حجم تولید بالاست و انرژی برق به‌صورت مستمر تولید می‌شود، اما در مورد منابع تجدیدپذیر این میزان به‌مراتب کمتر است و به شرایط محیطی و آب و هوایی نیز بستگی دارد. به‌این‌ترتیب ذخیره این انرژی برای رسیدن به یک مقدار قابل قبول و سپس استفاده از آن توجیه دارد. ذخیره‌کننده‌ها برای ذخیره کردن منابع تجدیدپذیر در خانه هوشمند یا نیروگاه‌های تولید پراکنده مورد استفاده قرار می‌گیرند تا بتوانند در مواقعی که بار شبکه بالاست و میزان تعرفه آن زیاد است، بخشی از تقاضای برق خانه هوشمند یا شبکه برق را تأمین نمایند. به‌این‌ترتیب در مصرف سوخت‌های فسیلی صرفه‌جویی شده و به کاهش آلودگی محیط‌زیست نیز کمک می‌شود. همچنین در ریز شبکه‌ها با استفاده از ذخیره‌کننده انرژی می‌توان شرایطی ایجاد کرد که ریز شبکه بدون اتصال به شبکه بتواند برق مورد نیاز خود را تأمین نماید.

۶-۱-۲ ریز شبکه

با توجه به اهمیت بحث انرژی در شهرهای هوشمند تضمین پایداری انرژی و در دسترس بودن آن یکی از مهم‌ترین اهداف این حوزه می‌باشد. ورود عناصر مختلفی به سیستم قدرت از جمله انرژی‌های تجدیدپذیر، سیستم‌های ذخیره‌ساز انرژی و... در کنار مزایای متعدد، باعث ایجاد چالش‌های مختلفی در سیستم توزیع انرژی شده است. در حالت کلی، ورود این اجزا سیستم توزیع را پیچیده‌تر می‌نماید و این امر باعث می‌شود بهره‌گیری از اجزای جدید در سیستم دشوارتر گردد. یکی از راه‌حل‌های پیشنهادی در این رابطه، ساده‌سازی سیستم با استفاده از ریز شبکه‌ها می‌باشد. باید توجه داشت که اهداف حاصله از ریز شبکه نباید با اهداف دیگر شهر هوشمند در تناقض باشد به‌عنوان نمونه یکی از اهداف شهرهای هوشمند بحث کاهش آلودگی هوا می‌باشد بنابراین به‌منظور تولید بیشتر و ارزان‌تر انرژی در ریز شبکه‌ها نباید باعث افزایش آلودگی هوا شد. یکی از نکات مهم در ریز شبکه‌ها کنترل هم‌زمان بر روی عناصر مختلف ریز شبکه می‌باشد و نیاز است مرکز کنترلی در ریز شبکه باشد و با تمام عناصر آن در ارتباط و تعامل باشد و داده‌های مختلف را از بخش‌های مختلف آن دریافت کند و با استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی بهترین عملکرد را به دست آورد و فرامین کنترلی را به قسمت‌های مختلف ارسال کند؛ بنابراین لازم است عناصر مختلف این حوزه از استانداردهای مشخص پیروی کنند تا بتوانند تعامل مفید با مرکز کنترل داشته باشند. یکی دیگر از ویژگی‌های ریز شبکه‌ها اتصال به شبکه اصلی می‌باشد تا در مواقعی که ریز شبکه کمبود انرژی دارد برق مورد نیاز را از شبکه اصلی دریافت کند و در مواقعی که انرژی مازاد دارد آن را به شبکه بفروشد؛ بنابراین نیاز به اتصال دوطرفه از نظر الکتریکی و اطلاعاتی می‌باشد تا تصمیم‌گیری‌های لازم گرفته شود. از چالش‌های دیگر در حوزه ریز شبکه شرایط عبور از حالت اتصال به شبکه و قطع شدن از شبکه است که باعث نوسان در فرکانس و ولتاژ می‌شود. سیستم کنترل ریز شبکه باید بتواند موارد ذکر شده در بالا را بر آورده سازد که این وظایف در شکل ۶-۳ آورده شده است. مرکز کنترل ریز شبکه می‌بایست بهترین عملکرد را با توجه به در نظر گرفتن قید ها و امکانات داشته باشد.



شکل ۶-۳ وظایف مرکز کنترل ریزشبکه

۸-۱-۲-۶ نتیجه گیری

تأمین انرژی امروزه یکی از مشکلات اساسی کشورها و شهرهای هوشمند می باشد. استفاده از سوخت های فسیلی از یکسو به دلیل انتشار گازهای آلاینده و سمی مانند دی اکسید کربن در اتمسفر، جهان را با تغییرات تهدیدآمیز مواجه ساخته است و از سوی دیگر محدود بودن و تجدید ناپذیر بودن این سوخت ها باعث گردیده است تا توجه بیشتری به مدیریت مصرف انرژی شود. از جمله مسائل مهم که در توسعه شهرهای هوشمند مورد توجه قرار می گیرد اصلاح و استفاده بهینه از منابع انرژی می باشد. با توجه به اینکه مصرف بی رویه انرژی های فسیلی منجر به اتمام این منابع خواهد شد و همچنین این روش تولید انرژی از مهم ترین منابع تولید آلودگی در شهرها می باشد به همین دلیل یکی از مهم ترین اهداف در توسعه شهرهای هوشمند کاهش وابستگی به این نوع از انرژی است که این امر با بهبود روش های بهره برداری از منابع انرژی و استفاده از منابع انرژی تجدید پذیر امکان پذیر می باشد؛ بنابراین از جمله اهداف مدیریت هوشمند انرژی می توان به افزایش رفاه، ایمنی و امنیت شهروندان، کاهش آلودگی هوا و دستیابی به انرژی پایدار و ارزان را نام برد.

۶-۲-۲-۶ شناسایی ذینفعان و تشکیل کارگروه ذینفعان انرژی هوشمند

۱-۲-۲-۶ خانه هوشمند

برای ارائه طراحی مفهومی از خانه هوشمند می بایست ذینفعان آن را مشخص کرده و کارگروهی از افراد باتجربه و خبره از آن ها تشکیل داد تا بر روی اهداف، معیارهای اندازه گیری آن ها و مسائلی که برای آن ها حائز اهمیت است نظارت داشته باشند. از آنجایی که یکی از اهداف خانه هوشمند فراهم نمودن راحتی و آسایش بیشتر است می توان یک دسته از ذینفعان

را عموم مردم که در خانه‌های مسکونی زندگی می‌کنند و یا در ساختمان‌های اداری و تجاری مشغول به کار هستند ذکر نمود. از طرفی خانه هوشمند می‌تواند مجهز به منابع تولید پراکنده باشد و در تعامل با شبکه برق بتواند به شبکه برق هوشمند، برق تزریق نماید یا در مدیریت مصرف و همچنین پاسخ به تقاضای نقش نماید که در این صورت شبکه برق شامل وزارت نیرو، شرکت‌های تولید، توزیع و انتقال و شرکت‌های تولیدکننده تجهیزات الکتریکی خانه هوشمند و همچنین مصرف‌کنندگان شامل ذینفعان خواهند بود.

۶-۲-۲-۲ حمل‌ونقل هوشمند

یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های یک سیستم ITS موفقیت، جلب مشارکت افراد خبره‌ای است که در حوزه‌ها و خدمات مختلف حمل‌ونقل عمومی اشراف کامل دارند. در این صورت علاوه بر تأیید اهداف، نیازمندی‌های مطرح شده توسط این افراد در طراحی مفهومی گنجانده می‌شود و در صورت پیاده‌سازی، سیستم نیازمندی‌های و اهداف از پیش تعیین شده را مرتفع می‌سازد؛ بنابراین، می‌بایست کارگروهی متشکل از نمایندگان ذینفعان نهادهای اصلی که خدمات اداره و نگهداری حمل‌ونقل عمومی را ارائه می‌کنند، ایجاد گردد. سازمان حمل‌ونقل عمومی، شهرداری، پلیس راهنمایی و رانندگی ناجا و راهور، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی تعدادی از این ذینفعان هستند. نمایندگان ذینفع باید به صورت مداوم طراحی مفهومی بررسی کنند تا مطمئن شوند سیستم طراحی شده براساس مدل مفهومی، نیازمندی‌های تمامی ذینفعان را برآورده می‌کند.

۶-۲-۲-۳ خودرو برقی

یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های یک خودروی برقی موفق، جلب مشارکت و نظر افراد خبره و کاربرانی (رانندگان و سرنشینان) است که در حوزه‌ها و خدمات مختلف خودروهای برقی اشراف کامل دارند. در این صورت علاوه بر تأیید اهداف از پیش تعیین شده، نیازمندی‌های مطرح شده توسط این افراد در طراحی مفهومی گنجانده می‌شود و در صورت پیاده‌سازی، سیستم نیازمندی‌ها و اهداف را مرتفع می‌سازد؛ بنابراین، می‌بایست کارگروهی متشکل از نمایندگان ذینفعان نهادهای اصلی که خدمات مدیریت، اداره و نگهداری زیرساخت لازم برای خودروهای برقی به خصوص ایستگاه‌های شارژ و همچنین تأمین و تبادل انرژی بین خودرو برقی و شبکه قدرت را ارائه می‌کنند، ایجاد گردد. سازمان حمل‌ونقل عمومی، شهرداری، پلیس راهنمایی و رانندگی ناجا و راهور، تولیدکنندگان خودروهای برقی و توانیر تعدادی از این ذینفعان هستند. نمایندگان ذینفع باید به صورت مداوم طراحی مفهومی را بررسی کنند تا مطمئن شوند سیستم طراحی شده بر اساس مدل مفهومی، نیازمندی‌های تمامی ذینفعان را برآورده می‌کند.

۶-۲-۲-۴ انرژی تجدید پذیر

در یک سیستم تجدید پذیر با توجه به گوناگونی در جنس منابع می‌توان ذینفعان جدیدی در سیستم شناسایی نمود. به صورت کلی در چنین سیستم‌هایی مصرف‌کنندگان با تولید/مصرف‌کنندگان جایگزین می‌گردند و در جزو ذینفعان اصلی سیستم قلمداد می‌گردند. بازیگران دیگری همچون تولیدکنندگان، عوامل توزیع و حتی عوامل دخیل در بازار انرژی هم می‌توانند جزو ذینفعان محسوب گردند. درواقع افزایش و کاهش قیمت انرژی در بازار برق می‌تواند در تصمیم سازی‌های مربوط به مدیریت سیستم‌های انرژی تجدید پذیر نقش داشته باشد. از سوی دیگر حتی تولیدکنندگان توزیع‌کنندگان سوخت‌های فسیلی و دیگر اشکال انرژی هم می‌توانند به عنوان ذینفعان سیستم نقش داشته باشند. با توجه به نوع انرژی استفاده از سامانه‌های انرژی تجدید پذیر که می‌تواند از منابعی همچون آب، هوا و یا خورشید باشد می‌توان گروه‌هایی به جهت مدیریت چنین انرژی‌هایی تشکیل داد. لازم به ذکر است که در حوزه انرژی‌های تجدید پذیر

ممکن است ذینفعان از نظر جغرافیایی بسیار دور باشند و ایجاد تشکلهای مجازی می‌تواند در راستای حل مشکلات این حوزه بسیار سودمند باشد.

۵-۲-۲-۶ بازار برق

طیف ذینفعان و گروه ذینفعان در بازار برق در حال گسترش و تغییر است. بازارهای برق می‌توانند به اشکال مختلفی مدیریت شوند. درواقع بازارهایی که توسط حکومت و نهادهای نظارتی مدیریت می‌شوند می‌توانند ساختار جاری خود را حفظ کنند و تنها به واسطه اضافه شدن سیستم‌های تجدید پذیر و تولید پراکنده به وسعت آن‌ها افزوده می‌شود. از سوی دیگر با اضافه شدن مصرف‌کنندگان به بازار برق به عنوان تولیدکننده ممکن است بازارهای خصوصی و حتی نیمه خصوصی نیز به وجود آید که ذینفعان آن‌ها ممکن است از عامل‌های حکومتی نباشند. فارغ از پذیرش بازارهای کوچک توسط بازار بزرگ برق که توسط حکومت اداره می‌شود در چنین شرایطی ممکن است باعث ایجاد تشکل و اصنافی شود که تاکنون وجود نداشته‌اند و هدف آن‌ها حفظ بازارهای خصوصی و نیمه خصوصی است. در مجموع ذینفعان فعلی و آتی بازار برق را می‌توان در قالب شرکت‌های تولید، توزیع و انتقال دسته بندی کرد که با ذینفعان بازار خرده فروشی ترکیب خواهند شد. لازم به ذکر است که هر تولید/ مصرف کننده‌ای در شبکه امکان اضافه شدن به مجموعه ذکر شده را خواهد داشت.

۴-۲-۲-۶ ذخیره ساز انرژی

در صورتی که ذخیره کننده برای منابع تجدیدپذیر در خانه هوشمند مورد استفاده قرار گیرد ذینفع اصلی صاحب خانه هوشمند است و در درجه دوم شبکه برق و وزارت نیرو می‌توانند از ذینفعان باشند، اما در صورتی که ذخیره کننده برای یک نیروگاه بادی یا خورشیدی استفاده شود یا برای مجموعه‌ای از خانه‌های هوشمند در ریزشبکه مورد استفاده قرار گیرد ذینفع اصلی وزارت نیرو و شبکه برق می‌باشد. همچنین ذخیره کننده می‌تواند به خودروهای برقی انرژی دهد و بنابراین شهروندان و شهرداری نیز می‌توانند از دیگر ذینفعان آن محسوب شوند.

۴-۲-۲-۷ ریزشبکه

به منظور ارائه طراحی مفهومی کامل و موفق از پروژه می‌بایست کارگروهی از افراد باتجربه و خبره و نمایندگانی از بخش‌های مختلف آن حوزه تشکیل شود تا بر روی اهداف، معیارهای اندازه گیری پروژه و مسائلی که برای روند انجام پروژه مهم است، نظارت داشته باشند. در حوزه ریز شبکه با توجه به اینکه شامل تمام زیر بخش‌های انرژی مانند خانه هوشمند، خودروهای برقی، انرژی‌های تجدید پذیر و ... می‌باشد ذینفعان آن حوزه‌ها مانند، شرکت‌های تولید و توزیع برق و شرکت‌های خصوصی کوچک و بزرگ فعال در حوزه انرژی، تولیدکنندگان لوازم خانگی جز ذینفعان هستند. با توجه به اینکه یکی از ویژگی‌های ریزشبکه اتصال به شبکه و جدا شدن از آن می‌باشد و در حالتی که از شبکه جدا می‌باشد می‌بایست مدیریت بخش‌های مختلف داخل ریزشبکه توسط خود آن کنترل شود، شرکت‌هایی در زمینه کنترل ریز شبکه‌ها جز نیازهای ضروری این حوزه می‌باشد که در حال حاضر در کشور چندان فعال نیستند و می‌بایست کارگروهی از افراد خبره در این زمینه تشکیل شود.

۸-۲-۲-۶ نتیجه گیری

یکی از مهم ترین نیازهای شکل گیری مدیریت هوشمند انرژی الکتریکی تشکیل کارگروه‌هایی از افراد خبره و نمایندگانی از ذینفعان در این حوزه می‌باشد. هدف این کارگروه‌ها تأیید اهداف و نیازمندی‌های از پیش تعریف شده و گنجاندن آن‌ها

در طراحی مفهومی مدیریت هوشمند انرژی می‌باشد. با توجه به گستردگی ذینفعان حوزه انرژی تقریباً تمامی بخش‌های شهر هوشمند درگیر مبحث انرژی می‌باشند که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

تولیدکننده لوازم خانگی، تولیدکننده تجهیزات الکتریکی، مصرف‌کنندگان انرژی، تولیدکنندگان انرژی کلان و خرد، سازمان حمل‌ونقل عمومی، شهرداری، پلیس راهنمایی و رانندگی ناجا و راهور، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی، تولیدکنندگان خودرو.

۶-۲-۳ ارائه معماری اجزای انرژی هوشمند و خدمات مورد نیاز

۱-۳-۲-۶ خانه هوشمند

خانه هوشمند می‌تواند شامل اجزای بسیار زیادی باشد که مهم‌ترین آن‌ها عبارت است از:

- وسایل سرمایش و گرمایش هوشمند و درب و پنجره هوشمند و سنسور دما
- روشنایی و پرده هوشمند و سنسور نور
- وسایل آشپزخانه هوشمند نظیر یخچال و ماشین لباسشویی هوشمند
- سلول‌های خورشیدی، توربین‌های بادی کوچک و ذخیره‌کننده‌های انرژی
- شارژر اتومبیل برقی
- وسایل صوت و تصویری هوشمند شامل تلویزیون، پخش موسیقی
- وسایل امنیتی نظیر قفل درب هوشمند و دوربین‌های نظارتی
- وسایل سیستم ایمنی شامل سیستم اطفاء حریق و حسگرهای تشخیص دود
- وسایل مخابراتی و اینترنت
- کنترل هوشمند و سیستم‌های AMI

خدمات مورد نیاز در خانه هوشمند می‌تواند در چارچوب تعاملات و ارتباطاتی که بین اجزای مختلف آن وجود دارد، تعریف شود. این تعاملات را می‌توان به دو بخش درونی و بیرونی خانه هوشمند تقسیم نمود. معمولاً از بیرون، خانه هوشمند با شبکه برق و همچنین یک مرکز کنترلی که داده‌های جمع‌آوری شده از خانه‌های هوشمند و قسمت‌های مختلف شبکه برق را مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهد و متناسب با آن‌ها تصمیماتی را برای بهینه‌سازی عملکرد شبکه اتخاذ می‌کند در ارتباط است. همچنین از داخل نیز، اجزای مختلف درون خانه می‌توانند با سیستم کنترل مرکزی خانه و یا با یکدیگر در ارتباط باشند.

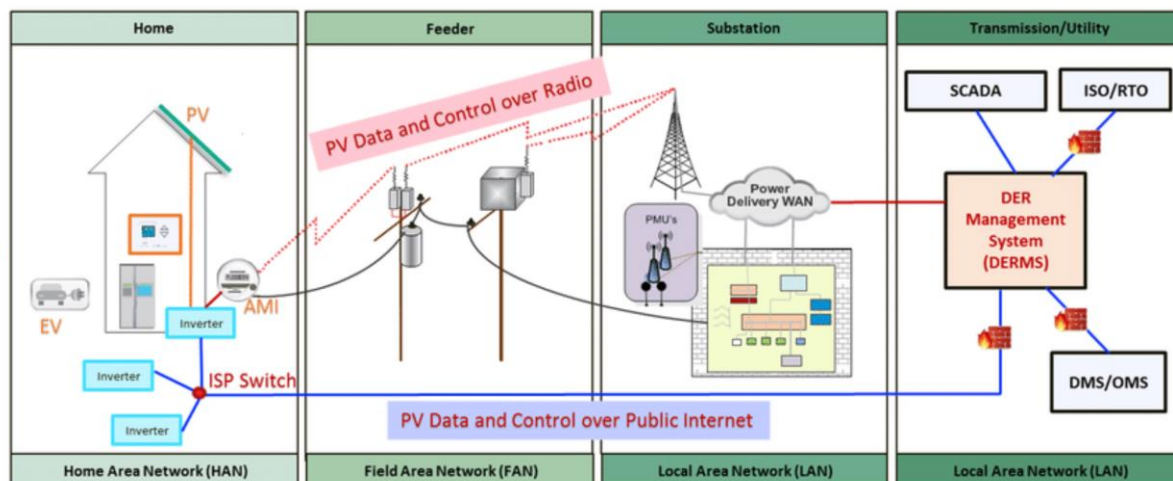
علاوه بر تقسیم‌بندی تعاملات و ارتباطات خانه هوشمند به دو بخش بیرونی و درونی که در بالا به آن اشاره شد، از منظر دیگری ارتباطات مخابراتی در خانه هوشمند به دو صورت سیمی و بی‌سیم می‌باشد. ارتباطات وسایل آشپزخانه، وسایل صوتی و تصویری، تهویه و سرمایش و گرمایش و روشنایی امروزه بیشتر به صورت بی‌سیم با درگاه کنترلی مرکزی در خانه ارتباط برقرار می‌کنند. فناوری‌های ارتباطی مختلفی از جمله ¹NFC، بلوتوث، وایفای، زیگیبی در این مورد استفاده می‌شود. از آنجایی که فناوری‌های بی‌سیم به راحتی قابل جابجایی و پیاده‌سازی هستند نسبت به فناوری‌های سیمی بیشتر

layer perceptrons

¹Support Vector

موردتوجه قرار گرفته‌اند. البته ارتباطات سیمی هم با فناوری‌هایی نظیر KNX در خانه‌های هوشمند هنوز مورد استفاده هستند.

در خانه هوشمند ارتباط سیمی برای انتقال شارژ از سلول‌های خورشیدی یا توربین بادی به ذخیره‌کننده‌ها و از ذخیره‌کننده و شبکه برق به شارژرها از جمله شارژر خودرو برقی نیاز است. همان‌طور که در شکل ۴-۶، ارتباطات بیرونی خانه هوشمند نشان داده شده است، یکی از ارتباطات خانه هوشمند با شبکه برق هوشمند می‌باشد که ارتباط سیمی برای انتقال برق از طریق شبکه توزیع برقرار می‌شود.



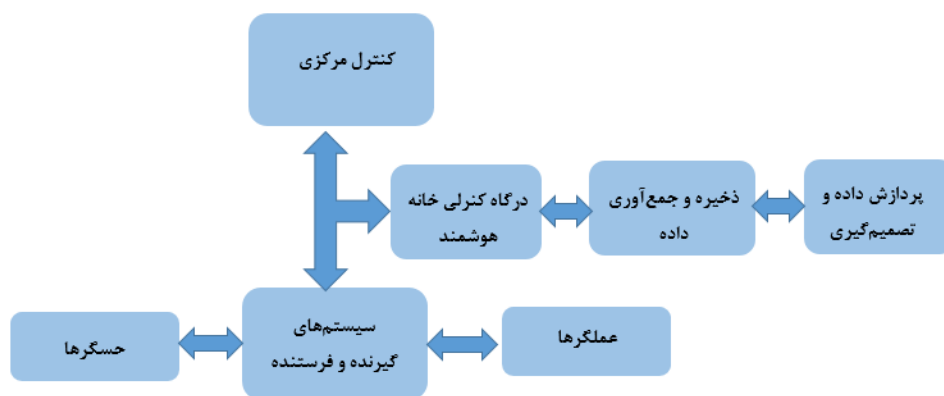
شکل ۴-۶ ارتباطات بیرونی خانه هوشمند [۵]

به‌منظور بهینه کردن پاسخ به تقاضا، مدیریت مصرف و کاهش هزینه‌ها می‌توان از مدل‌ها و الگوریتم‌های بهینه‌سازی استفاده نمود. به دلیل زیاد بودن تعداد پارامترها و همچنین دشوار بودن استخراج مدل‌ها و همچنین متغیر بودن و عدم قطعیت زیاد، روش‌های هوش مصنوعی می‌توانند با یادگیری رفتارهای مختلف روش‌های سریع و کارآمدی باشند. متغیرهای ورودی به قسمت پردازش از هر یک از اجزای خانه می‌تواند به‌صورت زیر در نظر گرفته شود:

- تهویه هوا و وسایل سرمایش و گرمایش: داده سنسور دما در اتاق‌ها و بخش‌های مختلف خانه در طول ساعات روزهای مختلف سال و همچنین میزان مصرف انرژی.
- روشنایی و پرده هوشمند و سنسور نور: داده سنسور نور در بخش‌های مختلف خانه در طول ساعات روزهای مختلف سال و همچنین میزان مصرف روشنایی.
- وسایل آشپزخانه هوشمند نظیر یخچال و ماشین لباسشویی هوشمند: زمان‌های استفاده در طول ساعات روزهای مختلف سال برای افراد مختلف و میزان مصرف انرژی.
- سلول‌های خورشیدی، توربین‌های بادی کوچک و ذخیره‌کننده‌های انرژی: سطح شارژ در ذخیره‌کننده‌ها در ساعات مختلف روزهای سال و همچنین وضعیت آب و هوایی.
- شارژ خودروهای برقی: میزان مصرف انرژی در ساعات روزهای مختلف سال
- میزان مصرف وسایل آشپزخانه، صوتی و تصویری، وسایل مخابراتی و کلیه وسایل برقی

همان‌طور که در شکل ۵-۶ نشان داده شده است، معماری خانه هوشمند را می‌توان متشکل از سه لایه مدیریتی در نظر گرفت. در لایه پایین حسگرها و عملگرها قرار دارند. این حسگرها شامل حسگرهای روشنایی، دمای اتاق‌ها و آب،

دی اکسید کربن، جهت نور خورشید و باد، سطح ولتاژ شارژ و مواردی از این دست می باشند. عملگرها نیز در طیف وسیعی از لوازم منزل مانند وسایل آشپزخانه، وسایل صوتی و تصویری، وسایل سرمایش و گرمایش، درب های منزل، دوربین های مدار بسته، وسایل آبیاری و غیره وجود دارند که معمولاً وظیفه روشن و خاموش کردن و تنظیم این وسایل را به عهده دارند. هر کدام از این وسایل دارای ادوات گیرنده و فرستنده هستند می توانند به صورت باسیم یا بدون سیم با استفاده از پروتکل های مخابراتی اطلاعات مربوط به حسگر یا نحوه عملکرد عملگر را به یک درگاه کنترلی در خانه هوشمند منتقل کنند. داده هایی که به درگاه کنترلی منتقل می شوند جمع آوری شده و ممکن است همه یا بخشی از آن ها ذخیره شوند تا مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند. این تجزیه و تحلیل می تواند توسط انواع روش های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین یا روش های بهینه سازی دیگر انجام گیرد و منشأ تصمیم گیری کنترلی مرکزی در مورد نحوه کار عملگرها باشد. این تصمیم ها از طریق وسایل مخابراتی به عملگرها منتقل می گردد. در سطح بالای مدیریتی داده های جمع آوری شده در درگاه خانه هوشمند برای یک مرکز کنترل در شهر هوشمند ارسال شده که تصمیمات لازم با در نظر گرفتن دیگر بخش های شهر هوشمند نظیر شبکه برق، سیستم های حمل و نقل، بازار برق و غیره اتخاذ شده و به درگاه کنترلی خانه هوشمند ابلاغ می گردد.



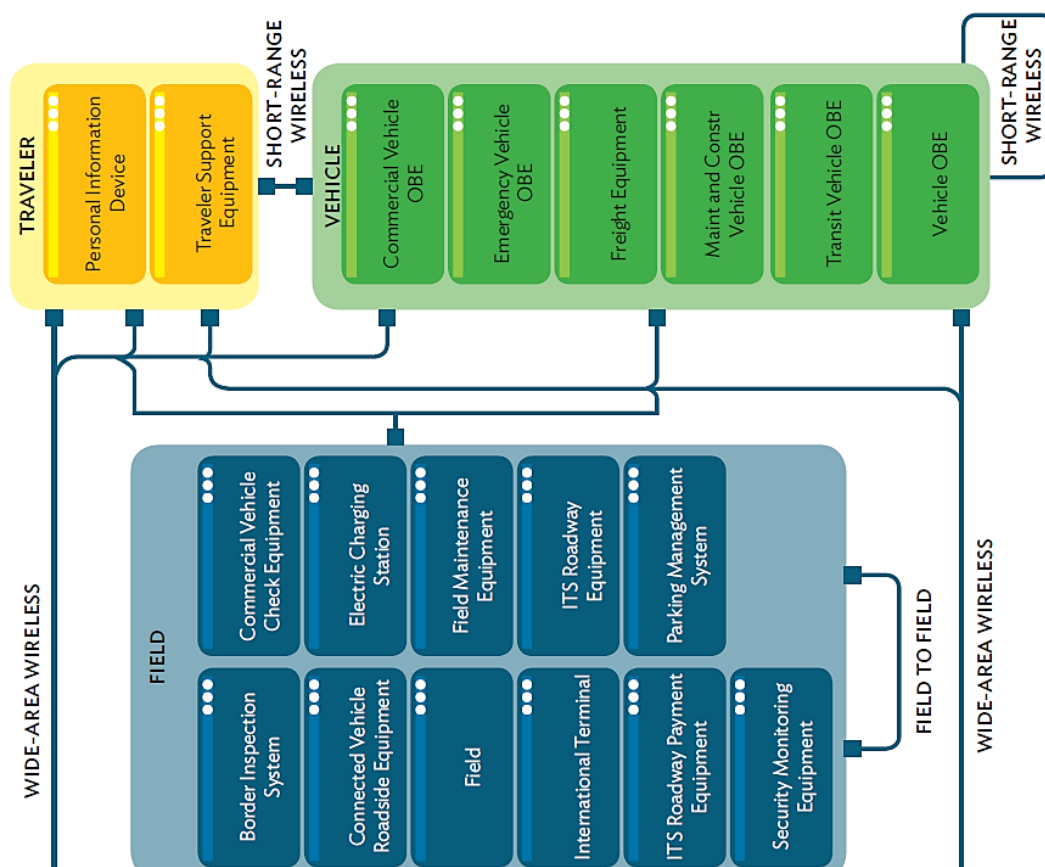
شکل ۶-۵ معماری عملکردی سیستم خانه هوشمند

۲-۳-۲ حمل و نقل هوشمند

معماری ITS در توسعه طراحی مفهومی نقش اساسی دارد. چارچوب معماری ITS، بر اساس زیرسیستم های ITS عمومی می باشد که در شکل ۶-۶ نشان داده شده است که شامل ۵ زیرسیستم به شرح زیر می باشد:

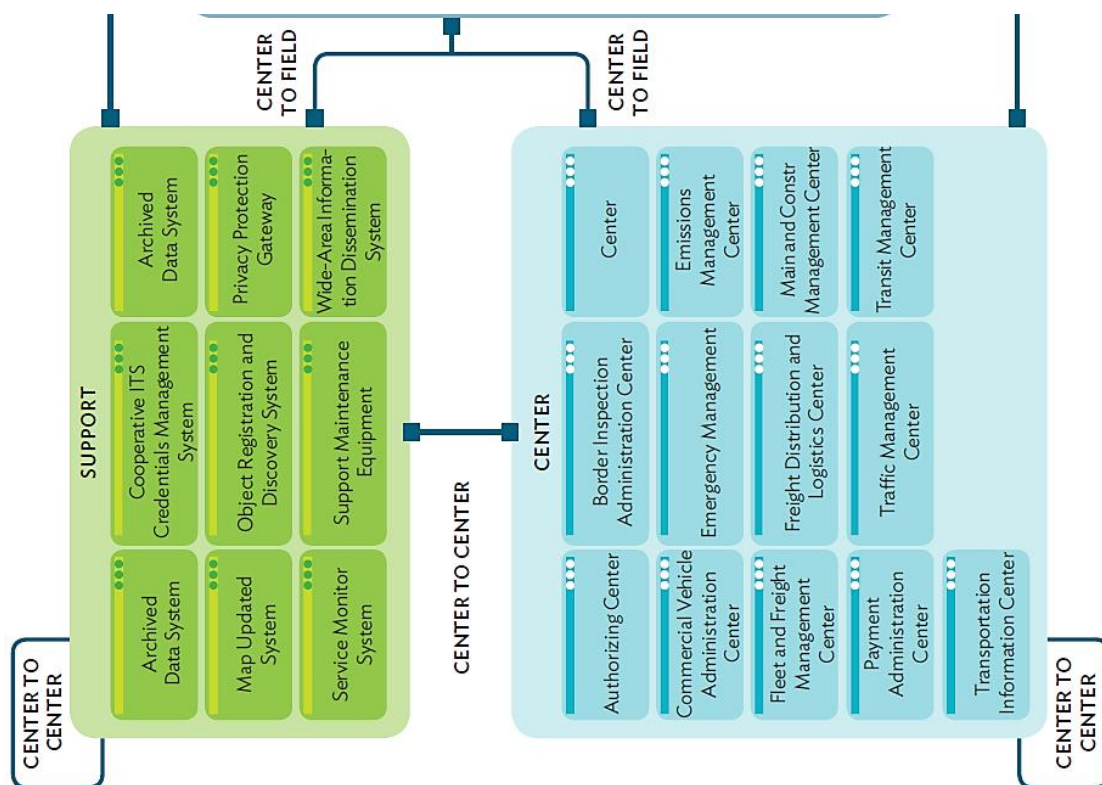
- (۱) زیرسیستم های مرکزی (که می توانند در هر جایی از سیستم قرار گیرند)
- (۲) زیرسیستم های میدانی (در جاده یا نزدیک جاده قرار می گیرند)
- (۳) زیرسیستم های خودرو (در داخل یا روی خودرو قرار می گیرند)
- (۴) زیرسیستم های سیار (تلفن همراه یک مسافر یا تجهیزات اطلاعات عمومی مانند کیوسک های اطلاعاتی را شامل می شوند)
- (۵) زیرسیستم های پشتیبانی (معمولاً در یک مرکز داده قرار داده می شوند، اما برای پشتیبانی از چندین عنصر مورد استفاده قرار می گیرند)

هر یک از زیرسیستم‌ها بسته به اینکه در کدام مجموعه خدماتی استفاده شوند، الزامات عملکردی متفاوتی برای آن‌ها در نظر گرفته می‌شود. یک زیرسیستم می‌تواند در مجموعه‌های خدماتی مختلف مورد استفاده قرار گیرد و بر اساس هر مجموعه خدمات، الزامات عملکردی متفاوتی داشته باشد. الزامات عملکردی زیرسیستم‌ها معمولاً در معماری ITS منطقه‌ای در نظر گرفته می‌شوند و به‌عنوان نقطه شروع نیازهای جزئی سیستم در طول طراحی جزئی^۱ ITS مورد استفاده قرار می‌گیرند.



Regressors

¹Radia



شکل ۶-۶ عناصر سیستم‌های هوشمند حمل‌ونقل عمومی در معماری چارچوب [۱]

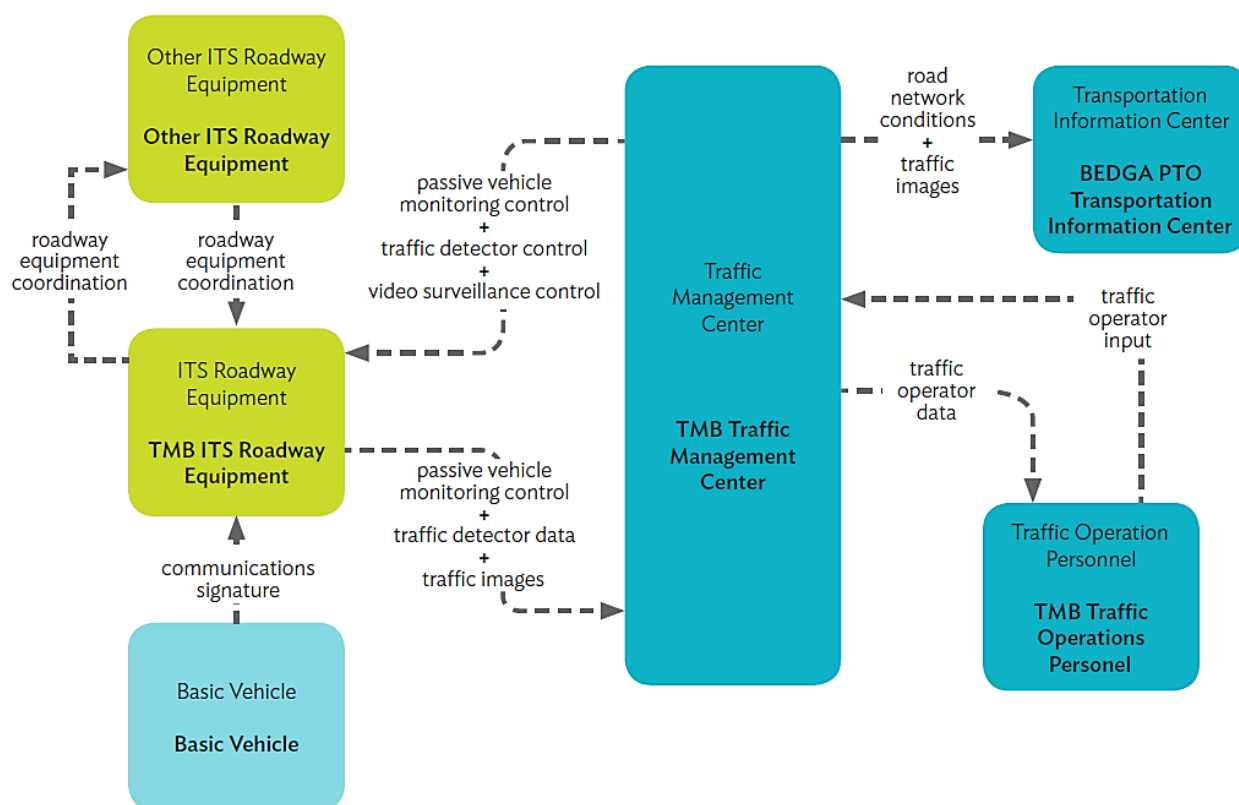
پس از توسعه و اعتبارسنجی اهداف مشخص شده توسط اعضای کارگروه ITS، مجموعه‌های خدماتی عمومی برای سفرسازی مدل مفهومی مشخص می‌شوند. مجموعه‌های خدماتی بیانگر بخشی از نمای فیزیکی است که خدمات خاصی مانند کنترل چراغ‌های راهنمایی و رانندگی را شامل می‌شود. یک مجموعه خدماتی، چندین شیء فیزیکی مختلف (سیستم‌ها و دستگاه‌ها) و عملکرد و جریان اطلاعاتی آن‌ها را شامل می‌شود که مجموعاً یک سرویس موردنظر مانند مدیریت فضای پارکینگ را ارائه می‌دهند. مجموعه خدمات عمومی را می‌توان در قابل حوزه‌های مختلف خدمات ITS مانند مدیریت داده، تعمیر و نگهداری، مدیریت پارکینگ، ایمنی عمومی، حمل‌ونقل عمومی، مدیریت ترافیک، اطلاعات مسافران و ... دسته‌بندی کرد. به‌عنوان نمونه، جدول ۶-۲ مجموعه خدمات عمومی در حوزه مدیریت ترافیک را بیان می‌کند.

جدول ۶-۲ مجموعه خدمات عمومی در حوزه مدیریت ترافیک

حوزه خدمات ITS	مجموعه خدمات عمومی
مدیریت ترافیک	- نظارت بر ترافیک مبتنی بر زیرساخت - نظارت بر ترافیک مبتنی بر خودروهای متصل - کنترل چراغ راهنمایی و رانندگی - کنترل سیگنال ترافیک خودروهای متصل - اندازه‌گیری ترافیک - انتشار اطلاعات ترافیک - سیستم مدیریت حوادث ترافیکی - پشتیبان تصمیم‌گیری و مدیریت تقاضا یکپارچه

- نظارت جامع بر ترافیک
- هشداردهنده سرعت جاده

شکل ۶-۷ مجموعه خدمات موردنیاز برای سیستم نظارت بر ترافیک مبتنی بر زیرساخت را به همراه جریان اطلاعاتی بین عناصر مختلف آن نشان می‌دهد.



شکل ۶-۷ مجموعه خدمات موردنیاز برای سیستم نظارت بر ترافیک مبتنی بر زیرساخت [۱]

۳-۲-۶ خودرو برقی

معماری خودروهای برقی در توسعه طراحی مفهومی نقش اساسی دارد. زیرسیستم‌های اصلی که چارچوب معماری خودروهای برقی بر روی آن‌ها بنا شده است، در شکل ۶-۸ نشان داده شده است که در ادامه به اختصار توضیح داده شده‌اند.

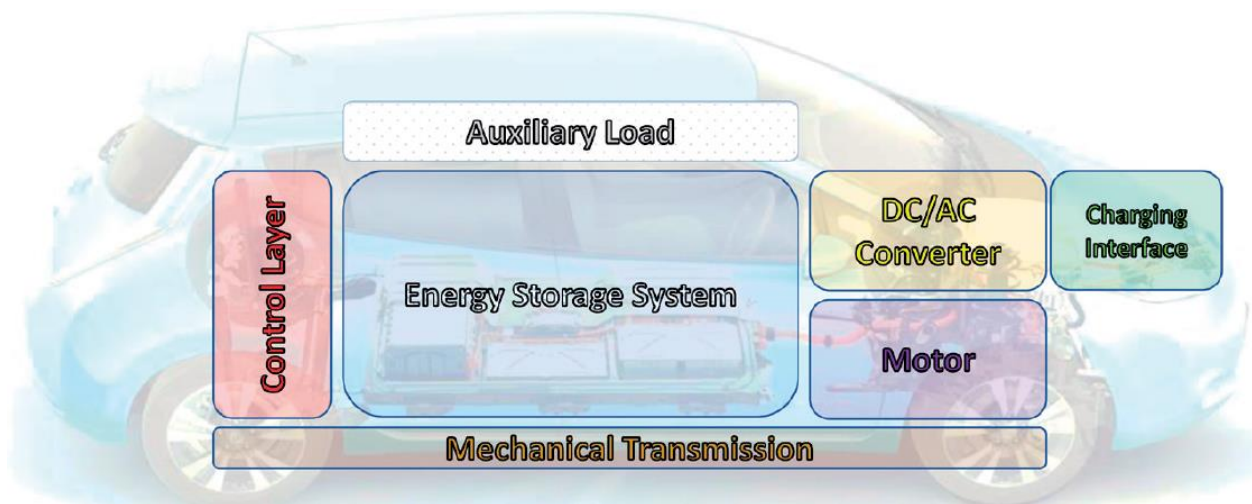
- ۱- سیستم ذخیره انرژی (ESS^1): این زیرسیستم شامل باتری و سیستم مدیریتی آن سیستم مدیریت باتری (BMS^2) است که برای جمع‌آوری و تأمین انرژی طراحی شده است.
- ۲- مبدل DC/AC: این زیرسیستم رابط بین ذخیره ساز و موتور الکتریکی است. این مبدل نه تنها وظیفه انتقال انرژی از ذخیره‌ساز به موتور را دارد بلکه از توابع کنترلی هم برای انجام این وظیفه استفاده می‌کند.

¹ Basis Function

¹Support

^t Vector Machines

²Ant Colon



شکل ۶-۸ زیرسیستم‌های اصلی معماری خودروهای برقی [۶]

۳- موتور: موتور الکتریکی که می‌تواند در صورت استفاده از ترمز احیاگر^۱ به عنوان یک ژنراتور و بازتولید کننده انرژی نیز کار کند، وظیفه تبدیل انرژی الکتریکی حاصل از ESS به انرژی مکانیکی به منظور تأمین نیروی مکانیکی جهت حرکت خودرو را برعهده دارد.

۴- رابط شارژ: رابط شارژ برای خودروهای برق ضروری است، زیرا امکان شارژ onboard را فراهم می‌کند. رابط شارژ بسته به نوع شارژ انواع مختلفی را شامل می‌شود.

۵- لایه کنترل: این زیرسیستم به منظور نظارت و جمع‌آوری داده‌ها برای پردازش اطلاعات رانندگی و تبدیل آن‌ها به منابع اطلاعاتی زیر سیستم‌های فوق‌الذکر اختصاص یافته است.

۶- بار کمکی: بارهای کمکی نمایانگر کلیه تجهیزاتی است که به منبع تغذیه نیاز دارند. منبع تغذیه بار کمکی از گذرگاه DC از طریق مبدل DC/DC با ترانسفورماتور الکترونیکی حاصل می‌شود.

۷- انتقال مکانیکی: انتقال مکانیکی یک خودروی برقی (همانند خودروهای معمولی) وظیفه تبدیل انرژی حاصل از موتور الکتریکی به انرژی مکانیکی جنبشی و توزیع مستقیم آن بر روی چرخ‌های خودرو را دارد.

هر یک از زیرسیستم‌ها بسته به اینکه در کدام مجموعه خدماتی استفاده شوند، الزامات عملکردی متفاوتی برای آن‌ها در نظر گرفته می‌شود. یک زیرسیستم می‌تواند در مجموعه‌های خدماتی مختلف مورد استفاده قرار گیرد و بر اساس هر مجموعه خدمات، الزامات عملکردی متفاوتی داشته باشد. الزامات عملکردی زیرسیستم‌ها معمولاً در معماری خودروی برقی در نظر گرفته می‌شوند و به عنوان نقطه شروع نیازهای جزئی سیستم در طول طراحی جزئی^۲ خودروی برقی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۴-۳-۲-۶ انرژی تجدید پذیر

y Optimization

^۱ Deep L

earning

^۲Deep beli

با توجه به تنوع منابع در سیستم‌های انرژی تجدید پذیر به‌منظور ارائه یک معماری مفهومی کلان از این سیستم‌ها باید بخش‌هایی که به انواع متنوع منابع تخصیص داده شده‌اند مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرند. مولفه‌های زیر از جمله بااهمیت‌ترین بخش‌ها در یک سیستم تجدید پذیر محسوب می‌گردند:

- ۶) زیرسیستم‌های مربوط به انرژی خورشیدی
- ۷) زیرسیستم‌های مربوط به انرژی بادی
- ۸) زیرسیستم‌های مربوط به انرژی‌های آبی
- ۹) زیرسیستم‌های مربوط به انرژی‌های گرمایشی

ازنقطه‌نظر معماری عملکردی یک سیستم تجدیدپذیر می‌توان به موارد ارائه شده در شکل ۶-۹ اشاره داشت. منابع مختلف مانند آب، باد، خورشید و زمین گرمایی به‌عنوان ورودی‌های منبع انرژی در یک سیستم تجدید پذیر شناخته می‌شوند. در سطح بعدی شرایط منابع و تولید در آن‌ها مورد پایش و ارزیابی قرار می‌گیرد. از آنجاکه تولید در این منابع از شرایط مشخصی پیروی نمی‌کند اطلاعات استخراج‌شده توسط الگوریتم‌های یادگیری ماشین مورد بررسی قرار می‌گیرد تا تخمین‌هایی به جهت شرایط تولید به دست آید. این تخمین‌ها برای مدیریت تولید و ایجاد یک جریان قابل قبول در سیستم مورد نیاز است. الگوریتم‌های هوشمند نه تنها در تخمین تولید بلکه در بهینه‌سازی فرآیندهای مدیریتی مورد استفاده قرار خواهند گرفت. با توجه به ذات متغیر تولید در انرژی‌های تجدید پذیر و احتمال بالا در بروز خطا در این سیستم‌ها واحدهایی به جهت مدیریت خطا و کنترل خروجی‌ها که از مهم‌ترین آن‌ها جریان برق است در سیستم مورد نیاز خواهد بود.

معماری عملکردی



شکل ۶-۹ معماری یک سیستم تجدید پذیر از نقطه نظر عملکردی

با توجه به افزایش ابعاد سیستم انرژی به واسطه اضافه شدن افراد جدید و همچنین سیستم‌هایی نظیر سیستم‌های انرژی تجدید پذیر مجموعه خدمات بازار برق بایستی طیف وسیعی از کاربردها و کاربرها را تحت پوشش خود قرار دهد؛ بنابراین معماری بازار انرژی در سال‌های آتی یک بخش مهم در توسعه این بازار است که به سیستم‌های مقیاس پذیر و بزرگ اشاره دارد. ممکن است معماری در این حوزه مبتنی بر نیازهای بازار طراحی گردد که نگرشی پایین به بالا به سیستم است و یا مبتنی بر ساختارهای مشخص که توسط اسناد بالادستی ارائه شده‌اند شکل گیرد که نگرشی بالا به پایین است. به نظر می‌رسد ترکیبی از این دو نگرش در شکل‌دهی بازار برق نقش خواهند داشت. آنچه مسلم است گسترش همه‌جانبه بازار برق است و نداشتن معماری مناسب در این حوزه و یا سیاست‌هایی جهت شکل‌دهی به بازار باعث ایجاد ساختارهای نامطلوب خواهد شد.

از نقطه نظر معماری عملکردی یک بازار برق می‌توان به موارد ارائه شده در شکل ۶-۱۰ اشاره داشت. بورس انرژی در ایران دارای چهار بازار فیزیکی، مشتقه، فرعی و سایر اوراق بهادار قابل معامله می‌باشد. بازار فیزیکی شامل سه تابلوی برق، نفت و گاز و تابلوی سایر حامل‌های انرژی، بازار مشتقه شامل سه تابلوی قرارداد سلف موازی استاندارد، قرارداد آتی و قرارداد اختیار معامله و بازار سایر اوراق بهادار قابل معامله شامل گواهی سرمایه‌گذاری صندوق‌های سرمایه‌گذاری قابل معامله و اوراق گواهی ظرفیت می‌باشد. در لایه‌های بالاتر اطلاعات این بازارها پایش می‌شود که می‌تواند در دو دسته اطلاعات بازار و اطلاعات تولید دسته‌بندی شود. بعد از جمع‌آوری داده‌ها امکان استفاده از روال‌های یادگیری ماشین به جهت تخمین قیمت فراهم می‌گردد. از سوی دیگر می‌توان روال‌هایی به جهت مدیریت بازار ارائه نمود. این روال‌ها امکان ارائه رفتارهای تطبیقی را با بهره‌گیری از الگوریتم‌های هوش مصنوعی خواهند داشت.

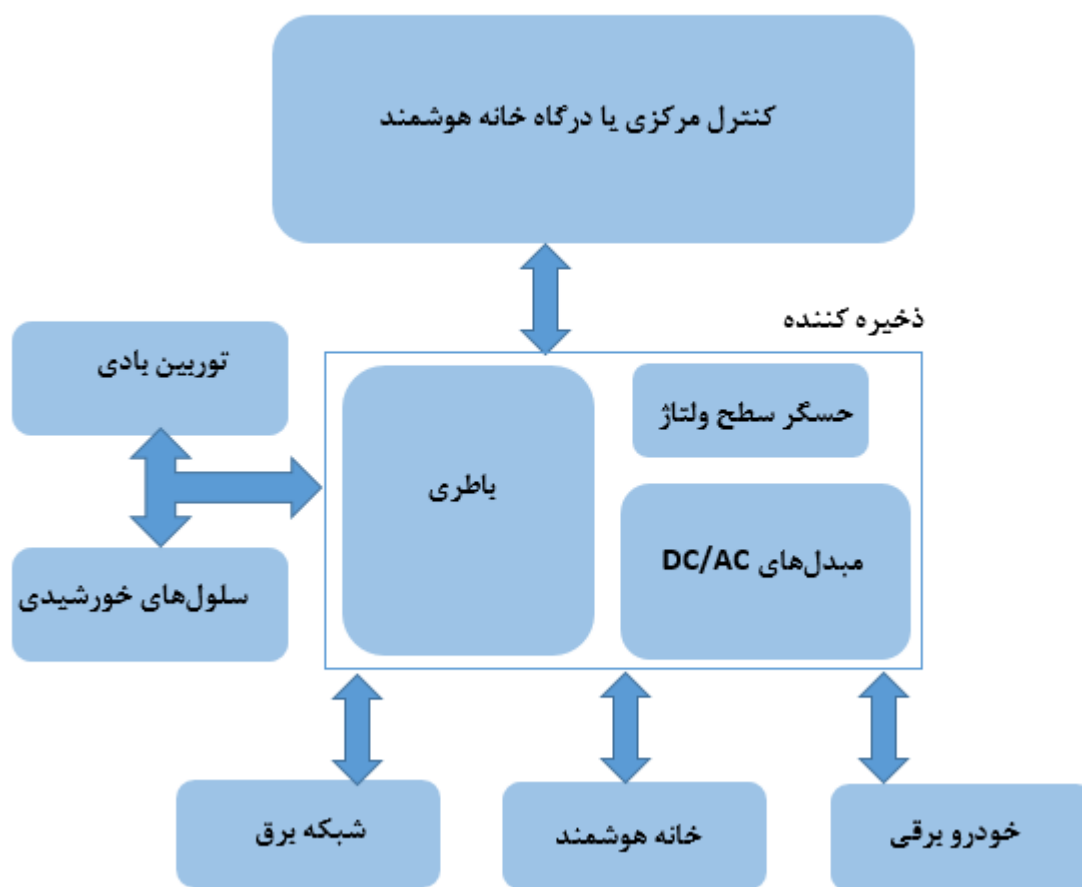


شکل ۶-۱۰ معماری بازار برق از نقطه نظر عملکردی

۶-۳-۲-۶ ذخیره ساز انرژی

همانطور که در شکل ۶-۱۱ نشان داده شده است معماری ذخیره کننده الکتریکی از بخش‌های مختلفی تشکیل می‌گردد. ذخیره کننده شامل یک باتری است که انرژی تولید شده از سلول‌های خورشیدی یا توربین بادی را در خود ذخیره می‌کند و یک حسگر ولتاژ نیز سطح ولتاژ را در باتری می‌خواند و به کنترل مرکزی اعلام می‌کند. انرژی ذخیره شده در باتری

توسط مبدل‌های برق مستقیم به متناوب می‌تواند برای فروش به شبکه برق یا برای شارژ خودرو برقی یا برای مصرف خانه هوشمند مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۶-۱۱ معماری عملکردی سیستم ذخیره‌کننده انرژی

۶-۳-۲-۷ ریزشبکه

هر یک از زیرسیستم‌ها بسته به ساختار و جایگاه آن در ریزشبکه، الزامات عملکردی متفاوتی برای آن‌ها در نظر گرفته می‌شود. یک زیرسیستم می‌تواند در بخش‌های مختلف ریزشبکه درگیر باشد و بر اساس هر مجموعه خدمات، الزامات عملکردی متفاوتی داشته باشد. سیستم کنترل ریزشبکه دارای بخش‌های مختلف نظارت، پایگاه داده، پیش‌بینی و کنترل می‌باشد. بخش نظارت که شامل نظارت بر مصرف انرژی، نظارت بر تولید انرژی بخش‌های مختلف و نظارت بر وضعیت شارژ ذخیره‌سازهای انرژی است بخش پایگاه داده شامل سنسورها و مراکز جمع‌آوری داده‌های آن‌ها می‌باشد. بخش پیش‌بینی نیز شامل پیش‌بینی تولید، پیش‌بینی مصرف ریز شبکه است. بخش کنترل بهترین طرح‌های کاری برای تجهیزات با اهدافی از قبیل تأمین انرژی مطمئن، بیشترین بازدهی، گسترش طول عمر تجهیزات، کاهش هزینه‌های عملیاتی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای را با استفاده از روش‌های هوش مصنوعی ارائه می‌دهد. در شکل ۶-۱۲ معماری عملکردی سیستم مدیریت انرژی برای یک سیستم ریزشبکه نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود مراحل اکتساب و ثبت داده‌ها در دسته اولین وظایف قرار دارند، سپس مراحل کنترل و نظارتی قرار دارند و در انتها و بالاترین سطح، وظیفه پخش بار بهینه قرار خواهد گرفت.

معماری عملکردی



شکل ۶-۱۲ معماری عملکردی سیستم مدیریت انرژی برای سیستم ریز شبکه

۸-۳-۲-۶ نتیجه گیری

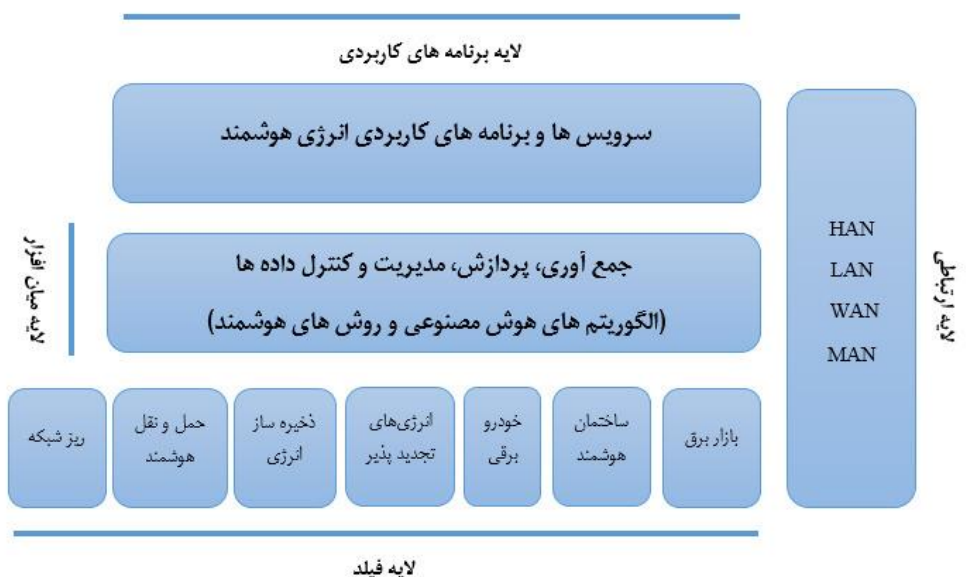
با توجه به موارد اشاره شده در بالا معماری مدیریت هوشمند انرژی دارای ساختاری ۴ لایه‌ای به صورت شکل ۶-۱۳ خواهد بود که در لایه پایینی، لایه فیلد^۱ زیرسیستم‌های انرژی هوشمند خواهند بود که هر یک معماری مختص به خود را خواهد داشت. داده‌های جمع‌آوری شده در زیرسیستم‌های مختلف از طریق لایه ارتباطی به لایه میان‌افزار^۲ منتقل می‌شود. در لایه میان‌افزار بعد از جمع‌آوری اطلاعات و دسته‌بندی و یکپارچه‌سازی آن‌ها با استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی تجزیه و تحلیل شده و بر اساس پردازش انجام شده فرامین هوشمند کنترلی به تجهیزات موجود در لایه فیلد ارسال می‌شود و همچنین دانش به دست آمده از این لایه به منظور مدیریت و کنترل به لایه سرویس‌ها و خدمات ارسال

ef Network

^۱Lo

ng-Short Term Memo

می‌شود و در لایه سرویس‌ها و خدمات برنامه‌های کاربردی از طریق واسط‌های کاربری و نمودارها، دانش را به‌منظور مدیریت هوشمند انرژی در اختیار کاربران قرار می‌دهد.



شکل ۶-۱۳ ساختار معماری مدیریت هوشمند انرژی

۴-۲-۶ اختصاص پروژه‌هایی به خدمات مورد نیاز

بعد از توسعه مجموعه خدمات مورد نیاز برای تأمین اهداف مشخص‌شده، به‌منظور طراحی و پیاده‌سازی، هر مجموعه خدمات باید به یک پروژه مدیریت هوشمند انرژی واقعی اختصاص یابد. بررسی و تأیید اینکه همه اهداف توسط مجموعه خدمات در نظر گرفته‌شده برآورده می‌شوند، یکی دیگر از گام‌های مهم در این مرحله محسوب می‌شود، به‌طوری‌که:

- i. هر هدف باید حداقل توسط یک مجموعه خدمات یا ترکیبی از آن‌ها تأمین شود؛
- ii. هر مجموعه خدمات باید حداقل یک هدف را تأمین کند (مجموعه خدماتی که در تأمین هیچ هدفی سهم نیست باید حذف شود)

این تأیید از طریق ایجاد یک ماتریس ردیابی که سطرهای آن مربوط به مجموعه خدمات و ستون‌های آن مربوط به اهداف مشخص‌شده است، انجام می‌گیرد. اگر مجموعه خدمات هدفی را تأمین کند، عدد یک در سلول محل تلاقی مجموعه خدمات و هدف مورد نظر قرار می‌گیرد. تمامی اهداف باید تأمین شوند یا مجموعه خدمات جدیدی طراحی و پیاده‌سازی شود.

۵-۲-۶ تأیید توسط کارگروه ذینفعان مدیریت هوشمند انرژی

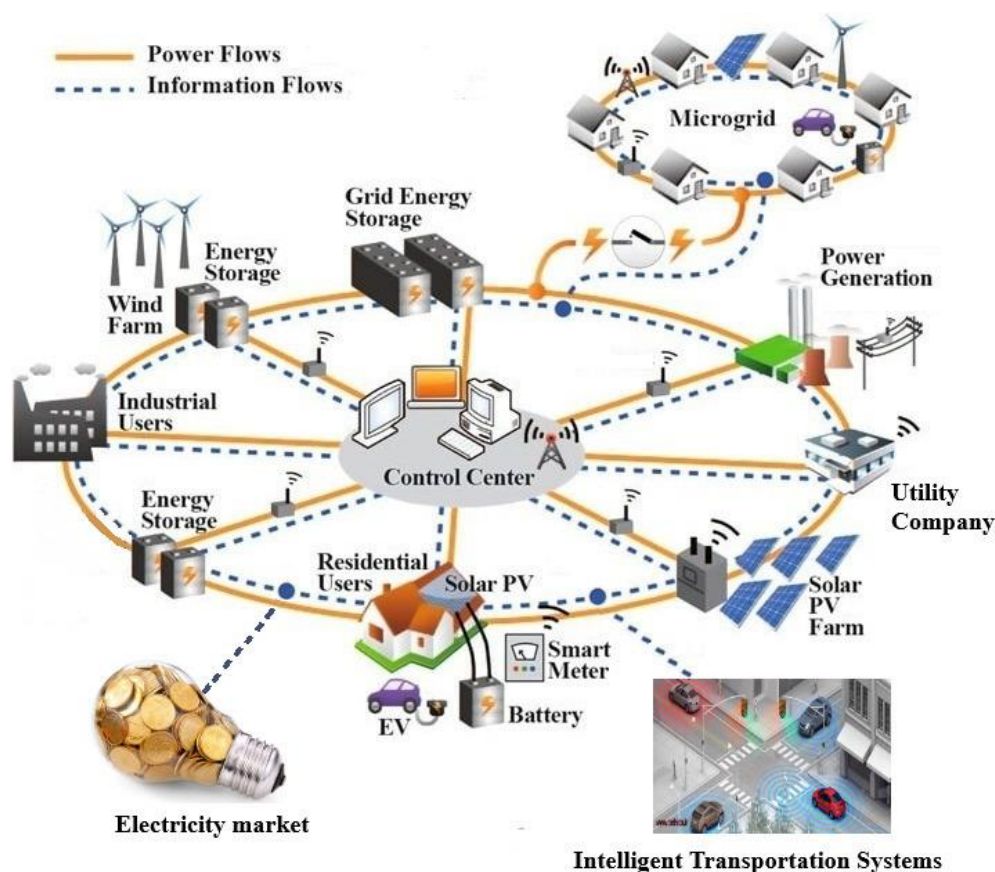
پس از تهیه پیش‌نویس اولیه کامل مجموعه خدمات، اعضای کارگروه‌ها در سلسله جلسات جداگانه‌ای هر یک از مجموعه خدمات را در حوزه خدمات مدیریت هوشمند انرژی مورد بررسی قرار می‌دهند. امکان تغییر در مجموعه خدمات براساس نیازمندی‌ها، اهداف، معیارهای اندازه‌گیری عملکرد در این مرحله و براساس تصمیم کارگروه‌های مختلف وجود دارد.

۶-۲-۶ انتشار طراحی مفهومی انرژی هوشمند

از آنجاکه طراحی مفهومی مدیریت هوشمند انرژی دارای اطلاعات بسیار زیادی است که توسط توسعه‌دهندگان گزارش مطالعه امکان‌سنجی مدیریت هوشمند انرژی که شامل الزامات طراحی جزئی برای پروژه‌های مدیریت هوشمند انرژی، انتخاب فناوری‌ها و تهیه مشخصات جزئی و دقیق است، مورد استفاده قرار می‌گیرد، توصیه می‌شود طراحی مفهومی مدیریت هوشمند انرژی منتشر شده و در اختیار دیگران هم قرار گیرد.

۶-۳-۳ تعاملات مدیریت هوشمند انرژی

در ادامه به بررسی تعاملات اطلاعاتی و الکتریکی بین بخش‌های مختلف انرژی هوشمند پرداخته می‌شود. اطلاعات هر حوزه برای عملکرد بهتر نیاز به اطلاعات حوزه‌های دیگر دارد ولی نیاز است که اطلاعات حوزه‌های مختلف به یک مرکز کنترل ارسال شود و در آنجا مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد و با استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی بهترین سناریو استخراج شود و فرامین کنترلی به حوزه‌های مختلف ارسال شود. در شکل ۶-۱۴ ساختار کلی از تبادلات اطلاعاتی و الکتریکی بین بخش‌های مختلف نشان داده شده است و در ادامه به بررسی تعاملات حوزه‌های مختلف انرژی هوشمند پرداخته شده است.



شکل ۶-۱۴ ساختار کلی تبادلات اطلاعاتی و الکتریکی بین زیرسیستم‌های مختلف انرژی هوشمند

۶-۳-۱ خانه هوشمند

تعاملات خانه هوشمند با دیگر اجزای شبکه را می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

- شبکه حمل و نقل و خودرو برقی: شبکه حمل و نقل آینده شامل خودروهای برقی است که می‌تواند در پارکینگ خانه هوشمند یا در مکان‌هایی که برای شارژ در شهر هوشمند قرار داده می‌شود، شارژ شوند. برق تولید شده در خانه هوشمند می‌تواند توسط بازار برق تعیین قیمت شده و در اختیار مکان‌های شارژ قرار گیرد. از آنجایی که با افزایش تعداد این خودروها برق مورد نیاز آن‌ها نیز افزایش پیدا می‌کند، منابع تجدیدپذیر در خانه‌های هوشمند می‌توانند در پاسخ به تقاضا و کاهش بار تحمیلی به شبکه برق مؤثر باشند.
- منابع تجدیدپذیر: منابع تجدیدپذیر به صورت سلول‌های خورشیدی، توربین بادی و غیره هستند که معمولاً هر خانه هوشمند به یک یا چندین منبع تجدیدپذیر مجهز است. البته این منابع می‌توانند به صورت مجزا و به صورت نیروگاه‌های تجدیدپذیر از طریق شبکه انتقال و توزیع نیز به شبکه برق و خانه‌های هوشمند متصل شوند.
- بازار برق: از آنجایی که خانه هوشمند می‌تواند به صورت تولیدکننده برق عمل کند، با توجه به شرایط شبکه این برق تولیدی می‌تواند تعیین قیمت شده و در اختیار مشتریان از جمله خود شبکه برق، دیگر خانه‌های هوشمند، خودروهای برقی در شبکه حمل و نقل قرار گیرد. مکانیسم تعیین قیمت و خرید و فروش برق می‌تواند در بازار برق انجام گیرد.
- ذخیره‌کننده انرژی: ذخیره‌کننده‌های انرژی معمولاً باتری‌هایی هستند که انرژی الکتریکی که از انرژی خورشیدی یا بادی و غیره به دست آمده را در خود ذخیره می‌کنند تا در مواردی که انرژی شبکه کمتر در دسترس باشد یا قیمت آن بالا باشد مورد استفاده قرار گیرد. ذخیره‌کننده انرژی نیز می‌تواند به صورت اختصاصی برای هر خانه هوشمند در نظر گرفته شود یا برای مجموعه‌ای از آن‌ها در ریزشبکه اختصاص داده شود.
- شبکه سراسری برق: شبکه برق با استفاده از خطوط انتقال و توزیع وظیفه انتقال انرژی از نیروگاه‌های برق به خانه هوشمند و همچنین از خانه هوشمند به دیگر مصرف‌کنندگان را به عهده دارد. به این ترتیب شبکه برق به عنوان یک واحد کلی‌تر با استفاده از سنسورها و کنتورها هوشمندی که در سرتاسر شبکه وجود دارد، داده‌های شبکه را جمع‌آوری کرده و با استفاده از مرکز کنترل به تجزیه و تحلیل آن‌ها می‌پردازد.
- کنترل‌کننده مرکزی داخل خانه هوشمند: در این قسمت می‌توان از مدل‌ها و الگوریتم‌های بهینه‌سازی برای بهینه کردن پاسخ به تقاضا، مدیریت مصرف و کاهش هزینه‌ها استفاده نمود. به دلیل زیاد بودن تعداد پارامترها و همچنین دشوار بودن استخراج مدل‌ها و همچنین متغیر بودن و عدم قطعیت زیاد، روش‌های هوش مصنوعی می‌توانند با یادگیری رفتارهای مختلف، روش‌های سریع و کارآمدی باشند. متغیرهای ورودی به قسمت پردازش از هر یک از اجزای خانه می‌تواند به صورت زیر در نظر گرفته شود:
 - تهویه هوا و وسایل سرمایش و گرمایش: داده سنسور دما در اتاق‌ها و بخش‌های مختلف خانه در طول ساعات روزهای مختلف سال برای افراد مختلف و همچنین میزان مصرف انرژی
 - روشنایی و پرده هوشمند و سنسور نور: داده سنسور نور در بخش‌های مختلف خانه در طول ساعات روزهای مختلف سال برای افراد مختلف و همچنین میزان مصرف روشنایی
 - وسایل آشپزخانه هوشمند نظیر یخچال و ماشین لباسشویی هوشمند: زمان‌های استفاده در طول ساعات روزهای مختلف سال برای افراد مختلف و میزان مصرف انرژی
 - سلول‌های خورشیدی، توربین‌های بادی کوچک و ذخیره‌کننده‌های انرژی: سطح شارژ در ذخیره‌شده در ساعات مختلف روزهای سال و همچنین وضعیت آب و هوایی

○ شارژ خودروهای برقی: میزان مصرف انرژی در ساعات روزهای مختلف سال

۶-۳-۲ حمل و نقل هوشمند و خودرو برقی

خودرو برقی و حمل و نقل هوشمند با سیستم‌های متعددی در تعامل هستند که برخی از آن‌ها در ادامه مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

- شبکه سراسری برق: زمان شارژ خودروهای برقی معمولاً بین ۵ تا ۸ ساعت متغیر است و لزومی ندارد این زمان به صورت پیوسته باشد؛ بنابراین، خودروی برقی یک نوع بار منقطع محسوب می‌شود و می‌تواند از مصادیق پاسخگویی به تقاضا محسوب شود؛ بنابراین این خودروها در زمان شارژ به عنوان یک بار مصرفی متصل به شبکه در نظر گرفته می‌شوند که در صورت عدم مدیریت صحیح می‌تواند منجر به اضافه بار بر روی شبکه و ایجاد مشکلات متعددی شود. خودروهای برقی می‌توانند در زمان‌های کم‌باری مانند شب‌ها در فاز شارژ شدن قرار گیرند و تجمیع آن‌ها به اصلاح منحنی بار کمک کند. در طی روز و در زمانی که خودروها پارک شده‌اند، تجمیع آن‌ها به عنوان یک منبع می‌تواند در بازار تنظیم مشارکت کند و برای کاهش پیک مورد استفاده قرار گیرد. به علاوه خودروهای برقی می‌توانند در بازار تنظیم فرکانس نیز مشارکت کرده و از طریق شارژ و دشارژ، توان الکتریکی متناسب با فرامین دریافتی از بهره‌بردار شبکه تحت قالب سیگنال AGC¹، به حفظ فرکانس شبکه در محدوده مجاز خود کمک کنند.
- بازار برق: خودرو برقی می‌تواند در ساعات کم‌باری که قیمت برق ارزان است، برق را در باتری خود ذخیره کرده و در ساعات پرباری که قیمت برق بالا است، آن را به شبکه یا خانه هوشمند تحویل دهد.

۶-۳-۳ انرژی‌های تجدید پذیر

منابع انرژی تجدید پذیر با سیستم‌های متعددی در تعامل هستند. برخی تعاملات در ادامه توضیح داده شده‌اند.

- ذخیره‌سازهای انرژی: بین انرژی‌های تجدید پذیر و ابزارهای ذخیره‌سازی نیز تعاملات زیادی وجود دارد. با توجه به تغییرات قیمت در فرآیندهای تولید و توزیع انرژی‌های تجدید پذیر ابزارهای ذخیره‌ساز باید امکان تغییر استراتژی مصرف را داشته باشند بدین شکل که در زمان‌هایی که انرژی با قیمت بالاتر عرضه می‌شود از انرژی‌های ذخیره شده استفاده نماید و در زمان‌هایی که انرژی با قیمت پایین‌تر عرضه می‌شود آن‌ها ذخیره نماید. درواقع تعامل بین ابزارهای ذخیره‌ساز و ابزارهای تولید و توزیع انرژی‌های تجدید پذیر می‌تواند محل بحث و ارائه الگوریتم‌های هوشمند متعددی باشد که برای کنترل خاموشی و یا پیک مصرف کارساز خواهند بود.
- بازار برق: انرژی‌های تجدید پذیر دارای نوسانات بالا در بحث قیمت‌گذاری هستند و این امر کاملاً بستگی به شرایط محیطی مربوط به شرایط تولید دارد. فلذا قیمت‌گذاری این نوع از انرژی‌ها، پیش‌بینی قیمت آن‌ها و تصمیم به نحوه ذخیره‌سازی آن‌ها از تصمیمات سخت محسوب می‌گردد که بدون استفاده از الگوریتم‌های هوشمند امکان پذیر نخواهد بود.

۶-۳-۴ بازار برق

بازار برق با سیستم‌های متعددی در تعامل هستند که برخی از آن‌ها در ادامه مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

- خانه هوشمند: بازار برق تعاملات زیادی با خانه‌های هوشمند خواهد داشت. دلیل این امر تأثیر مستقیم اطلاعات مصرف برق شامل میزان مصرف و پیک مصرف بر قیمت برق است. از طرف دیگر بازار برق به واسطه اضافه شدن تولید/مصرف کنندگان خانگی دچار تغییرات زیادی خواهد شد زیرا تولید/مصرف کنندگان خانگی در آینده نزدیک افزایش خواهند یافت و تأثیر رفتار آن‌ها بر بازار برق انکارناپذیر خواهد بود.
- انرژی‌های تجدید پذیر: انرژی‌های تجدید پذیر نیز تأثیر زیادی بر بازار برق دارند که این تأثیر از چند جنبه قابل توجه است. با توجه به افزایش سهم این انرژی‌ها در بازار برق قطعاً در آینده نزدیک قیمت تمام‌شده این انرژی‌ها تأثیر زیادی بر قیمت گذاری انرژی خواهد داشت. از چالش‌های پیش روی این انرژی‌ها می‌توان به مدیریت و تحلیل پیچیده آن‌ها اشاره داشت زیرا تولید این انرژی‌ها به واسطه شرایط آب و هوایی بسیار متغیر است.
- حمل‌ونقل هوشمند: حمل‌ونقل هوشمند مبتنی بر خودروهای هوشمند و برقی ممکن است بر ابعاد متفاوتی از بازار برق تأثیرگذار باشد. این تأثیر با افزایش استفاده از وسایل نقلیه هوشمند دو چندان می‌گردد. وسایل نقلیه برقی می‌توانند به‌عنوان مصرف‌کننده نقش ایفا کنند که طبیعتاً با افزایش مصرف آن‌ها شبکه برق ممکن است با تغییر نرخ قیمتی مواجه شود. با نگاهی دیگر به موضوع خودروهای برقی می‌توان از خودروهای برقی به‌عنوان باطری متحرک نام برد که می‌توانند برای انتقال انرژی مورد استفاده قرار گیرند و از مناطقی که برق ارزان‌تر است برق را به مناطق دیگری منتقل کنند.

۵-۳-۶ ذخیره ساز انرژی

به‌طور کلی تعاملات ذخیره‌کننده انرژی با دیگر اجزای شبکه را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه نمود:

- خانه هوشمند: در صورتی که ذخیره‌کننده متعلق به خود خانه هوشمند باشد، استفاده از آن با درگاه کنترلی خانه هوشمند و همچنین مرکز کنترل شهر هوشمند، کنترل می‌شود. برق ذخیره شده که توسط یک خانه هوشمند، یک ریز شبکه یا نیروگاه تولید شده است از طریق خطوط انتقال و توزیع، به خانه‌های هوشمند مصرف‌کننده منتقل می‌گردد.
- حمل‌ونقل هوشمند: از آنجایی که برق مورد نیاز خودروهای برقی می‌تواند از طریق منابع تجدیدپذیر نیز تأمین شود، ذخیره‌کننده انرژی می‌تواند برای شارژ خودرو برقی در پارکینگ خانه هوشمند و یا محل‌هایی که برای شارژ از منابع تجدیدپذیر در نظر گرفته می‌شود، مورد استفاده قرار گیرد.
- منابع تجدیدپذیر: منابع تجدیدپذیر برای نگه‌داری برق تولید شده به ذخیره‌کننده نیاز دارند تا در مواقع مورد نیاز این برق را به خانه هوشمند، شبکه برق و یا خودروهای برقی منتقل نمایند. این منابع تجدیدپذیر می‌تواند متعلق به یک خانه هوشمند باشد که در این صورت ذخیره‌کننده نیز معمولاً در خانه قرار دارد و یا متعلق به نیروگاه یا مجموعه‌ای از خانه‌های هوشمند در یک ریز شبکه باشد که در این صورت ذخیره‌کننده نیز خارج از خانه قرار می‌گیرد.
- بازار برق: برای تعیین قیمت خرید و فروش انرژی که از منابع تجدیدپذیر تولید شده و در ذخیره‌کننده نگه‌داشته می‌شود، پلتفرمی به‌صورت بازار برق مورد نیاز است. به این ترتیب انرژی داخل ذخیره‌کننده می‌تواند برای شارژ خودرو، برای تأمین برق خانه هوشمند شخص دیگر و یا برای پاسخ به تقاضای شبکه خریداری شود.
- شبکه برق: یکی از وظایف شبکه برق پاسخ به تقاضاست. از آنجایی که منابع تجدیدپذیر می‌توانند در زمان اوج مصرف بخشی از نیاز شبکه را برآورده کنند، مدیریت ذخیره‌کننده‌های انرژی در نیروگاه‌های تولید

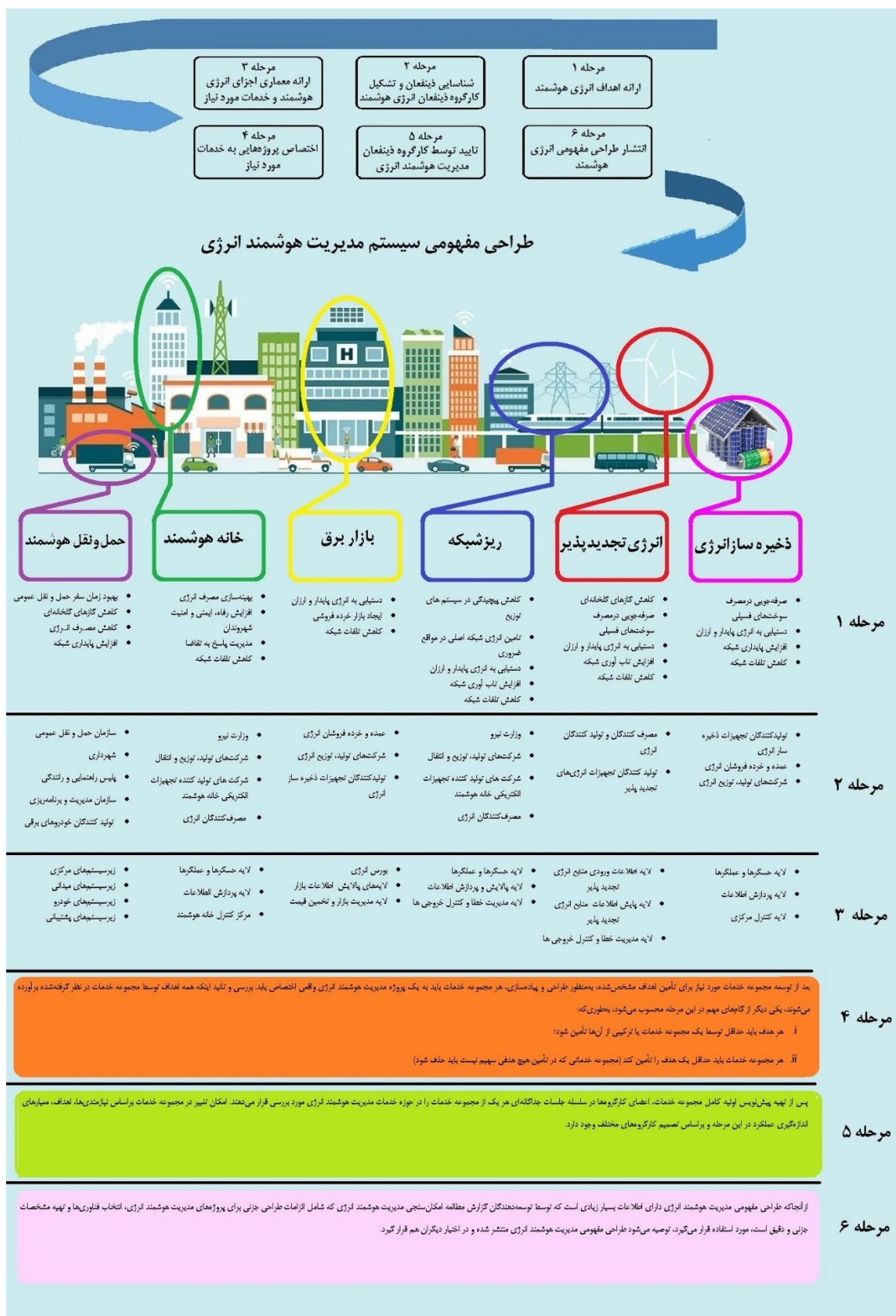
پراکنده یا ریزشبه‌ها از اهمیت بالایی برای عملکرد بهینه شبکه برخوردار است. به این ترتیب لازم است شبکه برق با ذخیره‌کننده در خانه هوشمند، ریزشبه یا نیروگاه تجدیدپذیر در ارتباط باشد.

۶-۳-۶ ریزشبه

- شبکه برق: ریزشبه‌ها می‌توانند به صورت مجزا از شبکه و یا متصل به شبکه باشند. ریز شبکه‌های مجزا از شبکه به هیچ نحو به شبکه‌ی سراسری متصل نمی‌باشند و امکان تبادل توان با شبکه را تحت هیچ شرایطی ندارند. به عبارت دیگر این ریزشبه‌ها دارای هیچ نقطه‌ی اتصال مشترکی نمی‌باشند. در سمت مقابل ریزشبه‌های متصل به شبکه، توانایی تبادل توان با شبکه سراسری را از طریق نقطه اتصال دارا می‌باشند. سیستم‌هایی چون تأمین انرژی پشتیبان و یا یک منزل با یک منبع تولید پراکنده نمی‌توانند تحت عنوان ریزشبه بررسی شوند چراکه در ریزشبه‌ها چندین سیستم تولید پراکنده به تولید انرژی پرداخته و بارهای مختلف در سیستم قابل کنترل می‌باشند. در صورت وجود منابع تولید پراکنده از انواع گوناگون (مانند خورشیدی، بادی و...) ریزشبه می‌تواند با بهره‌گیری از ویژگی‌های هر کدام از منابع فوق و جبران نقصان موجود در هر فن‌آوری توسط دیگری، سیستم را به نحو بهتری کنترل نماید؛ و در مواقع نیاز برق شبکه اصلی را نیز تا حدودی جبران کند.
- بازار برق: یکی از زیرسیستم‌های دیگر انرژی هوشمند که با ریز شبکه تعامل دارد بازار برق می‌باشد؛ زیرا مرکز کنترل ریز شبکه برای تصمیم‌گیری درست در مورد عملکرد بخش‌های مختلف خود نیاز به قیمت لحظه‌ای برق دارد تا براساس آن بهترین تصمیم‌گیری را انجام دهد و در حالت اتصال به شبکه با توجه به قیمت برق اقدام به خرید برق از شبکه و یا فروش برق به آن را می‌کند.

۶-۴ نتیجه‌گیری

با توجه به افزایش زندگی شهرنشینی در سال‌های آینده و مشکلات تأمین انرژی در شهرهای هوشمند نیاز به حرکت به سمت روش‌های هوشمند در مدیریت انرژی بیش از پیش احساس می‌شود و نیاز می‌باشد قبل از اینکه مساله انرژی در شهرهای آینده به یک چالش تبدیل شود از هم‌اکنون زیرساخت‌های آن مورد بررسی و پیاده‌سازی قرار گیرد. در این گزارش با توجه به چالش‌های پیاده‌سازی پروژه‌های پیچیده همچون سیستم مدیریت هوشمند انرژی به منظور جلوگیری از نقص‌ها و مشکلات تعاملی پرهزینه که می‌تواند در مراحل توسعه، بهره‌برداری و نگهداری سیستم مدیریت هوشمند انرژی در شهر هوشمند به وجود آید، به ارائه طراحی مفهومی برای سیستم مدیریت هوشمند انرژی پرداخته شد. در شکل ۶-۱۵ اینفوگرافی از طراحی مفهومی سیستم مدیریت هوشمند انرژی آورده شده است.



شکل ۶-۱۵ اینفوگرافی از طراحی مفهومی سیستم مدیریت هوشمند انرژی

- [1] “Conceptual Design Of The Intelligent Transport Systems Project—Case In Gui’an New District”, Asian Development Bank, 2019
- [۲] - سند راهبردی و نقشه‌ی راه توسعه فناوری زیرساخت خودروی برقی، ۱۳۹۴، محمد اسکویی، پژوهشکده کنترل و مدیریت شبکه، پژوهشگاه نیرو
- [3]<https://dotic.ir/news/5205/%D8%B3%D9%86%D8%AF%D9%85%D9%84%D9%8A%D8%B1%D8%A7%D9%87%D8%A8%D8%B1%D8%AF%D8%A7%D9%86%D8%B1%DA%98%D9%8A%D9%83%D8%B4%D9%88%D8%B1>
- [4] <https://www.un.org/sustainabledevelopment/energy/>
- [5] J. Johnson, "Roadmap for photovoltaic cyber security," *Sandia National Laboratories*, 2017.
- [6] A. Dannier, "Overview of Main Electric Subsystems of Zero-Emission Vehicles," in *Propulsion Systems*: IntechOpen, 2019.

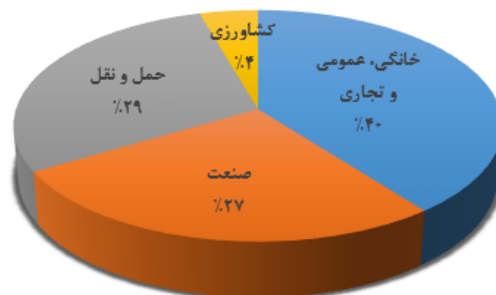
فصل هفتم: اولویت‌بندی و پیشنهاد ادامه کار

۱-۷ مقدمه

شهرنشینی و رشد سریع جمعیت شهرها تأثیر بسیاری بر مصرف انرژی و در نتیجه انتشار گازهای سمی و گلخانه‌ای داشته است. می‌توان گفت شهرها با مجموعه‌ای از چالش‌های پیچیده و به هم پیوسته در بخش‌های مختلف از جمله ساخت و ساز، حمل و نقل، مدیریت آب و پسماند و خدمات عمومی روبرو هستند. بررسی مجدد این چالش‌ها با در نظر گرفتن اصول مدیریت هوشمند انرژی برای توسعه شهری پایدار و کم کربن بسیار مهم و ضروری است. علاوه بر این، مدیریت انرژی مصرفی یکی از چالش برانگیزترین اهداف برای شهرها است و با توسعه و تبدیل شدن شهرهای موجود به شهرهای هوشمند، مدیریت هوشمند انرژی به بخشی جدایی ناپذیر در تحول شهری تبدیل شده است. بر اساس مطالعات سازمان ملل تخمین زده می‌شود که در سال ۲۰۳۰ به دلیل افزایش جمعیت در مناطق شهری و افزایش تقاضای طبقه متوسط، ۵۰ درصد انرژی بیشتر مورد نیاز خواهد بود [۱]. در ادامه با توجه به بررسی‌های انجام شده در مراحل گذشته پروژه، اولویت‌هایی برای انجام پروژه‌های آینده که در حوزه مدیریت هوشمند انرژی الکتریکی قابل تعریف می‌باشد ارائه شده است. با توجه به بررسی انجام شده در این پروژه با توجه به سهم بخش‌های مختلف زیرسیستم‌های انرژی بر اساس مقدار مصرف و همچنین تولید گازهای گلخانه‌ای، اولویت‌های اصلی در بین زیرسیستم‌های مدیریت هوشمند انرژی در ادامه به ترتیب آورده شده است.

۱-۱-۷ خانه هوشمند

ساختمان‌های قدیمی یا جدید، دولتی یا خصوصی، تجاری یا مسکونی محل زندگی و کار مردم هستند و چشم‌انداز یک شهر را تشکیل می‌دهند. در عین حال، ساختمان‌ها (خانگی، عمومی و تجاری) با حدود ۴۰ درصد مصرف، یکی از بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان انرژی هستند ۱-۷. در ساختمان‌ها روزانه از انرژی برای سرمایش و گرمایش، روشنایی، استفاده از تجهیزات برقی برای ایمنی و آسایش افراد استفاده می‌شود. این امکانات سه چهارم از کل انتشار گازهای گلخانه‌ای در مناطق شهری را تشکیل می‌دهد. در نتیجه، شهرها باید ساختمان‌هایی با بهره‌وری بیشتر، هوشمندتر، سبزتر و پایدارتر از لحاظ انرژی ایجاد کنند.



شکل ۱-۷: سهم بخش‌های مختلف از مصرف انرژی کل کشور (ایران) در سال ۱۳۹۴ [۲]

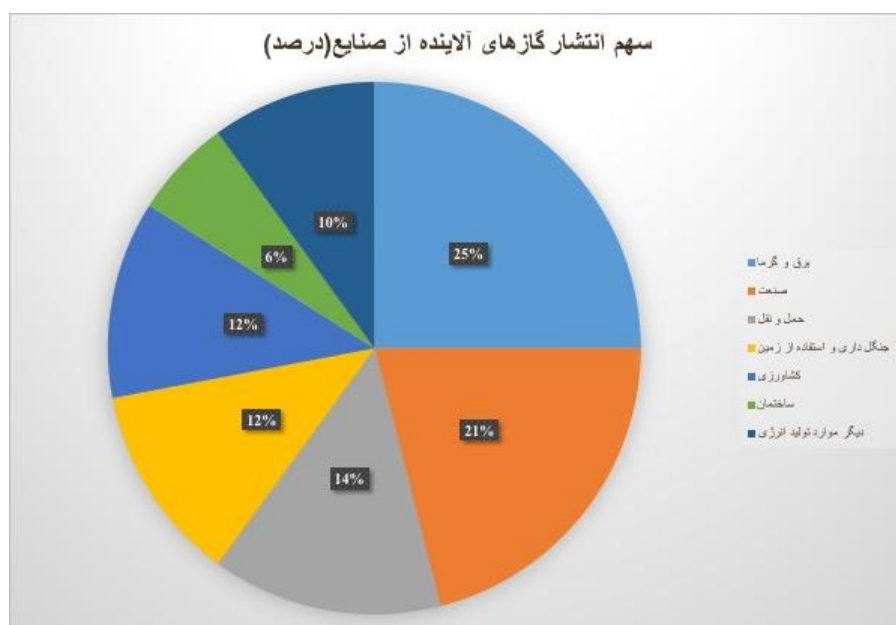
۲-۱-۷ ریز شبکه

از دیگر بخش‌های با اهمیت در حوزه مدیریت هوشمند انرژی الکتریکی می‌توان به توسعه ریز شبکه‌ها اشاره کرد. ورود عناصر مختلفی به سیستم قدرت از جمله منابع تولید پراکنده تجدیدپذیر، سیستم‌های ذخیره انرژی، سیستم‌های کنترل ولتاژ و... در کنار مزایای متعدد، باعث ایجاد چالش‌های مختلفی در سیستم توزیع برق شده است. در حالت کلی، ورود این اجزا سیستم توزیع را که ذاتاً گسترده و درهم تنیده است، پیچیده‌تر می‌نماید و این امر باعث می‌شود

بهره‌گیری از اجزای جدید در سیستم دشوارتر گردد. یکی از راه‌حل‌های پیشنهادی در این رابطه، ساده‌سازی سیستم با استفاده از ریزشبکه‌ها می‌باشد. به‌طور سنتی ریزشبکه‌ها فن‌آوری‌هایی هستند که در بخش‌های مختلف شبکه مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند ولی امروزه ریزشبکه‌ها هم می‌توانند به‌صورت متصل به شبکه و هم به‌صورت مجزا از شبکه به کار بپردازند.

۷-۱-۳ حمل‌ونقل هوشمند

حمل‌ونقل نقش اساسی در توسعه یک کشور دارد. افزایش تقاضای حمل‌ونقل عمومی به همراه فرسوده بودن خودروها، این بخش را به یکی از پرمصرف‌ترین و آلوده‌کننده‌ترین بخش‌ها در ایران تبدیل کرده است. بر اساس شکل ۲-۷، بخش حمل‌ونقل ۲۹ درصد از کل مصرف انرژی کشور را تشکیل می‌دهد. از طرف دیگر، این بخش حدود ۱۴ درصد از کل انتشار کربن و گازهای آلاینده را تشکیل می‌دهد (شکل ۲). آینده حمل‌ونقل سبز (کم‌کربن) را خودروهای برقی شکل می‌دهند که برای جابجایی از انرژی‌های تجدیدپذیر استفاده می‌کنند. از آنجاکه بخش حمل‌ونقل بر روی بخش‌های مختلف دیگر تأثیرگذار است، باید بررسی‌های جامعی که شامل امکان‌سنجی اقتصادی و زیست‌محیطی گزینه‌های مختلف حمل‌ونقل پایدار است، انجام پذیرد. برای دستیابی به حمل‌ونقل پایدار و کم‌کربن در شهرها، تصمیم‌گیری آگاهانه توسط سیاست‌گذاران و مهم جلوه دادن آن برای شهروندان موردنیاز است [۳].



شکل ۲-۷: سهم بخش‌های مختلف در انتشار گازهای آلاینده [۴]

۷-۱-۴ انرژی‌های تجدیدپذیر

روند رو به رشد استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر نیازمند افزایش قدرت و کیفیت فرایندهای مرتبط در سیستم تولید، انتقال و توزیع خواهد بود. انرژی‌های تجدیدپذیر به‌جای سوزاندن سوخت‌های فسیلی در نیروگاه‌های قدیمی عموماً از تولید انرژی به‌وسیله منابع طبیعی موجود بهره می‌برد. مزیت عمده انرژی‌های تجدیدپذیر استقلال از سوخت‌های فسیلی است که قیمت آن‌ها می‌تواند بسیار متغیر باشد. از سوی دیگر تنوع منابع انرژی تجدیدپذیر می‌تواند یک چالش باشد که به معنای نیاز به استفاده از روش‌های نوین خواهد بود. درمجموع با توجه به ماهیت‌های متفاوت مسائل

مدیریتی در تولید، توزیع و انتقال چنین انرژی‌هایی چالش‌های متعددی می‌بایست مورد ارزیابی قرار گیرند و برای آن‌ها راه‌حل مناسب ارائه گردد.

۷-۱-۵ ذخیره‌ساز انرژی

در شبکه برق نوین با اضافه شدن تجهیزات تولید برق پراکنده مانند سلول‌های خورشیدی، توربین بادی و همچنین بارهای جدیدی مانند خودرو برقی مساله پاسخ به تقاضا بسیار پررنگ‌تر شده است. ذخیره‌کننده‌های انرژی می‌توانند در مواقعی که تولید برق بیشتر از مصرف است برق اضافی را در خود ذخیره کنند و در زمان کمبود آن‌ها به شبکه تزریق کنند و یا به دلیل متغیر بازمان بودن روش‌های قیمت‌گذاری، کاربران می‌خواهند ذخیره‌کننده‌ها را به گونه‌ای برنامه‌ریزی کنند که در زمان قیمت ارزان برق، ذخیره‌کننده‌ها شارژ شوند و در زمان بالا بودن قیمت برق، از ذخیره-کننده‌ها استفاده شود.

۷-۱-۶ بازار برق

به دلیل آزادسازی بازارهای برق در دهه‌های گذشته، پویایی قیمت برق به یک پدیده پیچیده با ویژگی‌های نادر و پیامدهای مهم تبدیل شده است. به‌طور خاص، در مقایسه با کالاهای دیگر، تجارت برق ویژگی‌هایی را از خود نشان می‌دهد که غیرمعمول است. در سال‌های اخیر، با افزایش نفوذ منابع انرژی تجدیدپذیر، رفتار ذکر شده گسترش پیدا کرده است. نگرانی‌های زیادی در مورد تأثیر آن‌ها بر قیمت برق و پایداری شبکه مطرح شده است. به‌طور خاص، با افزایش نفوذ منابع انرژی تجدیدپذیر، وابستگی تولید برق و به‌نوبه خود نوسانات قیمت برق به شرایط آب و هوایی بیشتر می‌شود؛ و نیاز می‌باشد روش‌هایی هوشمند برای پیش‌بینی قیمت برق به کار گرفته شود. با توجه به اهمیت زیرسیستم‌های مختلف که بر اساس اولویت در بالا به آن‌ها اشاره شد در این مرحله از پروژه، پیشنهادهایی جهت پروژه‌های آینده ارائه شده است. در ادامه به شرح موارد پیشنهادی پرداخته می‌شود.

۷-۲ پروژه‌های پیشنهادی

۷-۲-۱ خانه هوشمند

۷-۲-۱-۱ استفاده از روش‌های هوش مصنوعی به منظور پیاده‌سازی خانه هوشمند مبتنی بر راحتی و

آسایش افراد داخل منزل

۷-۲-۱-۲ تعریف موضوع و اهداف پروژه

یکی از پارامترهای مهم در پیاده‌سازی خانه هوشمند، آسایش و راحتی افراد داخل منزل است. برای مثال دمای مناسب اتاق‌ها در ماه‌ها و روزهای مختلف سال برای افراد مختلف متفاوت است. در نتیجه وسایل سرمایش و گرمایش باید خود را با سلیقه افراد منطبق سازند. همچنین وسایل صوتی و تصویری یا وسایل آشپزخانه باید در ساعت خاصی از روز روشن‌شده و وظایف مشخصی را انجام دهند. مجموعه مواردی که مورد جلب آسایش و راحتی افراد خانه می‌شود را

می‌توان در این پروژه گردآوری نمود و با استفاده از روش‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین وظایفی که هرکدام از اجزای خانه هوشمند بر عهده‌دارند را پیش‌بینی کرد.

۳-۱-۲-۷ مراحل اجرا

- پیاده‌سازی یک خانه هوشمند به‌عنوان پایلوت
- جمع‌آوری پارامترهای مهم در آسایش و راحتی افراد از طریق نظرسنجی
- استفاده از روش هوش مصنوعی مناسب برای پیش‌بینی وظایف اجزای خانه هوشمند

۴-۱-۲-۷ استفاده از هوش مصنوعی برای بهینه نمودن مصرف انرژی ساختمان

۷-۲-۱-۴-۲-۷ تعریف موضوع و اهداف پروژه

یکی از مسائل مهم در بحث خانه هوشمند بهینه‌سازی مصرف انرژی است. به این ترتیب که همراه با برطرف شدن نیاز افراد و ایجاد آرامش و آسایش، مصرف انرژی و هزینه‌ای که برای آن پرداخت می‌شود نیز کاهش یابد. برای انجام این کار برخی از موارد مصرف اضافی برق می‌تواند حذف و یا به ساعت دیگری از روز موکول شود. به‌عنوان مثال سیستم روشنایی هوشمند در منزل می‌تواند زمانی که نور مناسب در خانه وجود دارد از روشنایی لامپ‌هایی که روشن مانده‌اند بکاهد. از آنجایی که تعرفه برق و هزینه آن در ساعات مختلف روز متفاوت است یک‌خانه هوشمند بسیاری از مواردی که نیاز به مصرف برق دارد و فوری و ضروری نیست مانند روشن شدن ماشین لباسشویی یا شارژ خودرو برق را می‌تواند در زمان کم‌باری انجام دهد. هدف از انجام این پروژه جمع‌آوری اطلاعات مربوط به مصرف ساختمان و بهینه کردن زمان انجام آن با روش‌های هوش مصنوعی است.

۷-۲-۱-۴-۲-۷ مراحل اجرا

- مشخص نمودن موارد مصرف برق در خانه
- جمع‌آوری داده مربوط به مصارف برق با توجه به نیاز افراد و هزینه آن در بازه بلندمدت
- جمع‌آوری داده تعرفه مصرف برق در بازه بلند مدت
- استفاده از هوش مصنوعی برای بهینه کردن زمان مصرف برای به حداقل رساندن مخارج

۵-۱-۲-۷ پیاده‌سازی خانه‌های با مصرف نزدیک به صفر

۷-۲-۱-۵-۲-۷ تعریف موضوع و اهداف پروژه

در این پروژه هدف علاوه بر بهینه کردن مصرف انرژی، استفاده از منابع تجدیدپذیر مانند سلول‌های خورشیدی و توربین بادی در خانه هوشمند به‌منظور تأمین برق مصرفی خانه است. البته استفاده از مصالح مناسب به‌منظور جلوگیری از هدر رفت انرژی گرمایشی و سرمایشی نیز نقش مهمی در این زمینه دارند. به‌طور کلی، در این پروژه هدف به حداقل رساندن مصرف در خانه هوشمند از شبکه برق می‌باشد به‌طوری‌که تقریباً نیاز به گرفتن برق از شبکه نداشته باشد.

۲-۵-۱-۲-۷ مراحل اجرا

- طراحی خانه هوشمند با مصالح و نقشه مناسب
- جمع‌آوری داده‌های مصرفی در خانه هوشمند
- جمع‌آوری داده‌های تولید برق در خانه هوشمند
- استفاده از هوش مصنوعی جهت بهینه کردن توأمان تولید و مصرف

۶-۲-۱-۲-۷ بهینه‌سازی شارژ خودرو برقی در خانه هوشمند

۱-۶-۱-۲-۷ تعریف موضوع و اهداف پروژه

یکی از مواردی که به کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و کاهش آلودگی محیط‌زیست کمک می‌کند استفاده از خودروهای برقی است. یکی از منابعی که می‌تواند برای شارژ این خودروها مورد استفاده قرار گیرد، منابع تجدیدپذیر خانه‌های هوشمند نظیر سلول‌های خورشیدی و توربین بادی است. اینکه زمان شارژ خودرو برقی با توجه به سطح شارژ در ذخیره‌ساز، مصارف دیگر برق در منزل و همچنین پاسخ به تقاضا در شبکه برق در چه مواقعی انجام شود مسئله‌ای است که در این پروژه مورد بهینه‌سازی قرار می‌گیرد.

۲-۶-۱-۲-۷ مراحل اجرا

- جمع‌آوری داده‌های تولید برق در خانه هوشمند و سطح ولتاژ و توان ذخیره‌کننده
- جمع‌آوری داده‌های مصرف بار خانگی
- جمع‌آوری داده‌های پاسخ به تقاضا در شبکه برق
- بهینه‌سازی زمان شارژ خودرو برقی با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده به منظور حداقل رساندن هزینه برای کل شبکه

۷-۲-۲-۲-۷ ریزشبکه

۱-۲-۲-۲-۷ اجرا ریزشبکه نمونه در پژوهشگاه نیرو

۱-۱-۲-۲-۲-۷ تعریف موضوع و اهداف پروژه

ورود عناصر مختلفی به سیستم قدرت از جمله منابع تولید پراکنده، سیستم‌های ذخیره انرژی، سیستم‌های کنترل ولتاژ و... در کنار مزایای متعدد، باعث ایجاد چالش‌های مختلفی در سیستم توزیع شده است. در حالت کلی، ورود این اجزا سیستم توزیع را که ذاتاً گسترده و درهم‌تنیده است، پیچیده‌تر می‌نماید و این امر باعث می‌شود بهره‌گیری از اجزای جدید در سیستم دشوارتر گردد. یکی از راه‌حل‌های پیشنهادی در این رابطه، ساده‌سازی سیستم با استفاده از ریزشبکه‌ها می‌باشد. به‌طور کل ریزشبکه‌ها فن‌آوری‌هایی هستند که در بخش‌های مختلف شبکه مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند ولی امروزه ریزشبکه‌ها هم می‌توانند به‌صورت متصل به شبکه و هم به‌صورت مجزا از شبکه مورد بهره‌برداری

قرار گیرند. بدین ترتیب با استفاده از ریزشبکه‌ها، کنترل تعداد زیاد واحدهای تولید پراکنده به تعداد کمتری محدود می‌گردد. هدف از این تعریف پروژه معرفی ریزشبکه پایلوت در پژوهشگاه نیرو می‌باشد.

محورهایی از ریزشبکه که در این تعریف پروژه مدنظر است عبارت‌اند از:

- ✓ کنتورهای هوشمند برق
- ✓ کنتورهای هوشمند آب و گاز
- ✓ خانه هوشمند
- ✓ خودرو برقی
- ✓ انرژی‌های تجدید پذیر و منابع تولید پراکنده (سلول خورشیدی، انرژی بادی، CCHP، ...)
- ✓ امنیت اطلاعات
- ✓ IT، شبکه و مخابرات
- ✓ مرکز کنترل

در این طرح سعی می‌شود که یک پایلوت عملیاتی از ابعاد مختلف یک ریزشبکه بررسی شود تا بتوان به بررسی ابعاد کاری و چالش‌های یک ریزشبکه پرداخت. عمده مزیت این پایلوت می‌توان به این امر اشاره نمود که در این طرح تمام فناوری‌های قابل پیاده‌سازی به‌صورت هم‌زمان و در ارتباط با یکدیگر در بوته آزمایش قرار خواهند گرفت و لذا عمده تفاوت این پایلوت با سایر پایلوت‌ها در همین نکته است چراکه در سایر پایلوت‌ها هر کدام از فناوری‌ها به‌صورت جداگانه مورد بررسی قرار می‌گیرند و هیچ‌گاه به این صورت و در قالب یک زندگی هوشمند نیستند.

۲-۱-۲-۲-۷ مراحل اجرا

۱- بررسی و مطالعه پروژه‌های پایلوت مشابه مربوط به شهرک‌های هوشمند

۲- مطالعه میدانی محدوده پژوهشگاه نیرو

- بررسی امکانات و زیرساخت‌های موجود در حوزه شبکه‌های الکتریکی
- بررسی امکانات و زیرساخت‌های موجود در حوزه آب، فاضلاب و گاز
- بررسی امکانات و زیرساخت‌های موجود در حوزه خدمات شهری و ارتباطات

۳- بهینه‌سازی شبکه توزیع برق در ریز شبکه

به‌منظور هوشمندسازی لازم است شبکه برق دارای حد قابل قبولی از کیفیت باشد و در شبکه‌ای که مشکلات اساسی در زمینه طراحی، تجهیزات و زیرساخت دارد پیاده‌سازی سیستم هوشمند منطقی نمی‌باشد. در نتیجه قبل از اجرای اتوماسیون و هوشمند سازی توزیع، شبکه از منظر کلی مورد بررسی قرار گرفته و اقدامات اصلاحی در جهت رفع موانع، مشکلات و ایرادات موجود شبکه در حد مناسب انجام می‌گیرد.

در بهینه‌سازی شبکه اقدامات زیر لازم است اجرا گردد:

- جمع‌آوری و ارزیابی اطلاعات مورد نیاز به‌منظور بهینه‌سازی شبکه
- تحلیل شبکه موجود برای یافتن نقاط ضعف (جریان غیرمجاز و افت ولتاژ)

- انجام مطالعات تکمیلی جهت ارزیابی وضعیت سیستم توزیع موجود
- مطالعه اصلاح ساختار شبکه توزیع و بهینه‌سازی آن

۴- بررسی زیر ساختار سیستم اندازه‌گیری هوشمند

در این طرح هر طبقه در ساختمان‌های پژوهشگاه به‌صورت واحد یا زون بندی شده (بسته به نقشه‌های لوله‌کشی آب، گاز، انرژی حرارتی / برودتی و سیم‌کشی برق) به‌عنوان یک مشترک در نظر گرفته می‌شود. هر مشترک در پژوهشگاه نیرو طوری تعیین می‌گردد که دارای کنتور برق، آب، گاز و انرژی حرارتی/ برودتی جداگانه باشد. فضای سبز، موتورخانه هر ساختمان و... نیز به‌عنوان مشترکین پژوهشگاه در نظر گرفته می‌شوند و لازم است نوع و محل نصب کنتورهای برق تعیین گردد.

اطلاعات فرستاده‌شده از طرف کنتورهای هوشمند توسط یک جمع‌کننده داده دریافت و برای سیستم مرکزی فرستاده خواهد شد. این اطلاعات در مرکز کنترل ابتدا توسط ^۱ AHE دریافت، سپس به سیستم مدیریت داده‌های اندازه‌گیری شده ^۲ (MDM) تحویل داده خواهد شد.

در طراحی زیر ساختار سیستم اندازه‌گیری هوشمند اقدامات زیر لازم است اجرا گردد:

- بررسی استقرار کنتورهای هوشمند برق، آب و گاز و سیستم‌های نرم‌افزاری مربوطه
- بررسی جانمایی کنتورهای هوشمند مورد نیاز
- بررسی کنتورهای هوشمند و سیستم‌های نرم‌افزاری (AHE-MDM) موجود
- بررسی کنتورهای آب و گاز جهت اتصال به کنتور هوشمند برق

۵- بررسی زیرساخت خانه هوشمند (پایلوت پژوهشگاه نیرو)

به‌طور کلی برای پیاده‌سازی یک خانه هوشمند بایستی در ابتدا زیرساخت‌های لازم برای این امر ایجاد شود که غالباً این زیرساخت عبارت است از یک شبکه باسیم یا بی‌سیم که به نحوی تجهیزات تحت کنترل را به مرکز کنترل مرتبط می‌نماید.

در طراحی خانه هوشمند لازم است مراحل ذیل اجرا گردد:

- مطالعات پایه‌ای در راستای انتخاب تعدادی ساختمان به‌عنوان پایلوت اجرایی با توجه به نوع کاربری
- بررسی سیستم سرمایش و گرمایش هوشمند ساختمان (شامل موتورخانه هوشمند، ترموستات هوشمند، فن‌کوئل هوشمند)
- بررسی سیستم نمایش اطلاعات مصرف و ارتباط آن با سیستم اندازه‌گیری هوشمند
- بررسی پریزهای هوشمند
- بررسی سیستم تولید انرژی مبتنی بر انرژی تجدیدپذیر

ptimization

¹ Deep Learni

ng

²Deep belief Network

²Long-

- بررسی سیستم اعلام و اطفاء حریق هوشمند
- بررسی سیستم حفاظتی و امنیتی هوشمند ساختمان
- بررسی ساختار ارتباطی و پروتکل‌های ارتباطی در خانه هوشمند
- بررسی مرکز کنترل ساختمان هوشمند

۶- بررسی زیرساخت مرتبط با خودرو برقی

خودرو برقی یکی از تجهیزات شهر هوشمند و یکی از شاخص‌های انرژی هوشمند به شمار می‌رود. خودروهای الکتریکی توسط دستگاه شارژکننده خودرو به شبکه برق وصل می‌شوند و انرژی الکتریکی را از شبکه دریافت یا به شبکه تزریق می‌کنند و لازم است مشخصات آن‌ها و سخت‌افزارهای کنترلی موردنیاز تعیین گردد. خودرو الکتریکی نیز به‌مانند تجهیزات دیگر نیاز به یک تجهیز اندازه‌گیر دارد که بتواند میزان انرژی منتقل‌شده را پایش نماید. تجهیز اندازه‌گیری‌کننده (کنترلر خودرو) علاوه بر اندازه‌گیری در راستای نیازهای خودرو برقی قابلیت‌های خاصی نیز دارد که لازم است تعیین گردد.

در بررسی زیر ساخت خودرو برقی لازم است مراحل ذیل اجرا گردد:

- مطالعات پایه‌ای جهت تعیین نوع خودرو برقی و کاربری آن در محدوده پایلوت
- بررسی نوع سیستم ایستگاه شارژ خودروی برقی و جابجایی نصب ایستگاه‌های شارژ
- بررسی سیستم صدور صورتحساب انرژی مصرفی خودروی برقی
- بررسی بستر ارتباطی، ارتباط ایستگاه شارژ با مرکز کنترل

۷- انرژی تجدید پذیر و سیستم ذخیره‌ساز

در بررسی انرژی تجدید پذیر و منابع تولید پراکنده لازم است مراحل ذیل اجرا گردد:

- بررسی و ارزیابی امکان استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر
- بررسی انواع ظرفیت و جابجایی سیستم‌های ذخیره‌ساز
- بررسی مکانیزم کاربردی و نحوه استفاده از سیستم ذخیره‌ساز
- بررسی بستر و مکانیزم ارتباطی سیستم ذخیره‌ساز با مرکز کنترل

۸- بستر ارتباطی و مخابراتی پایلوت پژوهشگاه نیرو

در مبحث شبکه و مخابرات لازم است مباحث ذیل اجرا گردد:

- بررسی بستر ارتباطی جهت ارتباط میان سیستم‌های نرم‌افزاری و کنترلی با توجه به نوع ارتباط
- بررسی مکانیزم تبادل اطلاعات میان سیستم‌های نرم‌افزاری مختلف با توجه به نوع تبادل داده

۹- بررسی الزامات امنیتی پایه‌ای مورد نیاز جهت پیشگیری از تهدیدات در زیرسیستم‌های پژوهشگاه نیرو

در مبحث الزامات امنیت اطلاعات لازم است مباحث ذیل اجرا گردد:

- بررسی الزامات امنیتی در سطح تجهیزات سخت‌افزاری
- بررسی الزامات امنیتی در سطح سیستم‌های نرم‌افزاری
- بررسی الزامات امنیتی در سطح شبکه و زیرساخت ارتباطی

- بررسی الزامات امنیتی در سطح فرایند انتقال داده و اطلاعات

۱۰- مرکز کنترل محدوده پژوهشگاه نیرو

تمامی زیرسیستم‌هایی که در شهر هوشمند پژوهشگاه نیرو پیاده‌سازی می‌شوند دارای یک پایانه کنترلی (سخت‌افزار + نرم‌افزار) می‌باشند. تجمیع کلیه پایانه‌ها در مرکز کنترل انجام می‌گیرد. در مبحث مرکز کنترل لازم است مباحث ذیل اجرا گردد:

- بررسی سیستم کنترلی AHE-MDM و استقرار سیستم‌های مربوطه
- بررسی سیستم کنترل و مانیتورینگ شبکه توزیع
- بررسی سیستم ذخیره‌سازی و مرکز داده
- بررسی سیستم کنترل ایستگاه‌های شارژ

۷-۲-۲-۲ مرکز کنترل ریزشبکه

۷-۲-۲-۲-۱ تعریف موضوع و اهداف پروژه

ازجمله مفاهیم مهم در ریزشبکه توجه به مبحث کنترل و نظارت بر عملکرد بخش‌های مختلف ریز شبکه می‌باشد که باعث بهبود عملکرد و ارتقاء عملکرد سیستم می‌شود. زیرسیستم‌های کنترلی ریزشبکه که موردتوجه می‌باشد در ادامه آورده شده است.

۱. خانه هوشمند (خانه‌های مسکونی و مجتمع‌های تجاری و مراکز خرید)
۲. حمل‌ونقل هوشمند (خودرو، موتورسیکلت و دوچرخه الکتریکی و کنترل حمل‌ونقل در معابر)
۳. منابع تولید توان الکتریکی (سلول‌های خورشیدی، انرژی باد، CCHP^۱ و...)

Short Term Memory

^۱Gated Recurrent Unit

Systems Engineering (SE)^۱

Smart Energy Management (SEM)^۱

Conceptual Design (CD)^۱

Systems Engineering Process (SEP)^۱

^۱ Feasibility Study Report (FSR)

^۱ Intelligent Transportation Systems

^۱ electric vehicle

^۱ Near-Field Communication (NFC)

Detailed design^۱

Energy Storage System^۱

Battery Management System^۱

Regenerative Braking^۱

Detailed design^۱

^۱ Field Layer

^۱ Middlewar Layer

^۱ Automatic Gain Control

^۱ Advance Head End (AHE)

^۱ Meter data management (MDM)

^۱ Combined Cooling, Heat & Power (CCHP)

۴. اتوماسیون فشار ضعیف هوشمند (کنتورهای آب، برق و گاز، بهینه‌سازی شبکه به منظور افزایش رضایت مشترکین، سیستم مدیریت خاموشی، سیستم مدیریت توزیع، سیستم پاسخ‌گویی بار) درعین حال که هر یک از این زیرسیستم‌ها نیاز به کنترل محلی دارد درعین حال نیاز به یک مرکز کنترل دارد که از سطحی بالاتر بر کل عملکرد ریزشبکه نظارت و کنترل داشته باشد.

این پروژه با هدف بررسی مشخصات نرم‌افزارها و سخت‌افزارهای موردنیاز در مرکز کنترل ریزشبکه، بررسی معماری و ساختار نرم‌افزارهای امن و با حجم بالای دیتا، نحوه ارتباط زیرسیستم‌های انرژی هوشمند با زیرسیستم‌های دیگر انرژی هوشمند می‌باشد. در ادامه چند مورد از زیرسیستم‌های انرژی هوشمند که باید زیرساخت‌های آن در مرکز کنترل بررسی شود به صورت نمونه آورده شده است.

۱. منابع تولید پراکنده

واحدهای تولیدی که به دلیل پراکندگی در شبکه با عنوان تولیدکننده‌های پراکنده خوانده می‌شوند، تولیدکننده‌هایی تجدیدپذیر هستند که حداکثر در حد چند مگاوات قابلیت تولید توان دارند و می‌توانند برای تأمین بار یک سالن ورزشی، یک بیمارستان، یک واحد صنعتی کوچک یا حتی واحدهای مسکونی به کار روند. تولیدکننده بادی و تولیدکننده فتوولتایی و CCHP جزء معروف‌ترین واحدهای تجدیدپذیر پراکنده هستند.

❖ منابع تولید پراکنده CCHP

بخش‌هایی که مرکز کنترل می‌بایست در این واحد تحت نظارت و فرمان داشته باشد عبارت است از:

- ✓ پروتکل و سازوکار موردنیاز برای کنترل واحد میکرو توربین
- ✓ تعیین پروتکل لازم برای ارتباط واحد تولیدی با واحد پخش بار
- ✓ کنترل ولتاژ شین متصل به واحد تولیدی
- ✓ سازوکار لازم برای افزایش و یا کاهش توان تولیدی واحد

❖ واحد خورشیدی

بخش‌هایی که مرکز کنترل می‌بایست در این واحد تولیدی تحت نظارت و فرمان داشته باشد عبارت است از:

- ✓ کنترل کلید زنی کانورترهای موجود در سایت از طریق پروتکل خاص ارتباطی
- ✓ سیستم اطلاعات آب و هوایی آنلاین برای تخمین توان تولیدی

❖ واحد بادی

بخش‌هایی که مرکز کنترل می‌بایست در این واحد تولیدی تحت نظارت و فرمان داشته باشد عبارت است از:

- ✓ ایجاد یک بستر کنترلی مناسب برای کنترل کانورترهای سمت شبکه
- ✓ سیستم آب و هوایی آنلاین مجهز به اندازه‌گیری سرعت و جهت باد
- ✓ کنترل توان خروجی واحدها و حد مجاز تولیدی آن‌ها

۲. خودروهای الکتریکی هیبریدی قابل اتصال به شبکه

میزان تأثیر گازهای تولیدی ناشی از مصرف منابع سوخت فسیلی به صورت کاملاً محسوسی سبب تغییر وضعیت آب و هوایی شده است؛ بنابراین، الکتریکی کردن خودروها می تواند کمک بسیار شایانی به کاهش آلودگی در سطح دنیا بکند. یکی از مسائل اساسی خودروهای الکتریکی تأثیرات این خودروها بر شبکه های برق است. اگرچه ظرفیت بسیار بالایی در بخش تولید سیستم های قدرت وجود دارد تا بتواند نیازهای خودروهای الکتریکی را پوشش دهد؛ اما شارژ تعداد زیادی از خودروها در زمان های اوج مصرف برق به صورت هم زمان می تواند تهدیدی برای تأمین انرژی الکتریکی در آن ساعات به شمار رود و شاخص های سیستمی شبکه برق را تحت تأثیر قرار دهد.

شارژ بدون کنترل خودروهای الکتریکی موجب افزایش قابل توجه بیشینه بار شبکه می شود بنابراین، کنترل شارژ آنها برای بهبود قابلیت اطمینان شبکه و استفاده بهتر از امکانات موجود امری ضروری به نظر می رسد. کنترل شارژ به معنای تعیین بازه های شارژ و همچنین، سطح شارژ خودروها است. هدف از کنترل شارژ کاهش آسیب های احتمالی ناشی از شارژ گسترده خودروهای الکتریکی است. کنترل شارژ هم در خانه و هم در مکان عمومی همچون پارکینگ میسر است. کنترل شارژ به وسیله یک بهینه سازی با توابع هدف گوناگون و محدودیت هایی که تضمین کننده آسایش صاحب خودرو باشد، قابل پیاده سازی است.

۳. زیرساخت های نرم افزاری و سخت افزاری مرکز کنترل ریز شبکه

زیرساخت های مورد نیاز برای اجرای مرکز کنترل ریز شبکه انرژی هوشمند به دو بخش نرم افزاری و سخت افزاری تقسیم می شوند. مهم ترین زیرساخت های نرم افزاری عبارتند از:

- پروتکل های ارتباطی
- نرم افزار پایش شبکه با قابلیت نمایش گرافیکی شبکه به طور برخط
- نرم افزار کنترل هوشمند شبکه با قابلیت های مدیریت خطا، کنترل ولتاژ و توان راکتیو و...
- نرم افزارهای مالی و حسابداری با قابلیت صدور صورت حساب ها بر اساس قیمت های پویا

زیرساخت های سخت افزاری مهم نیز عبارتند از:

- بستر و تجهیزات مخابراتی
- تجهیزات اندازه گیری پیشرفته
- تجهیزات حفاظتی پیشرفته
- ادوات کلید زنی قابل کنترل از راه دور
- رایانه ها و پردازنده های مورد نیاز در مرکز کنترل و در سطح شبکه

۷-۲-۳ خودرو برقی و حمل و نقل هوشمند

۱-۲-۳-۷ بررسی و استخراج نیازمندی‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری سیستم‌های حمل و نقل هوشمند

۷-۲-۳-۱-۱ تعریف موضوع و اهداف پروژه

یکی از مهم‌ترین موارد پیاده‌سازی هر سیستم، تعیین نیازمندی‌های آن سیستم است که می‌تواند شامل نیازمندی‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری و همچنین نیازمندی‌های عملکردی و غیرعملکردی باشد. تعیین نیازمندی‌ها یک پروسه کل به جزء (بالا به پایین) محسوب می‌شود، به طوری که ابتدا نیازمندی‌ها به صورت کلی استخراج می‌شوند و در مراحل بعدی این نیازمندی‌ها به صورت دقیق برای هر محصول تعیین می‌شوند. به عنوان نمونه، تعیین مهلت زمانی (Deadline) انتقال دستورات به تفکیک برای هر تجهیز موجود در سیستم حمل و نقل هوشمند می‌تواند در روند ساخت آن تجهیز تاثیرگذار باشد.

۷-۲-۳-۱-۲ مراحل اجرا

- شناسایی ذینفعان
- تشکیل جلسات طوفان فکری با ذینفعان و دریافت نظرات
- تهیه پرسشنامه‌ها و جمع‌آوری نیازمندی‌ها با کمک آن‌ها
- استخراج نیازمندی‌ها با استفاده از منابع علمی و پژوهشی
- مستندسازی نیازمندی‌ها

۲-۲-۳-۷ بررسی و ارائه مدل مفهومی استفاده از بلاکچین و رایانش ابری در زیرسیستم‌های حمل و نقل

هوشمند

۷-۲-۳-۱-۲ تعریف موضوع و اهداف پروژه

با توجه به اینکه سیستم‌های حمل و نقل هوشمند می‌توانند منجر به تولید حجم زیادی از اطلاعات شوند، تحلیل داده‌ها نیازمند توان پردازشی، محاسباتی و ذخیره‌سازی بالایی است. علاوه بر این، امکان حمله به داده‌ها و تغییر آن‌ها یکی دیگر چالش‌های مطرح در این حوزه می‌باشد. با استفاده از فناوری‌های جدید همچون بلاکچین و رایانش ابری می‌توان این مشکلات را حل یا کاهش داد. در این پروژه امکان استفاده از بلاکچین برای ذخیره‌سازی امن داده‌ها و عدم امکان تغییر آن‌ها و همچنین از رایانش ابری برای تحلیل داده‌های تولیدشده مورد بررسی قرار می‌گیرد. طراحی مفهومی ترکیب بلاکچین و رایانش ابری با در نظر گرفتن زیرسیستم‌های موجود در سیستم‌های حمل و نقل هوشمند ارائه خواهد شد.

۷-۲-۳-۱-۲ مراحل اجرا

- استخراج نیازمندی‌ها و اهداف سیستم‌های حمل و نقل هوشمند

- بررسی مفاهیم مرتبط با بلاکچین و رایانش ابری
- استخراج دینفعان و معماری سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند
- طراحی مدل مفهومی سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند با در نظر گرفتن فناوری‌های بلاکچین و رایانش ابری

۷-۲-۳-۳ بررسی الگوریتم‌های پیش‌بینی ترافیک کوتاه مدت و شبیه‌سازی یک نمونه موردی

۱-۳-۳-۲-۷ تعریف موضوع و اهداف پروژه

در دهه گذشته، پیش‌بینی و تخمین ترافیک بر اساس زمان و مکان، به دلیل تأثیر زیاد در سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند، توجه جامعه تحقیقاتی، دانشگاهی و صنعتی را به خود جلب کرده است. در سال‌های اخیر، مدل‌های مبتنی بر یادگیری ماشین به دلیل دقت بالا و توانایی کنترل غیرخطی قوی برای داده‌های با حجم زیاد، به‌طور گسترده‌ای در طراحی روش پیش‌بینی جریان ترافیک کوتاه‌مدت به کار گرفته شده‌اند. هدف این پروژه بررسی و دسته‌بندی روش‌های پیش‌بینی ترافیک کوتاه‌مدت و شبیه‌سازی یک نمونه موفق بر اساس اطلاعات و پیشینه تحقیق می‌باشد.

۲-۳-۳-۲-۷ مراحل اجرا

- بررسی روش‌های پیش‌بینی ترافیک کوتاه مدت مبتنی بر الگوریتم‌های یادگیری ماشین
- دسته‌بندی روش‌های موجود و انتخاب دسته برتر
- استخراج نیازمندی‌های سیستم‌های پیش‌بینی ترافیک کوتاه‌مدت
- پیشنهاد و شبیه‌سازی یک نمونه موردی از الگوریتم‌ها و مقایسه آن با یکی از روش‌های هم دسته

۷-۲-۳-۴ بررسی الگوریتم‌های کنترل چراغ‌های راهنمایی و رانندگی در چند تقاطع و شبیه‌سازی یک

نمونه موردی

۱-۴-۳-۲-۷ تعریف موضوع و اهداف پروژه

یکی از راه‌حل‌های مرسوم برای حل مشکل ترافیک و کاهش مصرف سوخت کنترل ترافیک به‌وسیله چراغ‌های راهنمایی و رانندگی است. به‌طور معمول، به دلیل محدودیت منابع محاسباتی و ابزارهای شبیه‌سازی، کنترل چراغ‌های راهنمایی و رانندگی به‌صورت پویا با استفاده از منطق فازی و برنامه‌ریزی خطی، انجام می‌شود. الگوریتم‌های هوش مصنوعی از جمله الگوریتم‌های هوش محاسباتی و یادگیری تقویتی عمیق به‌طور گسترده‌ای در این حوزه به کار گرفته شده‌اند. هدف این پروژه بررسی و دسته‌بندی روش‌های کنترل چراغ‌های راهنمایی و رانندگی در چند تقاطع متصل به هم و شبیه‌سازی یک نمونه موفق بر اساس اطلاعات و پیشینه تحقیق می‌باشد.

۲-۴-۳-۲-۷ مراحل اجرا

- بررسی روش‌های کنترل چراغ‌های راهنمایی و رانندگی در چند تقاطع مبتنی بر الگوریتم‌های هوش مصنوعی

- دسته‌بندی روش‌های موجود و انتخاب دسته برتر
- استخراج نیازمندی‌های سیستم‌های کنترل چراغ‌های راهنمایی و رانندگی
- پیشنهاد و شبیه‌سازی یک نمونه موردی از الگوریتم‌ها و مقایسه آن با یکی از روش‌های هم دسته

۵-۳-۲-۷ مدیریت شارژ خودروهای برقی در پارکینگ‌های مجتمع‌های مسکونی و تجاری با استفاده از

الگوریتم‌های هوش مصنوعی

۷-۲-۳-۲-۵ تعریف موضوع و اهداف پروژه

همراه با توسعه شبکه‌های هوشمند، پذیرش و استفاده گسترده خودروهای الکتریکی به‌عنوان راهکاری برای کاهش انتشار آلاینده‌ها و بهبود سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند محسوب می‌شوند. این خودروها با قابلیت ذخیره انرژی و تزریق آن به شبکه در زمان‌های موردنیاز علاوه برافزایش تاب‌آوری شبکه، امکان استفاده بهینه از منابع انرژی تجدیدپذیر را فراهم می‌کنند. با این حال، چالش‌های متعددی در این حوزه مطرح است. از یکسو، با توجه به ظرفیت محدود و هزینه‌های مربوط به شارژ باتری‌های خودروهای برقی، الگوریتم‌هایی برای به حداقل رساندن هزینه‌ها و همچنین جلوگیری از خالی بودن باتری در زمان مورد نیاز راننده، مورد نیاز هستند. از طرف دیگر، مجموعه خودروهای برقی باید به‌گونه‌ای سازمان‌دهی شوند تا از ایجاد پیک در شبکه که ممکن است منجر به افزایش قیمت برق و تحمیل بار اضافی به شبکه‌های توزیع محلی شود، جلوگیری شود. هدف این پروژه ارائه راهکاری مبتنی بر الگوریتم‌های هوش مصنوعی برای مدیریت شارژ خودروهای برقی در پارکینگ‌های مجتمع‌های مسکونی و تجاری می‌باشد.

۷-۲-۳-۲-۵ مراحل اجرا

- بررسی روش‌های مدیریت شارژ خودروهای برقی مبتنی بر الگوریتم‌های هوش مصنوعی
- دسته‌بندی روش‌های موجود و انتخاب دسته برتر
- استخراج نیازمندی‌های سیستم‌های مدیریت شارژ خودروهای برقی
- پیشنهاد و شبیه‌سازی یک نمونه موردی از الگوریتم‌ها و مقایسه آن با یکی از روش‌های هم دسته

۷-۲-۴-۲-۷ انرژی‌های تجدید پذیر

۱-۴-۲-۷ ارائه شبیه‌سازی و یا همزاد دیجیتال از یک سیستم تجدید پذیر

۷-۲-۴-۲-۷ تعریف موضوع و اهداف پروژه

سیستم‌های تجدیدپذیر، سیستم‌هایی کاملاً پیچیده هستند که مدل‌سازی آن‌ها به‌راحتی امکان‌پذیر نیست. این سیستم‌ها از المان‌های متفاوتی تشکیل شده‌اند. برای بررسی این سیستم‌ها ما نیازمندیم که ابزارهایی برای شبیه‌سازی ایجاد کنیم که از طریق آن امکان بررسی تغییرات قبل از پیاده‌سازی فیزیکی وجود داشته باشد؛ بنابراین ارائه شبیه‌ساز و مدل‌های پیشرفته‌تر مبتنی بر همزاد دیجیتال پتانسیل تبدیل شدن به یک پروژه مناسب را خواهد داشت.

۷-۲-۴-۲-۱ مراحل اجرا

- بررسی ابزارهای شبیه‌سازی و همزاد دیجیتال
- بررسی راهکارهای موجود برای شبیه‌سازی سیستم‌های تجدید پذیر
- ارائه رویه‌هایی برای مدیریت سیستم‌های تجدید پذیر مبتنی بر سناریوهای شبیه‌سازی و همزاد دیجیتال

۷-۲-۴-۲-۲ استخراج توابع یادگیری ماشین مورد نیاز و ارائه یک چهارچوب برای مدیریت سیستم‌های

تجدید پذیر

۷-۲-۴-۲-۱ تعریف موضوع و اهداف پروژه

سیستم‌های تجدیدپذیر از طیف گسترده‌ای از توابع یادگیری ماشین استفاده می‌نمایند. انتخاب توابع یادگیری ماشین و ارائه چارچوب برای مدیریت این سیستم‌ها نقش حیاتی در آینده صنعت برق ایفا خواهد کرد. بسیاری از توابع یادگیری ماشین و هوش مصنوعی از فناوری‌های پیشرفته استفاده می‌نمایند. عدم سرمایه‌گذاری بر روی آن‌ها و استخراج فناوری‌های استفاده شده در آن‌ها می‌تواند باعث شود که مدیریت این سیستم‌ها در آینده تبدیل به یک مسئله چالش برانگیز شود.

۷-۲-۴-۲-۲ مراحل اجرا

- استخراج توابع یادگیری ماشین مورد نیاز در سیستم‌های تجدید پذیر
- ارائه یک چهارچوب برای مدیریت سیستم

۷-۲-۴-۳-۱ ارائه استانداردهایی جهت توسعه سیستم‌های تجدید پذیر

۷-۲-۴-۳-۱ تعریف موضوع و اهداف پروژه

اجزای متفاوتی (سخت‌افزاری و نرم‌افزاری) در شکل‌گیری یک سیستم تجدیدپذیر نقش ایفا می‌نمایند. عدم ارائه استانداردهایی به جهت توسعه این سیستم‌ها باعث می‌شود که این سیستم‌ها قابلیت گسترش و اتصال به دیگر سیستم‌ها را نداشته باشند. لازم به ذکر است که در فناوری‌های نرم‌افزاری تدوین استاندارد با چالش‌های متعددی روبرو است ولی با ارائه استانداردهایی به جهت ارتباط بین مؤلفه‌ها می‌توان از انتقال پیچیدگی‌ها بین مؤلفه‌ها پیشگیری نمود؛ بنابراین ارائه استانداردها می‌تواند باعث توسعه و گسترش بهتر سیستم‌های تجدید پذیر شود.

۷-۲-۴-۳-۲ مراحل اجرا

- بررسی استانداردهای سیستم‌های تجدید پذیر
- تدوین یک مجموعه برای استانداردهای بخش‌های مختلف

۷-۲-۴-۴ پیاده‌سازی پایلوت به جهت تخمین تولید مبتنی بر توابع یادگیری ماشین

۷-۲-۴-۴-۱ تعریف موضوع و اهداف پروژه

سیستم‌های تجدید پذیر در سال‌های آینده بیشتر مورد استفاده قرار خواهند گرفت. فلذا پیاده‌سازی پایلوتی در جهت شناسایی و پیاده‌سازی یک نمونه اولیه از سامانه‌ای که امکان مدیریت سیستم‌های تجدید پذیر را مبتنی بر توابع یادگیری ماشین فراهم کند بسیار حیاتی خواهد بود. پیاده‌سازی این پایلوت امکان جهت‌دهی به توسعه‌های مختلف در سازمان‌های دست‌اندرکار صنعت انرژی را فراهم می‌نماید.

۷-۲-۴-۴-۲ مراحل اجرا

- بررسی پایلوت‌های موجود در حوزه انرژی‌های تجدید پذیر
- ارائه یک طراحی اولیه پایلوت تخمین تولید مبتنی بر توابع یادگیری ماشین
- پیاده‌سازی پایلوت تخمین تولید مبتنی بر توابع یادگیری ماشین

۷-۲-۴-۵ تاثیر زیرساخت‌های جدید مبتنی بر بلاکچین مانند توکن انرژی بر مدیریت سیستم‌های تجدید

پذیر

۷-۲-۴-۵-۱ تعریف موضوع و اهداف پروژه

در سال‌های اخیر بلاکچین در بسیاری از سیستم‌های انرژی موضوعیت پیدا کرده است. کاربردهای فناوری بلاکچین برای مدیریت توکن‌های انرژی در انرژی‌های تجدید پذیر و تولید پراکنده حائز اهمیت است بنابراین بررسی تأثیر زیرساخت‌های جدید مبتنی بر بلاکچین در سیستم‌های تجدید پذیر می‌تواند افق جدیدی در توسعه این سیستم‌ها و به‌کارگیری آن‌ها در سیستم‌های جدید انرژی در کشور ایجاد نماید.

۷-۲-۴-۵-۲ مراحل اجرا

- بررسی پروژه‌های انجام شده در حوزه بلاکچین با کاربرد در صنعت برق
- بررسی توکن‌های انرژی
- ارائه راهکارهایی مبتنی بر بلاکچین و توکن‌های انرژی برای سیستم‌های تجدید پذیر

۷-۲-۵ ذخیره‌سازهای انرژی

۷-۲-۵-۱ بهینه‌سازی سطح ولتاژ ذخیره‌ساز انرژی

۷-۲-۵-۲-۱ تعریف موضوع و اهداف پروژه

منابع تولید پراکنده یا منابع تجدیدپذیر در خانه‌های هوشمند و یا در ریز شبکه‌ها به‌منظور تولید برق و تا حدودی مستقل نمودن خانه هوشمند یا ریز شبکه از شبکه برق مورد استفاده هستند. انرژی برق تولید شده به‌طور پیوسته و

در مقیاس بالا توجیه ذخیره‌سازی ندارد اما میزان انرژی تولید شده از این منابع با توجه به شرایط آب و هوایی و جغرافیایی متغیر و در مقیاس پایین‌تر ذخیره‌سازی آن را توجیه‌پذیر می‌سازد. طول عمر ادوات ذخیره‌کننده انرژی بستگی به میزان شارژ و دشارژ آن‌ها در این مدت دارد. در نتیجه با توجه به میزان مصرف مورد نیاز می‌توان با کنترل تعداد دفعات شارژ و دشارژ و زمان آن‌ها، طول عمر ذخیره‌کننده‌های انرژی را افزایش داد. برای این بهینه‌سازی نیز می‌توان از روش‌های هوش مصنوعی استفاده نمود.

۷-۲-۵-۲-۱-۲ مراحل اجرا

- جمع‌آوری داده‌های مصرفی که نیاز به استفاده از ذخیره‌کننده دارند
- جمع‌آورده داده‌های بازدهی و طول عمر باطری‌ها و ذخیره‌کننده‌ها در طی یک چرخه حیات
- بهینه‌سازی زمان و مدت شارژ و دشارژ برای افزایش طول عمر ذخیره‌کننده با استفاده از روش‌های هوش مصنوعی

۷-۲-۵-۲-۲ بهینه‌سازی سطح ولتاژ ذخیره‌کننده انرژی به منظور حداکثر نمودن بهره اقتصادی

۱-۲-۵-۲-۷ تعریف موضوع و اهداف پروژه

ذخیره‌کننده انرژی از یک طرف به منابع تجدیدپذیر و از طرف دیگر برای تأمین برق مصرفی به خانه هوشمند، خودرو برقی و یا شبکه برق اصلی متصل است. مسلماً استفاده نکردن از برق شبکه یا فروش برق به شبکه می‌تواند منجر به صرفه‌جویی و حتی مزایای اقتصادی شود. برای حداکثر نمودن بهره اقتصادی می‌بایست در زمان‌هایی که تعرفه استفاده از شبکه برق بالاست حتی‌المقدور برق را به شبکه فروخت و زمانی که این تعرفه پایین است از برق شبکه استفاده و برق تولید شده از منابع تجدیدپذیر را در باطری‌ها ذخیره نمود. از آنجایی که شارژ شدن ذخیره‌کننده نیز به زمان و مکان وابسته است می‌توان از هوش مصنوعی برای تصمیم در مورد شارژ و دشارژ باطری‌ها در زمان‌های مختلف استفاده نمود.

۷-۲-۵-۲-۲ مراحل اجرا

- جمع‌آوری داده مربوط به مقدار شارژ ذخیره‌کننده توسط منابع تجدیدپذیر
- جمع‌آوری موارد مصرفی که قرار است از شارژ ذخیره‌کننده استفاده نمایند.
- جمع‌آوری تعرفه برق شبکه و هزینه مصرف
- بهینه‌سازی سطح ولتاژ ذخیره‌کننده برای شارژ از طریق منابع تجدیدپذیر و دشارژ برای موارد مصرفی به منظور حداکثر نمودن درآمد

۷-۲-۶ بازار برق

۷-۲-۶-۱ مدل سازی بازار برق با استفاده از تئوری بازی ها و هوش مصنوعی

۷-۲-۶-۱-۱ تعریف موضوع و اهداف پروژه

بازار برق یک بازار بسیار بزرگ و پیچیده است که در سال های آتی به پیچیدگی آن افزوده خواهد شد. تئوری های متعددی برای مدل سازی این بازار شده است. تئوری بازی ها یکی از مطرح ترین ابزارها برای مدل سازی بازار است که در آن عوامل بازار به یک بازی بزرگ نگاشت می شوند و نقاط تعادل بازار از طریق روش های ریاضی به دست می آید. یکی از مشکلات این روش ها استفاده از متغیرهایی است که رفتار واقعی بازار را نشان دهد که برای حل این مشکل از هوش مصنوعی در تلفیق با تئوری بازی ها برای مدل سازی بازار استفاده می شود؛ بنابراین مدل سازی بازار برق با استفاده از تئوری بازی ها و هوش مصنوعی می تواند در آینده نقش مهمی در مدیریت بازار برق داشته باشد.

۷-۲-۶-۱-۲ مراحل اجرا

- مدل سازی بازار برق با استفاده از تئوری بازی ها
- استخراج معادلات و نقاط تعادل
- ارائه رویه هایی مبتنی بر یادگیری ماشین برای حل معادلات

۷-۲-۶-۲ تخمین قیمت برق با در نظر گرفتن ناهمگونی منابع تولید مانند تولید پراکنده

۷-۲-۶-۲-۱ تعریف موضوع و اهداف پروژه

تخمین قیمت برق با در نظر گرفتن منابع متفاوت و ناهمگون که در تولید انرژی در سیستم های تولید پراکنده و تجدید پذیر ارائه می شود یک مسئله چالش برانگیز است. با توجه به ماهیت پیش بینی منابع که در این سیستم ها استفاده می شوند تخمین قیمت یک مسئله بنیادی است؛ بنابراین ارائه روش هایی برای تخمین قیمت برق یک مسئله مهم در آینده صنعت برق و خصوصاً بازار برق خواهد بود.

۷-۲-۶-۲-۲ مراحل اجرا

- استخراج نیازمندی های مسئله به جهت تخمین قیمت
- استخراج توابع یادگیری ماشین مورد نیاز
- ارائه روش هایی به جهت تخمین

۷-۲-۶-۳ ارائه یک معماری برای بازار برق

۷-۲-۶-۳-۱ تعریف موضوع و اهداف پروژه

بازار برق در حال تبدیل شدن به یک بازار بزرگ است که در آن تولیدکنندگان و مصرف کنندگان در یک سطح قرار می گیرند. هر مصرف کننده در این بازار می تواند به عنوان یک تولیدکننده محسوب شود. با توجه به تبادلات نظیر به نظیر انرژی در آینده صنعت برق نوع خرید و تبادل انرژی در حال تغییر است و ارائه یک معماری کلان برای بازار می تواند در جهت دهی به این بازار بسیار حائز اهمیت باشد. در صورت عدم ارائه یک معماری کلان برای این سیستم ها امکان مدیریت بر آن ها و یا تعامل بین اجزا وجود نخواهد داشت.

۷-۲-۶-۳-۲ مراحل اجرا

- استخراج نیازمندی های بازار برق
- ارائه یک معماری کلان برای بازار برق
- ارائه جزئیات برای اجزای معماری
- ارائه رویه های مورد نیاز برای هر بخش از معماری

۷-۲-۶-۴ استخراج توابع یادگیری ماشین مورد نیاز برای مدیریت بازار برق

۷-۲-۶-۴-۱ تعریف موضوع و اهداف پروژه

با توجه به استفاده وسیع از هوش مصنوعی و خصوصاً توابع یادگیری ماشین در تخمین قیمت برق می توان به این نکته اشاره داشت که یک مجموعه مشخص از توابع برای مدیریت بازار برق مورد نیاز خواهند بود. لازم به ذکر است با افزایش حجم بازار برق و سرعت تبادلات امکان مدیریت دستی وجود نخواهد داشت و استفاده از توابع یادگیری ماشین حیاتی خواهد بود.

۷-۲-۶-۴-۲ مراحل اجرا

- استخراج رویه های مدیریتی در بازار برق
- استخراج توابع یادگیری ماشین مورد نیاز
- ارائه راهکارهایی برای مدیریت مبتنی بر الگوریتم های یادگیری ماشین

۷-۲-۶-۵ تأثیر تحول دیجیتال و منابع تولید جدید مانند تولید پراکنده و تجدید پذیر بر بازار برق

۷-۲-۶-۵-۱ تعریف موضوع و اهداف پروژه

انقلاب صنعتی نسل چهارم و تحول دیجیتال نقش های متعددی را در توسعه صنایع به عهده گرفته اند. بررسی تأثیر تحول دیجیتال و مجموعه فناوری های جدید در این حوزه بر آینده صنعت برق و خصوصاً بازار برق حائز اهمیت خواهد بود. در صورت عدم بررسی تأثیرات این تحولات بر بازار برق ممکن است در سال های آتی امکان جبران خسارت های ناشی از آن وجود نداشته باشد. به عنوان مثال می توان به تأثیر فناوری بلاکچین بر صنعت برق اشاره داشت.

۷-۲-۵-۲ مراحل اجرا

- بررسی مفاهیم مورد نیاز از تحول دیجیتال
- بررسی مسیر راه بازار برق
- بررسی اثرات تحولات دیجیتال بر مسیر راه بازار برق

۷-۲-۶-۶ ارائه ابزارهای شبیه‌سازی و یا همزاد دیجیتال برای بررسی بازار برق

۷-۲-۶-۶-۱ تعریف موضوع و اهداف پروژه

بازار برق تبدیل به یک بازار بزرگ با سرعت تغییرات بالا خواهد شد و برای بررسی تصمیمات، خصوصاً تصمیماتی از جنس حاکمیتی نیازمند ابزارهایی برای شبیه‌سازی بازار برق هستیم. در این راستا هر تصمیم را قبل از اعمال آن در شبیه‌ساز مورد بحث و بررسی قرار می‌دهیم. فناوری‌های رایج شبیه‌سازی ممکن است در برخی از موارد کارا نباشد. در این موارد فناوری‌هایی مانند همزاد دیجیتال که شبیه‌سازی سیستم را با قابلیت‌های خاص (مناسب مدیریت) فراهم می‌نماید می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

۷-۲-۶-۶-۲ مراحل اجرا

- بررسی ابزارهای شبیه‌سازی و همزاد دیجیتال
- بررسی راهکارهای موجود برای شبیه‌سازی بازار
- ارائه رویه‌هایی برای مدیریت بازار مبتنی بر سناریوهای شبیه‌سازی

۷-۳ نتیجه‌گیری

در این گزارش به بیان تعدادی از پروژه‌هایی که در حوزه سیستم مدیریت هوشمند انرژی الکتریکی قابل تعریف می‌باشد پرداخته شده است که این موارد به شرح زیر می‌باشد.

۱. استفاده از روش‌های هوش مصنوعی به منظور پیاده‌سازی خانه هوشمند مبتنی بر راحتی و آسایش افراد داخل منزل

۲. استفاده از هوش مصنوعی برای بهینه نمودن مصرف انرژی ساختمان

۳. پیاده‌سازی خانه‌های با مصرف نزدیک به صفر

۴. بهینه‌سازی شارژ خودرو برقی در خانه هوشمند

۵. اجرا ریزشبکه نمونه در پژوهشگاه نیرو

۶. مرکز کنترل ریزشبکه

۷. بررسی و استخراج نیازمندی‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند

۸. بررسی و ارائه مدل مفهومی استفاده از بلاکچین و رایانش ابری در زیرسیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند

۹. بررسی الگوریتم‌های پیش‌بینی ترافیک کوتاه مدت و شبیه‌سازی یک نمونه موردی

۱۰. بررسی الگوریتم‌های کنترل چراغ‌های راهنمایی و رانندگی در چند تقاطع و شبیه‌سازی یک نمونه موردی

۱۱. مدیریت شارژ خودروهای برقی در پارکینگ‌های مجتمع‌های مسکونی و تجاری با استفاده از الگوریتم‌های

هوش مصنوعی

۱۲. ارائه شبیه‌سازی و یا همزاد دیجیتال از یک سیستم تجدید پذیر
۱۳. استخراج توابع یادگیری ماشین مورد نیاز و ارائه یک چهارچوب برای مدیریت سیستم‌های تجدید پذیر
۱۴. ارائه استانداردهایی جهت توسعه سیستم‌های تجدید پذیر
۱۵. پیاده‌سازی پایلوت به جهت تخمین تولید مبتنی بر توابع یادگیری ماشین
۱۶. تأثیر زیرساخت‌های جدید مبتنی بر بلاکچین مانند توکن انرژی بر مدیریت سیستم‌های تجدید پذیر
۱۷. بهینه‌سازی سطح ولتاژ ذخیره‌ساز انرژی
۱۸. بهینه‌سازی سطح ولتاژ ذخیره‌کننده انرژی به‌منظور حداکثر نمودن بهره اقتصادی
۱۹. مدل‌سازی بازار برق با استفاده از تئوری بازی‌ها و هوش مصنوعی
۲۰. تخمین قیمت برق با در نظر گرفتن ناهمگونی منابع تولید مانند تولید پراکنده
۲۱. ارائه یک معماری برای بازار برق
۲۲. استخراج توابع یادگیری ماشین مورد نیاز برای مدیریت بازار برق
۲۳. تأثیر تحول دیجیتال و منابع تولید جدید مانند تولید پراکنده و تجدید پذیر بر بازار برق
۲۴. ارائه ابزارهای شبیه‌سازی و یا همزاد دیجیتال برای بررسی بازار برق

- [1] <http://www.unep.org/geo/>
- [2] <http://amtt.ir/tag/%D9%85%D8%B5%D8%B1%D9%81%D8%A8%D8%B1%D9%82/>
- [3] Komali Yennet, Riya Rahiman, " Smart Energy Management Policy in India—A Review", mdpi. Journal.2019
- [4] <http://rotbehonline.ir/%D9%85%D9%86%D8%B4%D8%A7%DB%8C%DA%A9%E2%80%8C%DA%86%D9%87%D8%A7%D8%B1%D9%85%D8%A2%D9%84%D8%A7%DB%8C%D9%86%D8%AF%D9%87%D9%87%D8%A7%D8%AA%D9%88%D9%84%DB%8C%D8%AF-%D8%A8%D8%B1%D9%82-%D9%88-%DA%AF/>