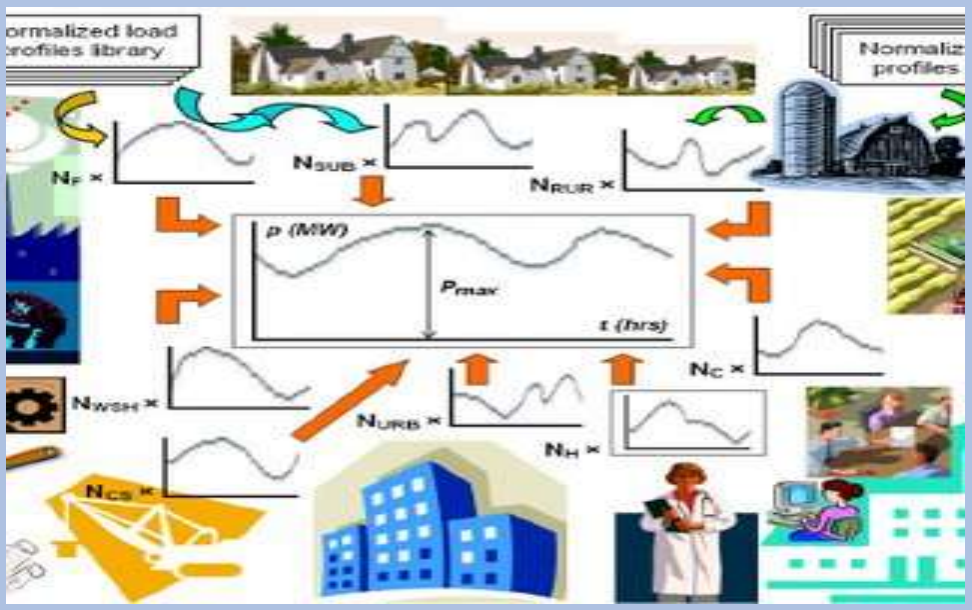
NRI-ER-1038-PDPN29-01-L

طراحی سامانه جامع پایش کیفیت توان در شبکه توزیع برق هوشمند



مجری دانشگاهی: آقای دکتر حسین ابوترابی زارچی

دانشگاه مجری: فردوسی مشهد

DOI: 10.30503/nripress.2020.209


بسم الله الرحمن الرحيم

طراحی سامانه جامع پایش کیفیت توان در شبکه توزیع برق هوشمند

مجری دانشگاهی: آقای دکتر حسین ابوترابی زارچی
دانشگاه مجری: فردوسی مشهد

همکاران پروژه: حسین ابوترابی زارچی – مجید علومی بایگی – محمدحسین جاویدی دشت بیاض – نوید یکتای – محمد حکمت – فاطمه دبوری فریمانی – محمدعلی زنگی آبادی – سینا شریفی – سارینا نعیمی – فاطمه ایمانی – لیلا سمیع‌زاده مشهدی – مسعود رضوانیان – جواد تقی‌زاده – سارا ملائی واثقی – سینا حاجی‌کاظمی – نگار حشمت

نماینده مدیر طرح: لیلا عبدی

واحد مجری: طرح اکتساب دانش فنی طراحی و پیاده‌سازی شبکه توزیع هوشمند، ریزشبکه (میکرو/نانو) و نیروگاه مجازی

انتشارات پژوهشگاه نیرو

اردیبهشت ۱۴۰۲

کد ثبت گزارش: NRI-ER-1038-PDPN29-01-L

DOI: 10.30503/nripress.2020.209

ایران. وزارت نیرو. پژوهشگاه نیرو. طرح اکتساب دانش فنی طراحی و پیاده سازی شبکه توزیع هوشمند، ریزشبکه (میکرو/نانو) و نیروگاه مجازی

طراحی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان در شبکه‌ی توزیع برق هوشمند/ نماینده مدیر طرح: لیلا عبدی. کارفرما: پژوهشگاه نیرو به نمایندگی شرکت توانیر، ۱۴۰۲.

۴۴۱ ص.: مصور، نمودار، جدول

۱. همکاران پروژه: حسین ابوترابی زارچی - مجید علومی بایگی - محمدحسین جاویدی دشت بیاض - نوید یکتای - محمد حکمت - فاطمه دبوری فریمانی - محمدعلی زنگی آبادی - سینا شریفی - سارینا نعیمی - فاطمه ایمانی - لیلا سمیع‌زاده مشهدی - مسعود رضوانیان - جواد تقی‌زاده - سارا ملائی واثقی - سینا حاجی‌کاظمی - نگار حشمت

۲. دانشگاه: فردوسی مشهد.

۳. مجری دانشگاهی (نام عضو هیأت علمی دانشگاه): ابوترابی زارچی، حسین.

۴. مدیر واحد مجری: عبدی، لیلا.

۵. نام محور پژوهشی مرتبط: شبکه هوشمند.

انتشارات پژوهشگاه نیرو

طرح اکتساب دانش فنی طراحی و پیاده‌سازی شبکه توزیع هوشمند، ریزشبکه (میکرو/نانو) و نیروگاه مجازی

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

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

تلفن: ۹-۸۸۰۷۹۴۰۱

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 همکارانی از دانشگاه شهید باهنر کرمان به شرح زیر و مورد تأیید اینجانب لیلا عبدی، نماینده مدیر طرح در پروژه "امکان‌سنجی افزایش ضریب بار شبکه برق کشور با تنظیم برنامه‌های تشویق-محور در روزهای کم‌باری با تمرکز بر مشترکین دارای کنتور هوشمند" 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. حسین ابوترابی زارچی
۲. مجید علومی بایگی
۳. محمدحسین جاویدی دشت بیاض
۴. نوید یکتای
۵. محمد حکمت
۶. فاطمه دبوری فریمانی
۷. محمدعلی زنگی آبادی
۸. سینا شریفی
۹. سارینا نعیمی
۱۰. فاطمه ایمانی

۱۱. لیلا سمیع‌زاده مشهدی

۱۲. مسعود رضوانیان

۱۳. جواد تقی‌زاده

۱۴. سارا ملائی واثقی

۱۵. سینا حاجی‌کاظمی

۱۶. نگار حشمت

پژوهشگاه نیرو
Niroo Research Institute

بررسی ادبیات موضوع پایش کیفیت توان و پیشنهاد شاخص‌های مدیریتی و ترکیبی کیفیت توان در دو سطح شرکت توزیع برق و شرکت توانیر



کارفرما: پژوهشگاه نیرو به نمایندگی شرکت توانیر

به نام خدا

پژوهشگاه نیرو

نام گزارش: بررسی ادبیات موضوع پایش کیفیت توان و پیشنهاد شاخص‌های مدیریتی و ترکیبی کیفیت توان در دو سطح شرکت توزیع برق و شرکت توانیر

کد گزارش–ویرایش: PDPN29/T1/ویرایش ۴

عنوان طرح/پروژه: طراحی سامانه جامع پایش کیفیت توان در شبکه‌ی توزیع برق هوشمند

واحد مجری پروژه: طرح اکتساب دانش فنی طراحی و پیاده‌سازی شبکه توزیع هوشمند، ریزشبکه (میکرو/نانو) و نیروگاه مجازی

مجری پروژه: خانم مهندس لیلا عبدی

مدیر واحد مجری پروژه: خانم مهندس لیلا عبدی

مدیر پروژه: خانم مهندس لیلا عبدی

تهیه کننده: پژوهشگاه نیرو

تاریخ: تیرماه ۱۴۰۱

پیشگفتار

در این گزارش، مطالعات صورت گرفته در مرحله‌ی اول پروژه‌ی "طراحی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان در شبکه‌ی توزیع برق هوشمند"، در چهار فصل تدوین شده است:

فصل اول: بررسی تجارب بین‌المللی در خصوص سامانه‌ی پایش کیفیت توان با استفاده از ترکیب زیرساخت اندازه‌گیری هوشمند و آنالایزر کیفیت توان

فصل دوم: بررسی قابلیت‌های کنتورهای فهام و MDM/HES از منظر اندازه‌گیری و فراخوانی پارامترهای کیفیت توان

فصل سوم: بررسی مطالعات بین‌المللی در خصوص گزارش‌دهی کیفیت توان و شاخص‌های موجود مدیریتی و ترکیبی کیفیت توان به‌منظور تعیین معیار/ ارزیابی و تجزیه و تحلیل عملکرد شرکت‌های توزیع برق

فصل چهارم: پیشنهاد شاخص‌های مدیریتی و ترکیبی کیفیت توان در دو سطح شرکت توزیع برق و شرکت توانیر با تأکید بر قابلیت کنتورهای هوشمند در کشور (گزارش‌دهی کیفیت توان)

کارفرما: پژوهشگاه نیرو

مدیر پروژه (پژوهشگاه نیرو): خانم مهندس لیلا عبدی

مدیر واحد مجری پروژه: خانم مهندس لیلا عبدی

دانشگاه مجری: دانشگاه فردوسی مشهد

مجری دانشگاهی: آقای دکتر حسین ابوترابی زارچی

تهیه‌کنندگان گزارش مرحله اول: آقای دکتر حسین ابوترابی، آقای مهندس نوید یکتای، آقای مهندس مسعود رضوانیان، خانم مهندس سارینا نعیمی، خانم مهندس لیلا سمیع‌زاده مشهدی، خانم مهندس فاطمه دبوری فریمانی، آقای مهندس محمد حکمت، خانم مهندس نگار حشمت، آقای مهندس جواد تقی‌زاده، آقای مهندس محمدعلی زنگی‌آبادی، آقای مهندس سینا شریفی.

ناظر پروژه: خانم دکتر آذین شجاعی (توانیر)

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: بررسی تجارب بین‌المللی در خصوص سامانه‌ی پایش کیفیت توان با استفاده از ترکیب زیرساخت اندازه‌گیری هوشمند و آنالایزر کیفیت توان ۱۶
۱–۱– مقدمه ۱۷
۱–۲– مروری بر رویکردها و اهداف پایش کیفیت توان در سطح بین‌المللی ۱۸
۱–۲–۱– تعاریف مربوط به اغتشاشات کیفیت توان [۱۳] [۱۴] ۲۰
۱–۲–۱–۱– فرورفتگی، برآمدگی و وقفه لحظه‌ای ولتاژ [۱۳] ۲۳
۱–۲–۱–۲– خطاهای سیستم ۲۴
۱–۲–۱–۳– اضافه ولتاژ و افت ولتاژ [۱۳] ۲۴
۱–۲–۱–۴– فلیکر [۱۳] ۲۵
۱–۲–۱–۵– اعوجاج هارمونیکی [۱۳] ۲۵
۱–۲–۱–۶– شکاف ولتاژ ۲۶
۱–۲–۲– اهداف اصلی پایش کیفیت توان [۱۶] ۲۶
۱–۲–۲–۱– تطابق با الزامات ۲۷
۱–۲–۲–۲– تجزیه و تحلیل عملکرد و تعیین معیار ۲۷
۱–۲–۲–۳– توصیف سایت ۲۷
۱–۲–۲–۴– عیب‌یابی ۲۸
۱–۲–۲–۵– مطالعات و کاربردهای پیشرفته ۲۸
۱–۲–۲–۶– مدیریت فعال کیفیت توان ۲۹
۱–۲–۳– عوامل مؤثر در پایش کیفیت توان ۲۹
۱–۲–۳–۱– تجهیزات نوین پایش کیفیت توان ۳۱
۱–۳– انتخاب سایت و محل نصب مانیتورها ۳۲
۱–۳–۱– پارامترهای عمومی انتخاب محل پایش ۳۲
۱–۳–۱–۱– زیرساخت ارتباطی ۳۲
۱–۳–۱–۲– وضعیت شبکه ۳۳
۱–۳–۱–۳– سطح ولتاژ ۳۳

۱–۳–۲– معیارهای انتخاب تعداد و محل مانیتورینگ [۵] ۳۴
۱–۳–۲–۱– تطابق با الزامات ۳۴
۱–۳–۲–۲– ارزیابی عملکرد ۳۵
۱–۳–۲–۳– بهینه‌سازی تعداد سایت‌های پایش کیفیت توان ۳۵
۱–۳–۲–۴– دوره‌ی زمانی پایش کیفیت توان ۳۶
۱–۳–۲–۵– توصیف سایت مشخص ۳۷
۱–۳–۲–۶– عیب‌یابی شبکه ۳۸
۱–۴– ویژگی‌های پارامترهای پایش کیفیت توان ۳۸
۱–۴–۱– ذخیره‌ی داده ۳۸
۱–۴–۱–۱– ذخیره داده متمرکز ۳۸
۱–۴–۱–۲– ذخیره داده توزیع‌شده ۳۹
۱–۴–۱–۳– ذخیره داده ترکیبی ۳۹
۱–۴–۲– وضوح داده ۴۰
۱–۴–۲–۱– نرخ نمونه‌برداری و فواصل جمع‌آوری اطلاعات ۴۰
۱–۴–۲–۲– پنجره‌ی میانگین‌گیری داده ۴۰
۱–۴–۲–۳– پردازش پیشین و پسین داده‌ها ۴۰
۱–۴–۲–۴– ذخیره، انتقال و قالب داده ۴۱
۱–۴–۳– خلاصه‌ی مقایسه‌ی پارامترهای کیفیت توان بر اساس اهداف شش‌گانه ۴۲
۱–۴–۳–۱– پارامترهای مهم در پایش کیفیت توان [۵] ۴۳
۱–۵– ارائه‌ی شاخص‌ها و نتایج پایش کیفیت توان ۴۵
۱–۵–۱– شاخص‌های پایش کیفیت توان ۴۵
۱–۵–۱–۱– هارمونیک ۴۵
۱–۵–۱–۲– فلیکر ۴۹
۱–۵–۱–۳– عدم‌تعادل ولتاژ ۵۲
۱–۵–۱–۴– فرورفتگی ولتاژ ۵۵
۱–۵–۴– مفاهیم اساسی گزارش کیفیت توان ۵۸
۱–۵–۴–۱– شاخص‌های کیفیت توان ۵۹

۱–۵–۴–۲– بازه‌ی تجزیه و تحلیل داده‌ها و گزارش‌دهی..... ۶۰
۱–۵–۴–۳– تطابق با الزامات..... ۶۰
۱–۵–۴–۴– تجزیه و تحلیل عملکرد و تعیین معیار [۵]..... ۶۴
۱–۵–۴–۵– توصیف سایت..... ۷۳
۱–۵–۴–۶– عیب‌یابی..... ۷۴
۱–۶– بررسی گزارش EPRI با موضوع پایش کیفیت توان..... ۷۵
۱–۶–۱– دامنه‌ی تغییرات کیفیت توان پروژه‌ی EPRI DPQ[۱۳]..... ۷۶
۱–۶–۱–۱– فناوری رله..... ۷۶
۱–۶–۱–۲– مروری بر رله‌های دارای قابلیت ثبت داده‌های کیفیت توان..... ۷۷
۱–۶–۲– ارتباطات رله‌ها..... ۷۸
۱–۶–۳– ذخیره‌ی اطلاعات در رله‌ها [۱۳]..... ۷۹
۱–۶–۴– قابلیت‌های کنتور هوشمند در سنجش کیفیت توان..... ۷۹
۱–۶–۵– برنامه‌های کاربردی..... ۸۲
۱–۶–۵–۱– اخطار قطع..... ۸۲
۱–۶–۵–۲– کنترل ولتاژ..... ۸۲
۱–۶–۵–۳–تعیین محل خطا..... ۸۲
۱–۶–۵–۴– رسیدگی به شکایات مشترک..... ۸۳
۱–۶–۵–۵– ضریب توان در پایش کیفیت توان..... ۸۳
۱–۶–۵–۶– تخمین حالت..... ۸۳
۱–۶–۶– چالش‌های پیاده‌سازی سیستم کیفیت توان..... ۸۳
۱–۷– پایش کیفیت توان به وسیله‌ی کنتورهای هوشمند با استفاده از GPRS..... ۸۴
۱–۷–۱– معماری سخت‌افزار و سیستم عامل برای پایش کیفیت توان..... ۸۶
۱–۷–۱–۱– معماری سخت‌افزار..... ۸۶
۱–۷–۱–۲– طراحی سیستم عامل در MCU..... ۸۸
۱–۷–۱–۳– HMI های پلتفرم پیشنهادی پایش کیفیت توان..... ۹۰
جمع‌بندی و نتیجه‌گیری..... ۹۴
فصل دوم: بررسی قابلیت‌های کنتورهای فهام و MDM/HES از منظر اندازه‌گیری و فراخوانی پارامترهای کیفیت توان..... ۹۵

۲–۱– مقدمه ۹۶
۲–۲–کنتورهای فهام ۹۶
۲–۲–۱– معرفی سند FID2 ..... ۹۶
۲–۲–۲– معماری سیستم و ساختار DLMS ۹۷
۲–۲–۳– قابلیت‌های MDM/HES ۱۰۰
۲–۲–۴– قرائت کنتورهای فهام ۱۰۳
۲–۲–۵– پروفایل بار ۱۰۴
۲–۲–۵–۱–ساختار پروفایل ۱۰۵
۲–۲–۵–۲–دوره‌ی تناوب ذخیره‌سازی ۱۰۶
۲–۲–۶– قابلیت‌های اندازه‌گیری کنتورهای فهام از منظر پارامترهای کیفیت توان ۱۰۶
۲–۲–۶–۱–ولتاژ متوسط ۱۰۶
۲–۲–۶–۲–افت و افزایش بیش از حد ولتاژ ۱۰۷
۲–۲–۶–۳–برش ولتاژ (از دست دادن ولتاژ) ۱۰۸
۲–۲–۶–۴–اندازه‌گیری هارمونیک ۱۰۸
۲–۲–۶–۵–فرورفتگی و برآمدگی ولتاژ ۱۰۹
۲–۲–۶–۶–وقفه ۱۰۹
۲–۲–۶–۷–نامتعادلی جریان ۱۱۰
۲–۲–۶–۸–جمع‌بندی ۱۱۲
۲–۳– بررسی کنتورهای فوق‌توزیع ۱۱۳
۲–۳–۱– کنتور ACE6000 ..... ۱۱۳
۲–۳–۱–۱– اضافه جریان ۱۱۵
۲–۳–۱–۲– برش ولتاژ ۱۱۵
۲–۳–۱–۳– قطع توان ۱۱۵
۲–۳–۱–۴– فرورفتگی ولتاژ ۱۱۵
۲–۳–۱–۵– برآمدگی ولتاژ ۱۱۶
۲–۳–۱–۶– THD ۱۱۶
۲–۳–۲– کنتور MK6E ۱۱۶

۲–۳–۲–۱– معرفی نرم‌افزار EZIVIEW ۱۱۸
۲–۳–۲–۲– معرفی ویژگی‌های رجیستر در کنتورهای MK6E ۱۱۹
۲–۳–۲–۳– درگاه‌های ارتباطی کنتور MK6E ۱۲۱
۲–۳–۲–۴– سیستم امنیت کنتور MK6E ۱۲۲
۲–۳–۲–۵– قابلیت‌های اندازه‌گیری MK6E از منظر پارامترهای کیفیت توان ۱۲۲
۲–۳–۲–۶– معرفی SURVEY در MK6E ۱۲۸
۲–۳–۲–۷– جمع‌بندی ۱۳۲
۲–۴– نتیجه‌گیری ۱۳۲
جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۱۳۵
فصل سوم: بررسی مطالعات بین‌المللی در خصوص گزارش‌دهی کیفیت توان و شاخص‌های موجود مدیریتی و ترکیبی کیفیت توان به‌منظور تعیین معیار/ ارزیابی و تجزیه و تحلیل عملکرد شرکت‌های توزیع برق ۱۳۶
۳–۱– مقدمه ۱۳۷
۳–۲– ارزیابی کلی کیفیت توان شبکه ۱۳۷
۳–۳– شاخص‌های سیستمی مبتنی بر ترکیب شاخص‌های تکی کیفیت توان ۱۳۷
۳–۳–۱– مراحل یکپارچه‌سازی شاخص ۱۳۹
۳–۳–۲– شاخص بیشینه ۱۴۰
۳–۳–۳– شاخص یکپارچه ۱۴۱
۳–۳–۴– شاخص میانگین [۴۱] ۱۴۲
۳–۳–۵– شاخص‌های تجمیعی پارامترهای گسسته‌ی کیفیت توان شبکه ۱۴۳
۳–۴– روش‌های وزن‌دهی ۱۴۷
۳–۴–۱– فرآیند تحلیل سلسله مراتبی ۱۴۷
۳–۴–۲– روش حداقل آنتروپی ۱۵۲
۳–۴–۳– روش‌های ترکیبی ۱۵۳
۳–۴–۴– روش‌های هوشمند ۱۵۵
۳–۵– شاخص مبتنی بر مقایسه شکل موج واقعی و ایده‌آل ۱۶۳
۳–۵–۱– خطای مقدار مؤثر نرمالیزه‌شده ۱۶۴
۳–۵–۲– شاخص کلی سه‌فاز نرمالیزه‌شده ۱۶۵

۳–۵–۳– معیار انحراف کیفیت ولتاژ ۱۶۶
۳–۶– شاخص مبتنی بر اثرات اقتصادی اغتشاشات کیفیت توان ۱۶۶
جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۱۶۷
فصل چهارم: پیشنهاد شاخص‌های مدیریتی و ترکیبی کیفیت توان در دو سطح شرکت توزیع برق و شرکت توانیر با تأکید بر قابلیت کنتورهای هوشمند در کشور (گزارش‌دهی کیفیت توان) ۱۶۸
۴–۱– مقدمه ۱۶۹
۴–۲– دیدگاه کلی در ارائه‌ی شاخص تجمیعی کیفیت توان ۱۶۹
۴–۲–۱– توابع هدف ارائه‌ی شاخص یکپارچه ۱۷۳
۴–۲–۲– ویژگی‌های سایت پایش کیفیت توان ۱۷۴
۴–۳– شاخص تجمیعی با هدف رؤیت‌پذیری وضعیت کیفیت توان شبکه ۱۷۵
۴–۳–۱– ویژگی‌های مؤثر هر سایت ۱۷۵
۴–۳–۲– روش وزن‌دهی ۱۷۸
۴–۴– شاخص پیشنهادی ۱۷۸
۴–۴–۱– شاخص‌های تکی کیفیت توان ۱۸۰
۴–۴–۲– محاسبه‌ی بردار شاخص تجمیعی ۱۸۱
۴–۴–۳– تشکیل ماتریس ضرایب وزنی ۱۸۳
۴–۴–۴– محاسبه‌ی ضرایب وزنی معیارها از روش AHP ۱۸۴
۴–۴–۵–جمع‌بندی و نکات تکمیلی ۱۸۵
جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۱۹۳
پیوست۱ ..... ۱۹۵
پیوست۲ ..... ۲۰۰
مراجع ۲۰۴

فهرست تصاویر

عنوان **صفحه**

شکل ۱–۱– تغییرات کوتاه‌مدت معمول در ولتاژ RMS ۲۴
شکل ۱–۲– نمونه‌ای از افت ولتاژ RMS ۲۵
شکل ۱–۳– نمونه‌ای از فلیکر در ولتاژ ۲۵
شکل ۱–۴– نمونه‌ی موج ولتاژ با هارمونیک‌های درجه ۳ و اعوجاج هارمونیکی کل ۱۷/۴۲ درصد ۲۶
شکل ۱–۵– نمونه‌ی شکل موج همراه با شکاف ۲۶
شکل ۱–۶– نمودار هماهنگی ولتاژ با توجه به IEEE Std.493 و .IEEE Std.1346 ۵۸
شکل ۱–۷– نمونه‌ی نمودار روند شامل مقادیر صدک ۶۱
شکل ۱–۸– نمودار نشان دادن درصد سایت‌های با اختلالات بیش از حد مجاز ۶۴
شکل ۱–۹– نمودار کانتور – ۹۵ درصد از ۲۱۵ نقطه‌ی اندازه‌گیری [۵] ۶۵
شکل ۱–۱۰– نمونه‌ای از هیستوگرام برای اختلالات پیوسته (عدم‌تعادل ولتاژ) ۶۷
شکل ۱–۱۱– صفحه‌ی ولتاژ–زمان با بالا) منحنی CBEMA پایین) منحنیITIC (برای سایت‌های مختلف) ۶۸
شکل ۱–۱۲– صفحه‌ی ولتاژ–زمان با منحنی حفاظت پوشش داده شده ۶۹
شکل ۱۳–۱– نمونه‌ای از نمودار میله‌ای که نشان‌دهنده‌ی سطح اختلال برای هر سایت است (سایت‌ها به‌ترتیب عملکرد بهتر به بدتر، از چپ به راست مرتب شده‌اند) ۷۰
شکل ۱–۱۴– نمونه‌ی هیستوگرام سطح اختلال سایت ۷۱
شکل ۱–۱۵– نمودار توزیع سطح اختلال سایت ۷۱
شکل ۱–۱۶– نمونه‌ی نمودار درصد سایت‌های بیش از حد مجاز ۷۲
شکل ۱–۱۷– نمونه‌ی نمودار تعیین معیار ۷۳
شکل ۱–۱۸– نمونه‌ی نمودار روند عدم تعادل ۷۴
شکل ۱–۱۹– نمونه‌ی نمودار تغییرات فصلی عدم تعادل ۷۴
شکل ۱–۲۰– نمونه‌ای از نمودار روند اختلال متناسب با زمان [۵] ۷۶
شکل ۱–۲۱– نمودارهای RMS ولتاژ که نتایج مختلف نمونه‌گیری RMS را برای یک چرخه‌ی ٪۵۰ نشان می‌دهد ۸۳
شکل ۱–۲۲– جریان عملیاتی برای کنتورهای معمولی در مقابل جریان چندبخشی از کنتورهای هوشمند با قابلیت پایش کیفیت توان ۸۶
شکل ۱–۲۳– پیکربندی سیستم پایش کیفیت توان منطقه‌ی وسیع مبتنی برGPRS [۳۰] ۸۸
شکل ۱–۲۴– پیکربندی سیستم عامل پایش کیفیت توان ۸۹
شکل ۱–۲۵– فلوچارت نحوه‌ی انتقال داده‌های کیفیت توان در MCU ۹۰
شکل ۱–۲۶– فلوچارت تجزیه و تحلیل کیفیت توان ۹۱
شکل ۱–۲۸– اطلاعات نمایش داده شده در موبایل ۹۲
شکل ۱–۲۹– PPC مبتنی بر HMI ارائه شده ۹۳
شکل ۱–۳۰– پایش کیفیت توان منطقه‌ی وسیع ۹۴
شکل ۱–۳۱– فلوچارت برنامه‌های TCP/IP ۹۵
شکل ۲–۱– معماری سیستم فهام [۳۵] ۱۰۰
شکل ۲–۲– نمایی از نحوه‌ی ارتباط کنتورهای فهام با سیستم‌های مرکزی [۳۶] ۱۰۵
شکل ۲–۳– شرایط نامتعادلی جریان در کنتورهای فهام ۱۱۵
شکل ۲–۴– محل نصب کنتورهای بازار برق [۳۷] ۱۱۷
شکل ۲–۵– کنتور ACE6000 ۱۱۸
شکل ۲–۶– کنتور MK6E ۱۲۱

شکل ۲-۷- صفحه‌ی مربوط به درگاه‌های ارتباطی نرم‌افزار EziView [۳۹] ۱۲۵
شکل ۲-۸- مؤلفه‌های هارمونیک ولتاژ لحظه‌ای در نرم‌افزار EziView ۱۳۱
شکل ۲-۹- شکل موج ولتاژ لحظه‌ای در نرم‌افزار EziView ۱۳۱
شکل ۲-۱۰- صفحه‌ی تنظیمات هشدارهای MK6E ۱۳۳
شکل ۲-۱۱- نمایی از یک Survey در MK6E [۳۹] ۱۳۴
شکل ۲-۱۲- تنظیمات کانال‌های load survey مربوط به داده‌های انرژی MK6E ۱۳۵
شکل ۲-۱۳- تنظیمات کانال‌های load survey مربوط به داده‌های اندازه‌گیری‌های لحظه‌ای MK6E ۱۳۵
شکل ۲-۱۴- ابزار ثبت وقایع در EziView ۱۳۶
شکل ۲-۱۵- تنظیمات فرورفتگی و برآمدگی ولتاژ در EziView ۱۳۶
شکل ۳-۱- استخراج شاخص تجمیعی از شاخص‌های تکی کیفیت توان [۴۱] ۱۴۳
شکل ۳-۲- برازش منحنی CBEMA و ITIC در نواحی مختلف [۵] ۱۵۰
شکل ۳-۳- مراحل استخراج شاخص تجمیعی کیفیت توان از روش AHP [۴۷] ۱۵۳
شکل ۳-۴- مراحل استخراج شاخص تجمیعی کیفیت توان از شاخص‌های تکی هر سایت [۸] ۱۵۵
شکل ۳-۵- مراحل استخراج شاخص تجمیعی کیفیت توان از شاخص‌های تکی هر سایت بر اساس روش AHP [۴۸] ۱۵۵
شکل ۳-۶- وضعیت سایت‌های پایش‌شده بر اساس شاخص‌های تجمیعی پیشنهادی [۴۸] ۱۵۶
شکل ۳-۷- روش AHP و مراحل تشکیل شاخص تجمیعی کیفیت توان [۴۹] ۱۵۷
شکل ۳-۸- مراحل محاسبه‌ی ضرایب وزنی از روش آنتروپی [۵۰] ۱۵۸
شکل ۳-۹- مراحل ارزیابی کلی کیفیت توان از روش TOPSIS بهبودیافته [۵۲] ۱۶۰
شکل ۳-۱۰- الگوریتم کلی پیاده‌سازی شده جهت استخراج شاخص کل از روش فازی در [۵۳] ۱۶۴
شکل ۳-۱۱- الگوریتم کلی استخراج ضرایب شاخص تجمیعی از روش فازی [۵۳] ۱۶۵
شکل ۳-۱۲- الگوریتم استخراج شاخص تجمیعی از روش فازی با استفاده از ماژول‌های مختلف [۵۵] ۱۶۹
شکل ۳-۱۳- محاسبه‌ی شاخص تجمیعی از مقایسه‌ی شکل موج واقعی و ایده‌آل [۴۲] ۱۷۰
شکل ۳-۱۴- شکل موج‌های اندازه‌گیری شده و ایده‌آل [۴۲] ۱۷۰
شکل ۴-۱- ساختار کلی ارائه‌شده به‌منظور تعیین شاخص تجمیعی کیفیت توان ۱۷۷
شکل ۴-۲- اهداف، ادوات اندازه‌گیری، پارامترهای پایش و شاخص‌های سامانه‌ی پایش کیفیت توان ۱۷۸
شکل ۴-۲- مراحل تعیین شاخص تجمیعی پیشنهادی ۱۸۶
شکل ۴-۳- الگوریتم محاسبه‌ی شاخص‌های تجمیعی پیشنهادی ۱۹۲
شکل ۴-۴- نحوه‌ی محاسبه‌ی شاخص تجمیعی ۱۹۸

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۱–۱– حدود مجاز فلیکر در شبکه ۱۹
جدول ۱–۲– حدود مجاز هارمونیک ولتاژ در شبکه ۲۰
جدول ۱–۳– حدود مجاز درصد عدم تعادل ولتاژ ۲۰
جدول ۱–۴– حدود مجاز اعوجاج جریان برای مشترکین فوق توزیع ۴۰۰ ولت، ۲۰ و ۳۳ کیلوولت ۲۰
جدول ۱–۵– حدود مجاز اعوجاج جریان برای مشترکین فوق توزیع ۶۳ و ۱۳۲ کیلوولت ۲۱
جدول ۱–۶– حدود مجاز اعوجاج جریان برای شبکه‌های انتقال فشار قوی ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت ایران ۲۱
جدول ۱–۷– دسته‌بندی اغتشاشات کیفیت توان – [۱۴]IEEE 1159-2019 ۲۲
جدول ۱–۲– بازه‌های زمانی برای رصد پارامترهای کیفیت توان [۱۷] [۱۸] ۳۰
جدول ۱–۳– مزایا و معایب استفاده از رله‌های دیجیتال به‌منظور پایش کیفیت توان ۳۱
جدول ۱–۴– محل پایش کیفیت توان مطابق با اهداف مختلف ۳۳
جدول ۱–۵– مزایا و معایب شیوه‌ی نصب تجهیزات ۳۸
جدول ۱–۶– پارامترهای اندازه‌گیری کیفیت توان مطابق با اهداف شش‌گانه ۴۰
جدول ۱–۷– خلاصه‌ی مقایسه‌ی پارامترهای کیفیت توان بر اساس اهداف شش‌گانه ۱ ۴۳
جدول ۱–۸– خلاصه‌ی مقایسه‌ی پارامترهای کیفیت توان بر اساس اهداف شش‌گانه ۲ ۴۴
جدول ۱–۹– مقایسه‌ی خلاصه‌ای از شاخص‌های هارمونیک بین استانداردها و دستورالعمل‌های مختلف ۴۹
جدول ۱–۱۰– میزان مجاز مؤلفه‌های هارمونیک ولتاژ در استانداردهای مختلف ۵۰
جدول ۱–۱۱– مقایسه‌ی شاخص‌های فلیکر بین استانداردهای مختلف و اسناد مرجع ۵۳
جدول ۱– ۱۲– مقایسه‌ی خلاصه شاخصهای عدم‌تعادل ولتاژ بین استانداردهای مختلف و اسناد مرجع ۵۶
جدول ۱–۱۳–ارائه‌ی نتایج فرورفتگی ولتاژ مطابق با استاندارد IEC 61000-2-8 ۵۸
جدول ۱–۱۴– روش گزارش فرورفتگیNRS-048-2: 2003 ۵۹
جدول ۱–۱۵–تغییر ولتاژ هفتگی در یک باسبار ۲۰ کیلوولت ۶۳
جدول ۱–۱۶– نمایش سازگاری تعدادی از سایتها برای تعدادی از اختلالات [۵] ۶۴
جدول ۱–۱۷– جدول IEC 61000-2-8 یک نقطه‌ی اندازه‌گیری برای یک سال [۵] ۶۵
جدول ۱–۱۸– جدول IEC 61000-2-8 تمام نقاط اندازه‌گیری ۱۵۰ کیلوولت برای یک سال – صدک ۹۵ [۵] ۶۶
جدول ۱–۱۹– نمونه‌ای از محاسبه‌ی شاخصهای منفرد از سایتهای مختلف ۷۲
جدول ۱–۲۰– داده‌های آماری اختلالات پیوسته [۵] ۷۵
جدول ۱–۲۱– شاخص‌های قابلیت اطمینان ۷۷
جدول ۲۲–۱– شاخص‌های کیفیت توان ۷۸
جدول ۲۳–۱– کدهای استاندار برای توابع مختلف حفاظتی رله‌ها ۷۷
جدول ۱–۲۴– مقایسه‌ی توانایی‌های رله‌های مختلف برای ثبت داده‌های کیفیت توان ۷۹
جدول ۱–۲۵– پروتکل‌های ارتباطی پشتیبانی شده توسط رله‌های مختلف [۱۳] ۸۰
جدول ۲۶–۱– ویژگی‌های کنتورهای هوشمند برای هر دسته از کنتورها ۸۲
جدول ۱–۲۷– نرخ نمونه‌ی شکل موج برای پارامترها و رویدادهای مختلف کیفیت توان ۸۴
جدول ۱–۲۸– داده‌های غیرعادی کیفیت توان ۹۶
جدول ۲–۱– سرویس DLMS در حالت‌های عملیاتی [۳۳] ۱۰۱
جدول ۲–۲– انواع Client در کنتورهای فهام [۳۳] ۱۰۱
جدول ۲–۳– نحوه‌ی قطع ارتباط با گیرنده در موارد خاص در کنتورهای فهام [۳۳] ۱۰۲

جدول ۲–۴– لایه‌های سرویس‌های اجباری در کنتورهای فهام [۳۳] ۱۰۴
جدول ۲–۵– داده‌های ارزیابی مدیریتی کنتورهای فهام [۳۴] ۱۰۶
جدول ۲–۶– لیست هشدارهای ارائه شده توسط MDM [۳۴] ۱۰۷
جدول ۲–۷– رزولوشن اندازه‌گیری کنتورهای فهام [۳۳] ۱۰۸
جدول ۲–۸– انواع پروفایل در کنتورهای فهام [۳۳] ۱۰۹
جدول ۲–۹– ساختار پروفایل بار در کنتورهای فهام [۳۳] ۱۱۰
جدول ۲–۱۰– قابلیت کنتورهای مختلف فهام از منظر اندازه‌گیری پارامترهای کیفیت توان ۱۱۶
جدول ۲–۱۱– مشخصات اصلی کنتور ACE6000 [۳۶] ۱۱۸
جدول ۲–۱۲– مشخصات اصلی کنتور MK6E [۳۷] ۱۲۲
جدول ۲–۱۳– نماد اختصاری واحد رجیسترهای MK6E [۳۸] ۱۲۴
جدول ۲–۱۴– رجیسترهای اندازه‌گیری‌های لحظه‌ای MK6E [۶] ۱۲۸
جدول ۲–۱۵– رجیسترهای کیفیت توان MK6E [۳۸] ۱۲۹
جدول ۲–۱۶– رجیسترهای هارمونیک جریان و ولتاژ MK6E [۳۸] ۱۲۹
جدول ۲–۱۷– رجیسترهای فرورفتگی و برآمدگی ولتاژ MK6E [۳۸] ۱۳۰
جدول ۲–۱۸– هشدارهای کنتور MK6E [۳۷] ۱۳۲
جدول ۲–۱۹– قابلیت‌های کنتورهای MK6E از منظر اندازه‌گیری پارامترهای کیفیت توان ۱۳۷
جدول ۲–۲۰– مقایسه‌ی قابلیت‌های اندازه‌گیری پدیده‌های کیفیت توان در کنتورهای مختلف ۱۳۸
جدول ۳–۱– مقدار مجاز شاخص‌های کیفیت توان بر اساس استاندارد EN 50160 ..... ۱۴۴
جدول ۳–۲– حدود مجاز برای اغتشاشات گسسته [۲] ۱۵۱
جدول ۳–۳– عناصر ماتریس قضاوت در روش AHP برای تشکیل شاخص تجمیعی کیفیت توان [۴۷] ۱۵۶
جدول ۳–۴– عناصر ماتریس قضاوت در روش AHP برای تشکیل شاخص تجمیعی کیفیت توان [۴۹] ۱۵۹
جدول ۳–۵– عناصر ماتریس قضاوت در روش AHP برای وزن‌دهی [۵۰] ۱۵۹
جدول ۳–۶– متغیرهای زبانی به کار رفته در روش فازی [۵۰] ۱۶۳
جدول ۴–۱– عناصر ماتریس قضاوت در روش AHP برای تشکیل شاخص تجمیعی کیفیت توان [۵] ۱۹۱
جدول ۴–۲– نمادهای به کار رفته در محاسبه‌ی شاخص تجمیعی پیشنهادی ۱۹۴
جدول ۱. مقادیر ماتریس شاخص‌های کیفیت توان تکی نرمالایزشده در سایت‌های شبکه‌ی نمونه ۲۰۲
جدول ۲. سطح اتصال کوتاه، بار و تعداد مشترکین در سایت‌های شبکه‌ی نمونه ۲۰۲
جدول ۳. بردار ضرایب وزنی مربوط به سطح اتصال کوتاه، بار و تعداد مشترکین در شبکه نمونه ۲۰۳
جدول ۴. ضرایب وزنی مربوط به اهمیت سطح اتصال کوتاه، بار و تعداد مشترکین در محاسبه بردار ضرایب وزنی ۲۰۳
جدول ۵. ضرایب وزنی مربوط به اغتشاشات کیفیت توان با در نظر گرفتن هر ویژگی در شبکه نمونه ۲۰۳
جدول ۶. مقادیر ماتریس ضرایب وزنی W اغتشاشات در سایت‌های شبکه‌ی نمونه ۲۰۴
جدول ۷. مقادیری شاخص تجمیعی هر اغتشاش در شبکه نمونه ۲۰۴
جدول ۸. مقادیر شاخص تجمیعی در سایت‌های شبکه نمونه ۲۰۴
جدول ۹. مقادیر شاخص تجمیعی هر اغتشاش در شرکت‌های توزیع یک و دو ۲۰۵
جدول ۱۰. مقادیر شاخص تجمیعی کل در شرکت‌های توزیع یک و دو ۲۰۵

فهرست برگردان‌های اصطلاحات انگلیسی

Benchmarking	تعیینِ معیار
Dip	فرورفتگی
Flicker	فلیکر
Long Time	بلندمدت
Momentry Interruption	وقفه لحظه‌ای
Over Voltage	اضافه ولتاژ
Short Time	کوتاه‌مدت
Unbalanced	عدم‌تعادل
Under Voltage	افت ولتاژ
Very Short Time	بسیار کوتاه‌مدت
Voltage Charactristics	ویژگی‌های ولتاژ
Voltage Notching	شکاف ولتاژ
Voltage Sag	فرورفتگی ولتاژ
Voltage Swell	برآمدگی ولتاژ

مقدمه

در اولین مرحله از پروژه‌ی "طراحی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان[1] در شبکه توزیع برق هوشمند"، مطالعه‌ای با استفاده از تجارب بین‌المللی در خصوص سامانه‌های پایش کیفیت توان، با استفاده از زیرساخت اندازه‌گیری هوشمند و هم‌چنین، بر اساس قابلیت‌های کنتورهای فهام و MDM/HES از منظر اندازه‌گیری و فراخوانی پارامترهای کیفیت توان و بر اساس الزامات فهام و شاخص‌های موجود مدیریتی و ترکیبی کیفیت توان صورت گرفته است. مطالعه‌ی جاری به‌منظور تعیینِ معیار/ارزیابی[2] و تجزیه و تحلیل عملکرد[3] که از اهداف پایش کیفیت توان است در شرکت‌های توزیع برق صورت گرفته و پیشنهاد شاخص‌های مدیریتی و ترکیبی کیفیت توان، در دو سطح شرکت توزیع برق و شرکت توانیر با تأکید بر قابلیت‌های کنتورهای هوشمند در کشور انجام شده است.

در ابتدا در این مرحله از پروژه، به بررسی تجارب بین‌المللی در خصوص سامانه‌ی پایش کیفیت توان با استفاده از ترکیب زیرساخت اندازه‌گیری هوشمند و آنالایزر کیفیت توان پرداخته شده است که با معرفی اهداف پایش کیفیت توان در سطح بین‌المللی، معیارهای انتخا تعداد و محل مانیتورینگ، تجهیزات نوین پایش کیفیت توان، انتخاب پارامترهای پایش کیفیت توان و ارائه شاخص‌ها و نتایج پایش ، بررسی گزارشات EPRI با موضوع پایش کیفیت توان و در انتها برنامه‌های کاربردی موجود برای پایش کیفیت توان، بررسی گردیده است.

در مرحله بعد، به بررسی قابلیت کنتورهای فهام و MDM/HES از منظر اندازه‌گیری و فراخوانی پارامترهای کیفیت توان پرداخته شده است که در این بخش اسناد موجود برای کنتورهای فهام ACE6000 و MK6E مورد بررسی قرار گرفته است.

در مرحله بعد، به بررسی مطالعات بین‌المللی در خصوص گزارش‌دهی کیفیت توان و شاخص‌های موجود مدیریتی و ترکیبی کیفیت توان به منظور تحلیل عملکرد شرکت‌های توزیع برق پرداخته شده است که شاخص‌های مرتبط با کیفیت توان مورد بررسی قرار گرفته است.

در مرحله آخر، شاخص‌های مدیریتی و ترکیبی کیفیت توان در دو سطح شرکت توزیع برق و شرکت توانیر با تأکید بر قابلیت کنتورهای هوشمند در کشور (گزارش‌دهی کیفیت توان) پیشنهاد شده است.

---

[1] Power Quality (PQ)

[2] Benchmarking

[3] Performance Analysis

فصل اول: بررسی تجارب بین‌المللی در خصوص سامانه‌ی پایش کیفیت توان با استفاده از ترکیب زیرساخت اندازه گیری هوشمند و آنالایزر کیفیت توان

۱-۱- مقدمه

در سال‌های اخیر، پایش کیفیت توان در سیستم‌های قدرت به‌طور چشم‌گیری رواج یافته است. پایش ولتاژها و جریان‌ها، اطلاعات مفیدی را در مورد عملکرد کلی سیستم و مخصوصاً مکان‌های مدنظر بهره‌بردار، به وی ارائه می‌دهد.

پیشرفت فناوری (تجهیزات پایش، فناوری ارتباطات، ذخیره سازی و پردازش داده‌ها) امکان نظارت در مقیاس بزرگ و ثبت تقریباً همه‌ی پارامترهای مورد نظر در کیفیت توان را فراهم آورده است.

درحالی که بهره‌برداران بسیاری در حال نصب تجهیزات پایش کیفیت توان جدید هستند و هم‌چنین سازندگان بسیاری، اجزای مدرن‌تری را برای سیستم‌های پایش کیفیت توان تولید می‌کنند، دانش و توافق کافی در مورد بسیاری از ابعاد فرآیند پایش کیفیت توان و به‌ویژه در مورد پردازش داده‌های ثبت‌شده وجود ندارد.

اولین گام پس از جمع‌آوری داده‌های کیفیت توان، گزارش‌دهی آن به روشی ساده و قابل‌فهم است. در این‌جا، روش‌های کاملاً پیشرفته و پذیرفته‌شده‌ای برای تجزیه و تحلیل و گزارش اختلالات پیوسته، مانند تغییر ولتاژ، هارمونیک‌ها، فلیکر[1] و عدم‌تعادل وجود دارد. پس از پایش کیفیت توان در سطح سیستم قدرت، در نهایت، مناطق دارای شرایط خاص از نظر کیفیت توان با توجه به نتایج پایش برای بررسی بیش‌تر شناسایی می‌شوند.

در طراحی سیستم‌های گسترده‌ی پایش کیفیت توان، مانند آن‌چه در این پروژه مدنظر است، نیاز است موارد زیر مدنظر قرار گیرد:

۱. استفاده از روش‌های ساده و استاندارد برای ذخیره سازی داده‌های کیفیت توان دریافت شده از زیر سیستم‌های پایش

۲. تجزیه و تحلیل دقیق داده‌ها و روش‌های مناسب گزارش‌دهی برای اختلالات گسسته‌ی کیفیت توان

۳. ایجاد یک گروه کارشناسی تنظیم‌کننده‌ی الزامات برای ارائه‌ی روش‌های استاندارد در محاسبه‌ی مشخصات ولتاژ و جریان

۴. توسعه‌ی تکنیک‌های پایش، تجزیه و تحلیل و گزارش‌دهی برای مدیریت فعال کیفیت توان

۵. توسعه‌ی نرم‌افزار، ارائه و نمایش داده‌ها برای راحتی ردیابی و نمایش گرافیکی وضعیت کیفیت توان سیستم، به‌منظور تسهیل مدیریت و شناسایی مناطق ضعیف شبکه از منظر یک یا ترکیبی از پارامترهای کیفیت توان

۶. استفاده از راه‌حل‌های عملی برای جمع‌آوری، ترکیب و گزارش داده‌های کیفیت توان از دستگاه‌های مختلف اندازه‌گیری

۷. استفاده از رویکردهای صحیح در ارزیابی و تجزیه و تحلیل گزارش‌های کیفیت توان بر اساس منابع سنجش ذکرشده.

در ژانویه ۲۰۱۱، گزارش JWG C4.112 توسط CIGRE و CIRED منتشر شده که شامل موارد زیر می‌شود و در این پروژه به شکل ویژه مدنظر قرار گرفته است: [۱]

[1] Flicker

- در مورد انتخاب سایت‌ها[1] برای نصب تجهیزات پایش و تعداد مانیتورهای موردنیاز برای به‌دست آوردن یک تصویر کاملاً دقیق از کیفیت توان، دستورالعمل‌هایی ارائه شده است.
- اطلاعاتی راجع به مصالحه‌ی بین هزینه‌های نظارت و میزان اطلاعات جمع‌آوری‌شده، ارائه شده است. هم‌چنین، ارزش عملی اطلاعات اضافی به‌دست‌آمده با اضافه کردن مانیتورهای بیش‌تر، در برابر پیچیدگی استخراج و طبقه‌بندی اطلاعات ارائه شده است.
- امکان و مزایای احتمالی قابلیت پایش در تعداد زیادی از دستگاه‌های اندازه‌گیری و یا رله‌های حفاظتی درنظر گرفته شده است.
- روشی برای تخمین قابلیت اطمینان با استفاده از شاخص‌های مربوط به کیفیت توان در مکان‌های بدون تجهیزات پایش پیشنهاد شده است.
- رهنمودهایی در مورد انتخاب پارامترهایی که باید ذخیره شوند، شامل نرخ و دقت نمونه‌برداری و پنجره‌ی میانگین‌گیری داده‌ی مناسب ارائه شده است.
- توصیه‌های عملی درباره‌ی چگونگی و محل ذخیره‌سازی نتایج نظارت، با درنظر گرفتن برنامه‌های کاربردی احتمالی آینده (به‌عنوان مثال اگر داده‌ها برای انتقال به یک مکان مرکزی باید در قالب خام یا پردازش‌شده باشد) پیشنهاد شده است.
- با درنظر گرفتن انواع مختلف نیازهای برنامه‌ی پایش کیفیت توان و فرآیندهای تصمیم‌گیری مختلف که ممکن است اعمال شود، دستورالعمل‌هایی در مورد ارائه‌ی نتایج پایش ارائه شده است.

۱-۲- مروری بر رویکردها و اهداف پایش کیفیت توان در سطح بین‌المللی

در سال‌های اخیر، برنامه‌های پایش کیفیت توان بسیاری در نقاط مختلف جهان اجرا شده است. در این بخش، نتایج این مطالعات به‌اختصار ارائه می‌شود.

نتایج برنامه‌ی چهار ساله‌ی پایش کیفیت توان (۱۹۹۰-۱۹۹۴)، که توسط آزمایشگاه ملی قدرت[2] (NPL) تحلیل شده است، در [۲] آمده است. سیستم پایش مذکور، ۱۱۲ مکان را در آمریکا و کانادا پوشش می‌دهد. مشکل استفاده از داده‌های برنامه‌های پایش برای برآورد پایش کیفیت توان شبکه‌ی قدرت موردانتظار نیز در [۳] گزارش شده است که به‌صورت مقایسه‌ای، نتایج برنامه‌ی پایش NPL و داده‌ها و نتایج دو برنامه‌ی پایش دیگر را بررسی می‌کند. یکی از

[1] منظور از سایت، نقطه‌ای از سیستم است که ویژگی‌های الکتریکی یکسانی دارد. به دلیل مشکل بودن مشاهده‌ی اینکه هر سایت چه بخشی را شامل می شود (از نظر جغرافیایی و شبکه‌ای)، هر کنتور، یک سایت در نظر گرفته شده است. کنتورها، مانند کنتورهای مرجع ترانس و کنتورهای مدیریت شبکه، چندین مشترک مختلف دارند و برخی نیز فقط یک نوع مشترک دارند.

[2] National Power Laboratory, NPL

برنامه‌های مذکور، توسط انجمن برق کانادا[1] (CEA) و دیگری توسط مؤسسه تحقیقات نیروی برق آمریکا [2] (EPRI) اجرا شده است.

نظرسنجی CEA با مشارکت ۲۲ شرکت در سراسر کانادا انجام گرفت. در این بررسی، ۵۵۰ مکان به مدت ۲۵ روز پایش شد. مشترکین مسکونی، تجاری و صنعتی در نقطه‌ی اتصال مشترک[3] (PCC) پایش شدند و فقط ولتاژهای خطی موردنظارت قرار گرفتند (۱۲۰ ولت یا ۳۴۷ ولت).

بررسی EPRI بیش از ۲ سال طول کشید و حدود ۵۰ گیگابایت داده‌ی کیفیت توان از این بررسی به‌دست آمد. این بررسی در سیستم‌های توزیع با ولتاژ ۴,۱۶ کیلوولت تا ۳۴,۵ کیلوولت در سطح مشترکین مسکونی، تجاری و صنعتی انجام شد. مانیتورها در پست‌ها و در امتداد بخش‌های سه‌فاز فیدرها قرار گرفتند. داده‌ها برای به‌دست آوردن طیف وسیعی از رویدادهای کیفیت توان، که در اکثر سایت‌ها انتظار می‌رود، ترکیب شده بودند. در گزارش‌های ارائه‌شده، اشاره شده است که به دلیل تفاوت در ثبت و طبقه‌بندی پدیده‌ها توسط هر نوع سیستم پایش، دست‌یابی به اهداف پروژه به مشکلاتی برخورد کرده است [۴].

یکی از بررسی‌های دیگر، توسط کمیته‌ی مطالعه‌ی توزیع[4] در ۹ کشور اروپایی انجام شده و داده‌های آماری بر اساس مطالعات انجام گرفته در بیش از ۸۰ سال و برای ۸۵ سایت در شبکه‌های ولتاژ متوسط را جمع‌آوری کرده است. [۵]بررسی دیگری توسط مؤسسه‌ی تحقیقات نیروی برق نروژ[5] با رصد ۷۰۰ سایت در نروژ انجام شده است. به همین ترتیب، فعالیت‌های قابل‌ملاحظه در زمینه‌ی تجزیه و تحلیل و گزارش‌گیری کیفیت توان از سال ۲۰۰۰ در استرالیا ادامه دارد. با استفاده از شاخص‌های اختصاصی این پروژه، از هزاران سایت در سراسر استرالیا نتایج کلیدی، مانند روندهای طولانی مدت، انتخاب سایت‌های نظارتی و تجزیه و تحلیل آماری در [۶] ارائه شده است.

با توجه به [۷] و [۸]، نیاز به دوره‌های نظارت طولانی مدت پایش کیفیت توان، جایی که داده‌ها فقط در دوره‌های نظارت کوتاه‌مدت و برای نقاط پایش منفرد درنظر گرفته شده است، مشهود است. در [۷]، داده‌های نظارت برای یک دوره‌ی هشت ماهه در سه منطقه ارائه شده است؛ در حالی که در [۸] نتایج اندازه‌گیری شیب ولتاژ در دو تأسیسات صنعتی برای مدت ۱۷ ماه موردمطالعه قرار گرفته است.

شورای تنظیم‌کننده مقررات انرژی اروپا[6] (CEER) اهتمام ویژه‌ای در پایش کیفیت توان دارد. مطابق [۹] بیش‌ترین تعداد نمایش‌گر در فرانسه مستقر شده در حالی که در لتونی و هلند، کم‌تر از ۳۰ نمایش‌گر نصب شده است. با این حال، در هیچ موردی، یک استراتژی استقرار مطلوب گزارش نشده است [۹]. نتایج حاصل از نظرسنجی منجر به گزارش بر

[1] Canadian Electrical Association, CEA

[2] Electric Power Research Institute, EPRI

[3] Point of Common Coupling, PCC

[4] سابق UNIPEDE

[5] Electric Power Research Institute (ERI)

[6] Council of European Energy Regulators, CEER

اساس تعیینِ‌معیار[1] شد و در نهایت، روش‌های خوبی در مورد پایش کیفیت توان ارائه شد که از سوی تنظیم‌کننده‌های اروپا به‌عنوان "پایش کیفیت ولتاژ" نامیده می‌شود [۱۰].

به‌طور خلاصـــه، می‌توان گفت که پروژه‌های پایش کیفیت توان نیاز به ســـرمایه‌گذاری قابل‌توجهی در تجهیزات اندازه‌گیری و جمع‌آوری و پردازش داده‌ها دارند. مشکلات پایش کیفیت توان باید به‌صورت خودکار و سیستماتیک ثبت شود تا آمار داده شده در خصوص رویدادهای کیفیت توان، مورد اعتماد و صحیح باشد [۱۱]. علاوه بر این، ممکن است نیاز باشـد داده‌های کیفیت توان با دقت بالا برای دوره‌های طولانی پایش شـوند که به‌طور معمول چندین سـال طول می‌کشد [۱۲]. هم‌چنین کاربران، اعم از اپراتورهای سیستم یا مشترکین، به جای اطلاعات زیاد به اطلاعات خلاصه و مفید برای بررسی نیاز دارند.

۱-۲-۱- تعاریف مربوط به اغتشاشات کیفیت توان [۱۳] [۱۴]

در این بخش، تعاریف مربوط به اغتشاشات کیفیت توان که در استاندارد IEEE شرح داده شده، مرور شده است.

هم‌چنین، حدود مجاز اغتشاشات کیفیت توان مطابق با استاندارد صنعت برق ایران، مورد بررسی قرار گرفته و در جدول ۱-۱ تا ۱-۶ مشاهده می‌شود.

علاوه بر این، بر اساس پروژه‌ی توزیع کیفیت توان **EPRI (DPQ[2])**، دامنه‌ی مقادیر موردانتظار برای اغتشاشات کیفیت توان بررسی شده است. در جدول ۱-۷، یک دسته‌بندی کلی از اغتشاشات کیفیت توان با محتوای طیفی، مدت زمان و اندازه‌ی معمول، با توجه به تعاریف **IEEE 1159-1995** نشان داده شده است. حد مجاز پارامترهای کیفیت توان برای شینه‌های با سطوح ولتاژی مختلف طبق جدول ۱-۱، نشان داده شده است.

جدول ۱-۱- حدود مجاز فلیکر در شبکه

ولتاژ شبکه / نوع شاخص فلیکر	۴۰۰ ولت (فشار ضعیف)	۲۰ و ۳۳ کیلو ولت (فشار متوسط)	۶۳، ۱۳۲، ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلو ولت (فشار قوی)
کوتاه مدت (P_{st})	۱	۰,۹	۰,۸
بلند مدت (P_{lt})	۰,۸	۰,۷	۰,۶

[1] Benchmarking

[2] Distribution Power Quality

جدول ۱-۲- حدود مجاز هارمونیک ولتاژ در شبکه

حداکثر هارمونیک ولتاژ مجاز درشینه های با ولتاژهای مختلف به درصد نسبت به ولتاژ نامی با فرکانس ۵۰ هرتز			
ولتاژ شینه	اعوجاج تکی ولتاژ		اعوجاج کل ولتاژ (THD)
	فرد	زوج	
٤٠٠ولت،٢٠و٣٣ کیلوولت	۳	۱/۵	۵
٦٣ و١٣٢ کیلوولت	۱/۵	۰/۷	۲/۵
٢٣٠و٤٠٠کیلوولت	۱	۰/۵	۱/۵

جدول ۱-۳- حدود مجاز درصد عدم تعادل ولتاژ

ولتاژ شبکه	٤٠٠ ولت و ٢٠و ٣٣ کیلوولت	٢٣٠،١٣٢،٦٣ و ٤٠٠ کیلوولت
درصد عدم تعادل ولتاژ	۲	۱

جدول ۱-۴- حدود مجاز اعوجاج جریان برای مشترکین فوق توزیع ۴۰۰ ولت، ۲۰ و ۳۳ کیلوولت

ماکزیمم اعوجاج جریان مجاز هر مشترک به درصد نسبت به ماکزیمم جریان مصرف یا دیماند بدون هارمونیک مشترک											
بزرگی مشترک یا درصد ماکزیمم جریان مصرفی (دیماند) بدون هارمونیک به جریان اتصال کوتاه محل تغذیه (R)	اعوجاج تکی جریان هر هارمونیک مرتبه n										اعوجاج کلی جریان
	n >۱۱		11 ≤ n <17		17 ≤ n < 23		23 ≤ n < 35		n ≥ 35		
	فرد	زوج	فرد	زوج	فرد	زوج	فرد	زوج	فرد	زوج	
R > 5	٤	۱/۰	۳/۰	۰/۵	۱/۵	۰/٤	۰/٦	۰/۱	۰/۳	۰/۱	۵
5 ≥ R > 2	۷	۱/۷	۳/۵	۰/۹	۲/۵	۰/٦	۱/۰	۰/۳	۰/۵	۰/۱	۸
2 ≥ R > 1	۱۰	۲/۵	٤/۵	۱/۱	٤/۰	۱/۰	۱/۵	۰/٤	۰/۷	۰/۲	۱۲
1 ≥ R > 0/1	۱۲	۳/۰	۵/۵	۱/٤	۵/۰	۱/۲	۲/۰	۰/۵	۱/۰	۰/۲	۱۵
R ≤ 0/1	۱۵	۳/۸	۷/۰	۱/۷	٦/۰	۱/۵	۲/۵	۰/٦	۱/٤	۰/۳	۲۰

جدول ۱-۵- حدود مجاز اعوجاج جریان برای مشترکین فوق توزیع ۶۳ و ۱۳۲ کیلوولت

ماکزیمم اعوجاج جریان مجاز هر مشترک به درصد نسبت به ماکزیمم جریان مصرف یا دیماند بدون هارمونیک مشترک											
بزرگی مشترک یا درصد ماکزیمم جریان مصرفی (دیماند) بدون هارمونیک به جریان اتصال کوتاه محل تغذیه (R)	اعوجاج تکی جریان هر هارمونیک مرتبه n										اعوجاج کلی جریان
	n >۱۱		11 ≤ n <17		17 ≤ n < 23		23 ≤ n < 35		n ≥ 35		
	فرد	زوج	فرد	زوج	فرد	زوج	فرد	زوج	فرد	زوج	
R > 5	۲/۰	۰/۵	۱/۰	۰/۲	۰/۷	۰/۲	۰/۳	۰/۱	۰/۱	۰/۰	۲/۵
5 ≥ R > 2	۳/۵	۰/۹	۱/۷	۰/٤	۱/۲	۰/۳	۰/۵	۰/۱	۰/۲	۰/۰	٤
2 ≥ R > 1	۵/۰	۱/۲	۲/۲	۰/٦	۲/۰	۰/۵	۰/۷	۰/۲	۰/۳	۰/۱	٦/۰
1 ≥ R > 0/1	٦/۰	۱/۵	۲/۷	۰/۷	۲/۵	۰/٦	۱/۰	۰/۲	۰/۵	۰/۱	۷/۵
R ≤ 0/1	۷/۵	۱/۹	۳/۵	۰/۹	۳/۰	۰/۷	۱/۲	۰/۳	۰/۷	۰/۲	۱۰/۰

جدول ۱-۶- حدود مجاز اعوجاج جریان برای شبکه‌های انتقال فشار قوی ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت ایران

ماکزیمم اعوجاج جریان مجاز هر مشترک به درصد نسبت به ماکزیمم جریان مصرف یا دیماند بدون هارمونیک مشترک										
بزرگی مشترک یا درصد ماکزیمم جریان مصرفی (دیماند) بدون هارمونیک به جریان اتصال کوتاه محل تغذیه (R)	اعوجاج تکی جریان هر هارمونیک مرتبه n									اعوجاج کلی جریان
	n >۱۱		$11 \le n < 17$		$17 \le n < 23$		$23 \le n < 35$		$n \ge 35$	
	فرد	زوج	فرد	زوج	فرد	زوج	فرد	زوج	فرد	زوج
$R > 2$	۲/۰	۰/۵	۱/۰	۰/۲	۰/۷	۰/۲	۰/۳	۰/۱	۰/۱	۰/۰٤	۲/۵
$R \le 2$	۳/۰	۰/۷	۱/۵	۰/٤	۱/۱	۰/۳	۰/٤	۰/۱	۰/۲	۰/۰۵	٤/۰

جدول ۱-۷- دسته‌بندی اغتشاشات کیفیت توان – [۱۵]IEEE 1159-2019

Categories	Typical spectral content	Typical duration	Typical voltage magnitude
1.0 Transients			
1.1 Impulsive			
1.1.1 Nanosecond	5 ns rise	< 50 ns	
1.1.2 Microsecond	1 µs rise	50 ns – 1 ms	
1.1.3 Millisecond	0.1 ms rise	> 1 ms	
1.2 Oscillatory			
1.2.1 Low frequency	< 5 kHz	0.3–50 ms	0–4 pu[a]
1.2.2 Medium frequency	5–500 kHz	20 µs	0–8 pu
1.2.3 High frequency	0.5–5 MHz	5 µs	0–4 pu
2.0 Short-duration root-mean-square (rms) variations			
2.1 Instantaneous			
2.1.1 Sag		0.5–30 cycles	0.1–0.9 pu
2.1.2 Swell		0.5–30 cycles	1.1–1.8 pu
2.2 Momentary			
2.2.1 Interruption		0.5 cycles – 3s	< 0.1 pu
2.2.2 Sag		30 cycles – 3 s	0.1–0.9 pu
2.2.3 Swell		30 cycles – 3 s	1.1–1.4 pu
2.2.4 Voltage Imbalance		30 cycles – 3 s	2%–15%
2.3 Temporary			
2.3.1 Interruption		>3 s – 1 min	< 0.1 pu
2.3.2 Sag		>3 s – 1 min	0.1–0.9 pu
2.3.3 Swell		>3 s – 1 min	1.1–1.2 pu
2.3.4 Voltage Imbalance		>3 s – 1 min	2%–15%
3.0 Long duration rms variations			
3.1 Interruption, sustained		> 1 min	0.0 pu
3.2 Undervoltages		> 1 min	0.8–0.9 pu
3.3 Overvoltages		> 1 min	1.1–1.2 pu
3.4 Current overload		> 1 min	
4.0 Imbalance			
4.1 Voltage		steady state	0.5-5%
4.2 Current		steady state	1.0-3.0%
5.0 Waveform distortion			
5.1 DC offset		steady state	0–0.1%
5.2 Harmonics	0–9 kHz	steady state	0–20%
5.3 Interharmonics	0–9 kHz	steady state	0–2%
5.4 Notching		steady state	
5.5 Noise	broadband	steady state	0–1%
6.0 Voltage fluctuations	< 25 Hz	intermittent	0.1–7% 0.2–2 P_{st}[b]
7.0 Power frequency variations		< 10 s	± 0.10 Hz

NOTE—These terms and categories apply to power quality measurements and are not to be confused with similar terms defined in IEEE Std 1366™-2012 [B30] and other reliability-related standards, recommended practices, and guides.

۱-۲-۱-۱- فرورفتگی، برآمدگی و وقفه لحظه‌ای ولتاژ [۱۳]

شکل ۱-۱، یک فرورفتگی ولتاژ[1]، برآمدگی ولتاژ[2] و وقفه لحظه‌ای[3] ولتاژ را نشان می‌دهد.

[1] Voltage Sag

[2] Voltage Swell

[3] Momentary Interruption



شکل ۱-۱- تغییرات کوتاه‌مدت معمول در ولتاژ RMS

فرورفتگی ولتاژ، کاهش مقدار مؤثر[1] (RMS) ولتاژ در کوتاه‌مدت است؛ که از ۰,۵ دوره‌ی تناوب تا ۱۲۰ ثانیه طول می‌کشد [۱۳]. فرورفتگی ولتاژ معمولاً به دلیل اتصال کوتاه، نقص در سیستم قدرت یا به دلیل راه‌اندازی یک موتور نسبتاً بزرگ یا بار بزرگ ایجاد می‌شود. هم‌چنین برآمدگی ولتاژ ممکن است با فرورفتگی ولتاژ همراه باشد.

برآمدگی ولتاژ معمولاً زمانی اتفاق می‌افتد که یک خطای زمین در سیستم قدرت، منجر به افزایش موقتی ولتاژ در فازها شود. حذف یک بار بزرگ یا اضافه کردن یک بانک خازن بزرگ نیز می‌تواند باعث برآمدگی ولتاژ شود؛ اما این حوادث معمولاً به‌عنوان تغییرات طولانی مدت طبقه‌بندی می‌شوند.

وقفه لحظه‌ای ولتاژ نیز از دست دادن کامل ولتاژ تعریف شده است.

۱-۲-۱-۲- خطاهای سیستم

وقفه‌های مربوط به عملیات پی‌درپی قطع‌کننده (رله)، ممکن است بسته به ویژگی‌های آن، دارای مدت زمان متفاوتی باشند. اگر بیش از دو فیدر از یک باس توزیع مشترکین تأمین شود، فرورفتگی ولتاژ بیش‌تر از وقفه‌های واقعی اتفاق می‌افتد زیرا خطا در هر یک از فیدرها باعث فرورفتگی ولتاژ در سایر فیدرها می‌شود. [۱۳]

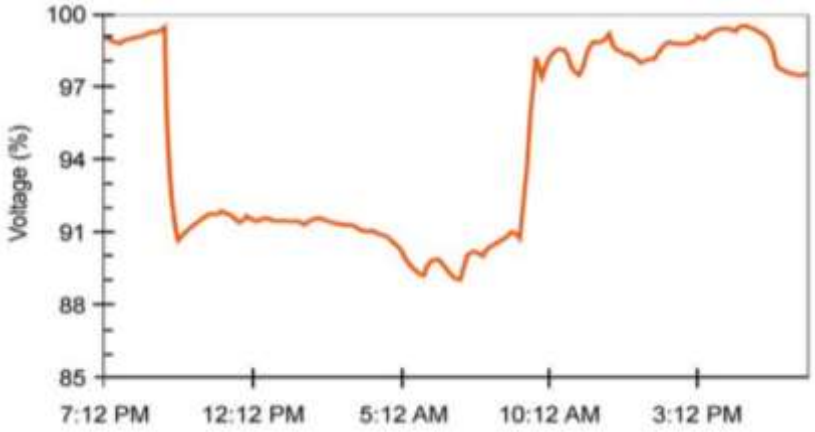
۱-۲-۱-۳- اضافه ولتاژ[2] و افت ولتاژ[3] [۱۳]

تغییرات طولانی مدت ولتاژ که خارج از حد اندازه‌ی طبیعی هستند، اغلب به دلیل شرایط غیرمعمول در سیستم ایجاد می‌شوند. به‌عنوان مثال، خطوط یا ترانسفورماتورهای خارج از سرویس گاهی اوقات باعث افت ولتاژ می‌شوند. همان‌طور که در شکل ۱-۲ نشان داده شده است، این نوع تغییرات ولتاژ RMS، معمولاً کوتاه‌مدت هستند و کم‌تر از یک یا دو روز طول می‌کشند.

[1] Root Mean Square, RMS

[2] Over voltage

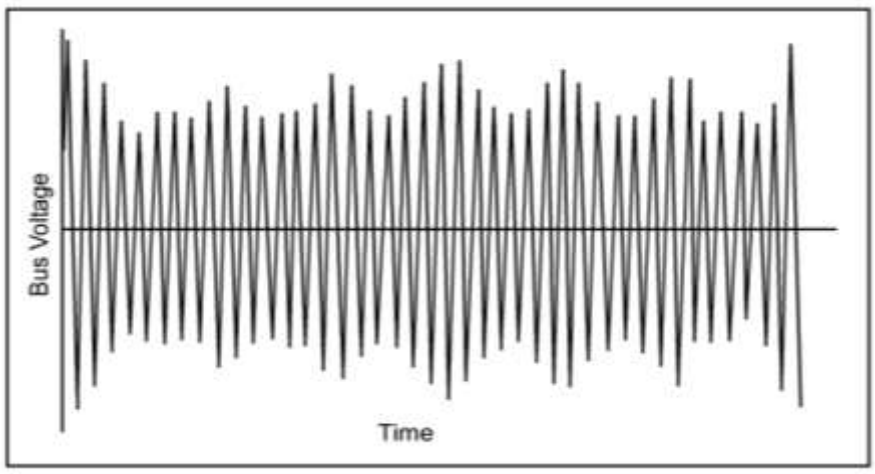
[3] Under voltage



شکل ۱-۲- نمونه‌ای از افت ولتاژ RMS

۱-۲-۱-۴- فلیکر [۱۳]

فلیکر، یک مدولاسیون دامنه‌ی ولتاژ در فرکانس‌های کم‌تر از ۲۵ هرتز است. چشم انسان می‌تواند فلیکر را به‌عنوان تغییر در شدت نور لامپ‌های روشنایی تشخیص دهد. فلیکر که نمونه‌ای از شکل موج آن در شکل ۱-۳ نشان داده شده است، ناشی از شرایط قوسی در سیستم توان است. با نصب فیلترها و جبران‌کننده‌های ایستا، می‌توان مشکل فلیکر را اصلاح کرد.



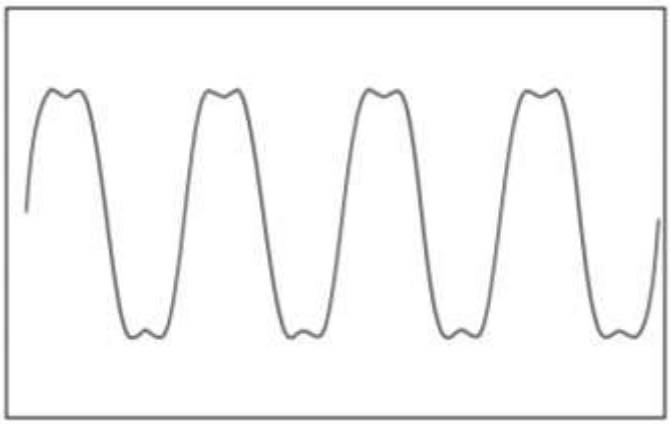
شکل ۱-۳- نمونه‌ای از فلیکر در ولتاژ

۱-۲-۱-۵- اعوجاج هارمونیکی [۱۳]

پدیده‌ای که به‌عنوان اعوجاج هارمونیکی شناخته می‌شود، وجود فرکانس‌های مضرب عدد صحیح فرکانس اساسی سیستم، در شکل موج ولتاژ سیستم است. بارهای الکترونیکی و دستگاه‌های اشباع‌کننده[1] باعث ایجاد اعوجاج هارمونیکی می‌شوند.

[1] saturable devices

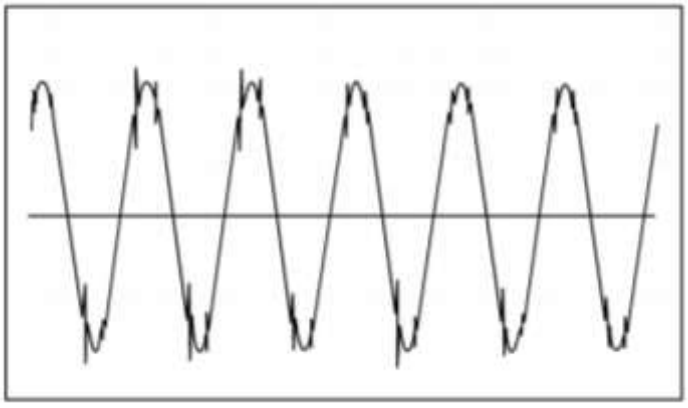
در بیش‌تر مناطق، ولتاژ موجود در سیستم‌های انتقال معمولاً کم‌تر از ۱ درصد اعوجاج دارد. با این حال، با نزدیک شدن به بار، ممکن ا ست اعوجاج به ۵ تا ۸ در صد نیز بر سد. در بع ضی از بارها، شکل موج جریان به سختی به موج سینوسی شباهت دارد. به‌عنوان مثال شکل ۱-۴، شکل موجی با بیش از ۱۷ درصد اعوجاج هارمونیکی را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۴- نمونه‌ی موج ولتاژ با هارمونیک‌های درجه ۳ و اعوجاج هارمونیکی کل ۱۷/۴۲ درصد

۱-۲-۱-۶- شکاف ولتاژ[1]

شکاف ولتاژ در اثر تخلیه‌ی یکسوکننده‌های الکترونیکی ایجاد می شود. هنگامی که جریان پیوند DC در یک درایو، از یک تریستور یکسوکننده به مکان بعدی تغییر می‌کند، لحظه‌ای ایجاد می‌شود که در طی آن اتصال کوتاه ترمینال‌های ورودی یکسوکننده رخ می‌دهد. نمونه‌ی شکل موج همراه با شکاف در شکل ۱-۵ نشان داده شده است.



شکل ۱-۵- نمونه‌ی شکل موج همراه با شکاف

۱-۲-۲- اهداف اصلی پایش کیفیت توان [۱۶]

به‌طور کلی، اهدف اصلی مورد نظر در پایش کیفیت توان را می‌توان به‌صورت زیر تقسیم‌بندی کرد:

[1] Voltage Notching

۱-۲-۲-۱- تطابق با الزامات

در بیش‌تر حوزه‌های قدرت، طیف وسیعی از استانداردهای کیفیت توان وجود دارد که باید توسط بهره‌برداران سیستم رعایت شود. تطابق با الزامات، مجموعه‌ای مشخص از پارامترهای کیفیت توان را با محدودیت‌های داده شده توسط استانداردها، قوانین یا مشخصات نظارتی مقایسه می‌کند. در حال حاضر، رویکرد یکپارچه‌ی نظارتی برای تطابق با الزامات وجود ندارد. در برخی موارد، تنظیم‌کنندگان ممکن است نحوه‌ی نظارت بر سیستم را برای تطابق با استانداردها و سایر کدهای توزیع مکانی، مشخص کنند. وظایف معمول در هدف تطابق با الزامات از این قرار است: [۱۶]

- ✓ انطباق کیفیت ولتاژ در یک مکان خاص با استانداردهای داده شده
- ✓ انطباق تجهیزات متصل/نصب (مصرف یا تولید) در برابر استانداردهای داده شده
- ✓ نظارت بر قراردادهای دوجانبه
- ✓ اندازه‌گیری بر اساس الزامات نظارتی

۱-۲-۲-۲- تجزیه و تحلیل عملکرد و تعیین معیار

ارزیابی عملکرد سیستم، معمولاً با نظارت معمول بر تعداد قابل‌توجهی از سایت‌های پراکنده در سیستم انجام می‌شود. IEC 61000-4-30 رهنمودهایی برای طراحی و انجام بررسی‌های آماری کیفیت توان، از جمله پایش دائمی، به‌منظور برآورده کردن نیازهای کاربر و هم‌چنین بهره‌بردار سیستم ارائه می‌دهد. همان‌طور که در IEC 61000-4-30 و در دستورالعمل‌های[1] CEER / ECRB ذکر شده، از تجزیه و تحلیل عملکرد ممکن است برای محک‌زدن بهره‌برداران سیستم استفاده شود.

تجزیه و تحلیل عملکرد، به‌طور عمده، توسط بهره‌برداران سیستم انجام می‌شود و نتایج آن در وهله‌ی اول، برای اهداف داخلی (به‌عنوان مثال مدیریت کیفیت) استفاده می‌شود. تجزیه و تحلیل عملکرد معمولاً برای چندین سایت صورت می‌گیرد، اما می‌تواند در مکان‌های خاص نیز اعمال شود. وظایف معمول در این هدف از این قرار است:

- ✓ ارزیابی کیفیت توان (به‌صورت متوسط) برای یک منطقه‌ی مشخص
- ✓ تجزیه و تحلیل روند طولانی مدت برای مجموعه‌ی خاصی از سایت‌ها

۱-۲-۲-۳- توصیف سایت[2]

در این هدف:

- ✓ از خصوصیات مکان برای توصیف کیفیت توان در یک مکان خاص به روشی دقیق استفاده می‌شود.
- ✓ ممکن است دانستن کیفیت توان در یک مکان خاص مهم باشد.
- ✓ یک کاربر سیستم، در یک مکان خاص، ممکن است حساسیت ویژه‌ای نسبت به مسائل کیفیت توان داشته باشد.

[1] Council of European Energy Regulators / the Energy Community Regulatory Board

[2] Site Characterisation

برای رسیدن به این هدف، از خصوصیات سایت برای توصیف کیفیت توان در آن سایت به روشی دقیق استفاده می‌شود. پارامترهای پایش و روش‌های اندازه‌گیری انتخاب شده به شدت با یک هدف از پیش‌تعریف‌شده مرتبط هستند و حتی می‌توانند فراتر از شاخص‌های معمول داده شده توسط استاندارد باشند. وظایف معمول برای رسیدن به این هدف عبارت است از:

- ✓ تعیین سطح کیفیت توان قبل از اتصال برای مشترک خاص
- ✓ تعیین محدودیت برای مشترکین جدید (طبق استانداردها)
- ✓ تأیید عملکرد توسط مشترکین موجود

۱-۲-۲-۴- عیب‌یابی

پایش کیفیت توان با هدف عیب‌یابی، همیشه بر اساس یک مشکل گزارش شده در کیفیت توان است. برای مشترکین، عملکرد ضعیف سیستم در حوزه‌ی کیفیت توان می‌تواند پرهزینه باشد؛ به‌خصوص اگر بارهای حیاتی تحت تأثیر پدیده‌های الکترومغناطیسی قرار بگیرند. اختلالات ناشی از مشکلات پیش‌بینی نشده‌ی کیفیت توان هزینه‌بر است. وظایف معمول برای رسیدن به این هدف عبارت است از:

- ✓ پاسخ به شکایات مشترکین
- ✓ تحلیل پدیده‌های شبکه
- ✓ بررسی آسیب تجهیزات

۱-۲-۲-۵- مطالعات و کاربردهای پیشرفته

مطالعات و کاربردهای پیشرفته شامل اندازه‌گیری‌ها و تجزیه و تحلیل‌های مخصوصی است که اغلب بخشی از فرآیندهای معمول نیستند و امروزه انجام آن‌ها به دلیل دقت بالای اندازه‌گیری، پیچیدگی داده‌ها و ارتباط به موقع آن‌ها که توسط سیستم‌های گسترده‌ی اندازه‌گیری فراهم شده، راحت‌تر شده است. امروزه، تعدادی از بهره‌برداران شبکه، از سیستم‌های پایش کیفیت توان برای دست‌یابی به نتایج کلی بهتر سیستم استفاده می‌کنند.
مطالعات و کاربردهای پیشرفته، روش‌های جدید و بسیار پیچیده‌ای را برای بهبود کارایی عملکرد سیستم پوشش می‌دهند. در دستورالعمل‌های CEER و ECRB کاربردهای پیشرفته زیر ذکر شده است: [۵]

- توسعه‌ی سیستم و تصویب سرمایه‌گذاری
- توسعه‌ی بیش‌تر تنظیم کیفیت ولتاژ
- راهبری سیستم و آگاهی از کاربر نهایی
- انتقال به شبکه‌های هوشمند
- تحقیق و آموزش

مطالعات و کاربردهای پیشرفته به دلیل وضوح و پیچیدگی بالاتر داده‌ها و ارتباط به موقع آن، محبوبیت بالایی دارند. مطالعات پیشرفته، روش‌های جدید و بسیار پیچیده‌ای را برای بهبود کارایی عملکرد سیستم پوشش می‌دهند. وظایف معمول برای دست‌یابی به این هدف عبارت است از:

- ✓ تعیین محل خطا: از آنجا که داده‌های کیفیت توان غالباً فقط شامل اندازه‌گیری ولتاژ نیستند، اندکی پس از خطا، تجزیه و تحلیل این داده‌ها می‌تواند محل تقریبی خطا را فراهم کرده و در نتیجه، سرعت اعزام گروه تعمیرات را تسریع می‌کند.
- ✓ تجزیه و تحلیل ضریب انتقال (هارمونیک، عدم‌تعادل، فلیکر) بین سطوح مختلف ولتاژ
- ✓ مطالعه‌ی زاویه‌های فاز جریان هارمونیک در شبکه‌ی فشار ضعیف

۱-۲-۲-۶- مدیریت فعال کیفیت توان

مدیریت فعال کیفیت توان، شامل کلیه‌ی برنامه‌هایی است که با کنترل عملکرد سیستم بر مبنای نتایج اندازه گیری کیفیت توان ایجاد می‌شود. وظایف معمول مدیریت کیفت توان عبارت است از: [۱۶]

- ✓ کنترل سطح هارمونیک در شبکه‌های ولتاژ پایین
- ✓ مؤلفه‌ی تعرفه‌ی اضافی بر اساس اندازه‌گیری انرژی اعوجاج
- ✓ تنظیم بارهای مزاحم یا ژنراتورها

در سال‌های اخیر، هم‌زمان با افزایش ادوات غیرمعمول (مانند تجهیزات الکترونیک قدرت) در شبکه، تجهیزات اندازه‌گیری و پایش کیفیت توان در سطح سیستم قدرت افزایش یافته است. این اطلاعات، بهره‌بردار سیستم را از وضعیت شبکه مطلع کرده و به مشترکین و رگولاتور سیستم کمک می‌کند تا از وضعیت کیفیت توان تحویلی آگاه شوند. در حالی که حجم داده‌های کیفیت توان رو به افزایش است، دانش و توافقی برای ابعاد مختلف پردازش داده‌های کیفیت توان وجود ندارد. در عین حال، کاربران این اطلاعات، به جای حجم زیاد داده‌ها، به ارائه‌ی اطلاعات مفید و کاربردی علاقه‌مند هستند.

۱-۲-۳- عوامل مؤثر در پایش کیفیت توان

سه دیدگاه برای پایش کیفیت توان و محل نصب تجهیزات اندازه‌گیری وجود دارد: [۱۶]

۱- پایش بلندمدت و به‌صورت پیوسته که در این نوع پایش، دستگاه‌ها به‌صورت نصب ثابت هستند.

۲- استفاده از دستگاه‌های سیار که به‌صورت گردشی در نقاط مختلف نصب می‌شوند.

۳- با هدف مشخصی و به‌صورت موقت و کوتاه‌مدت، دستگاه‌های اندازه‌گیری در یک محل نصب می‌شوند.

فارغ از این که دستگاه‌های پایش به‌صورت سیار (پرتابل) یا ثابت باشند، بازه‌های زمانی که پارامترهای کیفیت توان رصد می‌شوند، متفاوت است که در جدول ۱-۲ اشاره‌ی مختصری به آن شده است: [۵]

جدول ۱-۲- بازه‌های زمانی برای رصد پارامترهای کیفیت توان [۱۷] [۱۸]

پارامتر	مقیاس زمانی معمول
ولتاژهای گذرا	کم‌تر از ۲۰ میلی‌ثانیه
فرورفتگی ولتاژ	۱۰ میلی‌ثانیه تا ۲ ثانیه
انحراف فرکانسی	حدود یک دقیقه
عدم‌تعادل در فازها	یک روز
هارمونیک	یک هفته
فلیکر ولتاژ	یک هفته
پارامترهای آماری	سه سال

در مرجع [۵] اشاره شده است که جدول ۱-۸، نوعی "ساده‌سازی در مقیاس زمانی برای پارامترهای مرتبط با کیفیت توان است. به طور مثال، اگرچه ممکن است شاخص عدم‌تعادل برای یک روز و یا شاخص هارمونیک برای یک هفته تعریف شود، اما برای متخصصین شبکه جذاب است که عدم‌تعادل فازها در طول شبانه روز (هر تفاوت بین روز و شب) و یا هارمونیک‌ها در طول هفته (هر تفاوت بین روزهای هفته و آخر هفته‌ها) چگونه تغییر می‌کنند ... هنگامی که از تجهیزات سنجش قابل حمل استفاده می‌شود، پایش باید روی یک دوره‌ی زمانی که برای تعیین کردن مشخصات چرخه‌های طبیعی عملکردی سایت کافی باشد، صورت گیرد". بر اساس جدول ۱-۸ برای اندازه‌گیری عدم تعادل، حداقل یک روز و برای اندازه‌گیری هارمونیک، حداقل یک هفته، زمان مناسبی است.

برای انتخاب محل نصب تجهیزات پایش، پارامترهای زیر تأثیرگذار است:

- سطح ولتاژ محل پایش (فشارقوی، فشارمتوسط و یا فشارضعیف)
- نصب در محل یک المان سیستم قدرت، مانند پست، فیدر و یا محل اتصال مشترک به شبکه
- دسترسی به ترانسفورماتور اندازه‌گیری مناسب

در عمل، روش‌های مختلفی برای تعیین محل پایش کیفیت توان در نظر گرفته شده است. به‌عنوان مثال، برخی از روش‌هایی که معمولاً برای انتخاب سایت استفاده شده به شرح زیر است:

- انتخاب تصادفی نقاط پایش کیفیت توان
- انتخاب سایت‌های تعیین‌شده توسط رگولاتور
- انتخاب سایت‌هایی که از نظر آماری نماینده‌ی خوبی از کل منطقه هستند
- انتخاب محل پایش بر اساس گزارش‌ها و شکایات مشترکین
- انتخاب محل اتصال بارهای مهم و مشترکین حساس
- پایش کیفیت توان در محل‌هایی که بیش‌ترین احتمال وقوع مشکل در آن‌ها وجود دارد (مشکلات کیفیت توان)
- انتخاب سایت‌ها و نقاط مهم از نظر بهره‌برداری

تجهیزات پایش ثابت معمولاً در نقاط زیر استفاده می‌شوند:

- محل اتصال انتقال به توزیع یا تولید به انتقال
- محل اتصال مشترک به شبکه
- در پست‌هایی که تعداد زیادی از مشترکین را پوشش می‌دهند.

۱-۲-۳-۱- تجهیزات نوین پایش کیفیت توان

علاوه بر تجهیزات مرسوم پایش کیفیت توان که معمولاً از ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ گران قیمت استفاده می‌کنند، می‌توان از سایر تجهیزات موجود در شبکه مانند رله‌های دیجیتال، RTU[1] و ... نیز استفاده کرد. در جدول ۱-۳ برخی از مزایا و معایب استفاده از رله‌های دیجیتال به‌منظور پایش کیفیت توان ذکر شده است. [۵]

جدول ۱-۳- مزایا و معایب استفاده از رله‌های دیجیتال به‌منظور پایش کیفیت توان

مزایا	معایب
توانایی اندازه‌گیری پارامترها در نقاط مختلف با هزینه‌ی بهینه	پایین بودن حافظه‌ی ذخیره‌سازی داده‌ها
اتصال دائم رله‌ها به شبکه	نرخ نمونه‌برداری متوسط و پایین (۸، ۱۶، ۳۲ و ۶۴ نمونه در هر دوره)
توانایی داده‌برداری و ارسال داده‌ها در زمان قطعی برق (با توجه به اتصال بیش‌تر رله‌های پست به UPS[2])	وجود فیلترهای تصحیح فرکانسی در طراحی رله‌های دیجیتال و در نتیجه، عدم توانایی اندازه‌گیری برخی از پارامترهای کیفیت توان (پارامترهایی که بالاتر از فرکانس قطع فیلتر مذکور هستند)
اتصال رله‌ها به زیرساخت ارتباطی موجود و بنابراین، عدم نیاز به سرمایه‌گذاری مجدد برای زیرساخت ارتباطی	محدودیت دسترسی به سرورهای مربوط به اطلاعات ارسالی رله‌ها
فناوری روبه رشد میکروپروسسور و توانایی دست‌یابی به نرخ داده‌برداری بالاتر	نیاز به گنجاندن برخی امکانات نرم‌افزاری موردنیاز برای پایش کیفیت توان توسط سازندگان رله
وجود برنامه‌ریزی تعمیرات برای رله‌های موجود	مشکلات قانونی در دسترسی به اطلاعات رله‌ها
توانایی اندازه‌گیری جریان‌های بالا (با توجه به اتصال به ترانس‌های حفاظتی)	دقت پایین‌تر هسته‌های حفاظتی نسبت به ترانسدیوسرهای اندازه‌گیری

در صورتی که تعیین کیفیت توان در مناطقی مدنظر باشد که امکان نصب تجهیزات وجود نداشته باشد و یا نصب تجهیزات هزینه‌ی بالایی داشته باشد، روش‌های ریاضی زیر به‌منظور تخمین این پارامترها وجود دارد: [۵]

۱- تخمین حالت هارمونیک[3] (HSE)
۲- تخمین حالت گذارا[4] (TSE)
۳- تخمین حالت فرورفتگی ولتاژ[5] (VSSE)

[1] Remote Terminal Unit, RTU

[2] Uninterruptible Power Supply, UPS

[3] Harmonic State Estimation

[4] Transient State Estimation

[5] Voltage Sag (Dip) State Estimation

مطابق با اهداف پایش کیفیت توان ذکر شـــده در بخش قبل، جدول ۱-۴ جهت انتخاب محل پایش کیفیت توان ارائه شده است.

جدول ۱-۴- محل پایش کیفیت توان مطابق با اهداف مختلف

هدف پایش توان	محل پایش کیفیت توان
تطابق با الزامات	به نظر رگولاتور بستگی دارد: ممکن است همه یا درصد مشخصی از سایت‌ها، به‌صورت پیوسته پایش شوند یا ممکن است به‌صورت دوره‌ای و منظم، پایش موقت در سایت‌ها صورت گیرد. می‌تواند سطح مشخصی از تطابق با الزامات لحاظ شود (مثلا سطح ۹۵٪) می‌تواند برخی شرایط خاص از تطابق با الزامات مستثنی شود (مثلا خارج شدن یک ترانسفورماتور یا بخشی از خط)
تجزیه و تحلیل عملکرد و تعیین معیار	انتخاب سایت‌ها به گونه‌ای باشد که نماینده‌ی آماری کل سیستم باشد؛ به ویژه اگر پایش به‌صورت بلندمدت صورت گیرد. می‌توان از ترکیبی از دستگاه‌های سیار و نصب ثابت استفاده کرد.
توصیف سایت	معمولاً در نقاطی که قرارداد دو طرفه وجود دارد، تجهیزات ثابت نصب می‌شوند.
عیب‌یابی	در محل شکایات و گزارش مشترکین در محل اختلال ولتاژ یا جریان تکرار برای مشکلات پیش‌بینی شده معمولاً با تجهیزات سیار پایش کیفیت توان صورت می‌گیرد. در صورتی که یک اختلال گسترده در سطح وسیع وجود داشته باشد، با تکرار فرایند پایش و محدود کردن تدریجی محل پایش می‌توان محل دقیق‌تر را پیدا کرد.
مطالعات و کاربردهای پیشرفته	معمولاً نصب تجهیزات ثابت پایش موردنیاز نیست.
مدیریت فعال کیفیت توان	مشابه هدف توصیف سایت

۱-۳- انتخاب سایت و محل نصب مانیتورها

انتخاب محل پایش، با توجه به معماری شبکه و تأثیر اختلالات بر آن، می‌تواند پیچیده باشد. این موضوع می‌تواند در شرکت‌های توزیع نیروی برق مختلف، متفاوت باشد.

۱-۳-۱- پارامترهای عمومی انتخاب محل پایش

برخی از پارامترهای عمومی مهم (فارغ از هدف پایش کیفیت توان) در انتخاب محل پایش، در ادامه آمده است.

۱-۳-۱-۱- زیرساخت ارتباطی

نوع زیرساخت ارتباطی موجود می‌تواند متفاوت باشد:

- ارتباط سیمی: شامل کابل مسی، فیبر نوری و ارتباط از طریق PLC[1]

[1] Programmable Logic Controller, PLC

- ارتباط بی‌سیم: شامل ZigBee، WiMax، ارتباط ماهواره‌ای و GSM[1]

۱-۳-۱-۲- وضعیت شبکه

معماری شبکه، به‌عنوان مثال شعاعی یا حلقوی بودن، تک‌فاز یا سه‌فاز بودن شبکه و همین‌طور نوع پست (شهری یا غیرشهری بودن) در انتخاب سایت پایش اهمیت دارد.

استفاده از زیرساخت‌های موجود:

- رله‌ها، کنترلرها و RTUها در شبکه‌ی توزیع
- PMUها در شبکه‌ی انتقال
- دستگاه‌های اندازه‌گیری موجود در AMI[2]
- استفاده از GPS[3] برای ثبت زمان واقعی

۱-۳-۱-۳- سطح ولتاژ

- فشارقوی: با توجه به بارهایی که در این سطح قرار دارند، معمولاً تجهیزات موجود اندازه‌گیری و در محل‌های فعلی کافی است با توجه به این که تعداد مشترکین ولتاژ بالا کم هستند و هزینه بالا است. استانداردها (مثل CEER) توصیه می‌کنند برای پایش کیفیت توان در محل اتصال فشارقوی به فشارمتوسط، اندازه‌گیری در سمت ولتاژ متوسط صورت گیرد. [۵]
- فشار متوسط: در سطح فشار متوسط، توصیه می‌شود در همه‌ی پست‌های فشار متوسط اندازه‌گیری انجام شود. برای مشترکین متصل به فشار متوسط توصیه می‌شود که در محل اتصال مشترک به شبکه، پایش کیفیت توان صورت گیرد. هم‌چنین به‌طور مشابه، برای پایش کیفیت توان در محل اتصال فشار متوسط به فشار ضعیف، بهتر است اندازه‌گیری در سمت فشار ضعیف صورت گیرد. بالطبع، تعداد مناطق پایش‌شده در شبکه‌ی فشار متوسط می‌تواند متفاوت باشد (به‌عنوان مثال انتخاب تصادفی نقاط). در صورت ضرورت، بهتر است مشترکین حساس به کیفیت توان رصد شوند و یا بارهایی که احتمال آلودگی کیفیت توان برای شبکه دارند، انتخاب شوند. باید توجه شود که دیدگاه رگولاتور و بهره‌بردار شبکه می‌تواند برای انتخاب سایت متفاوت باشد. [۵]
- فشار ضعیف: پایش کیفیت توان باید در بخشی از مشترکین صورت گیرد که از نظر آماری بیان‌گر کل جمعیت باشند. معمولاً در کاربردهای فعلی، تعدادی از مشترکین به‌صورت تصادفی انتخاب می‌شوند و با توجه به افزایش حجم داده، توصیه نمی‌شود که همه مشترکین پایش شوند. در بسیاری موارد، کنتورهای موجود در این سطح ولتاژ، تنها برخی از اختلالات ولتاژ را اندازه‌گیری می‌کنند. بهتر است اندازه‌گیری در سمت ثانویه‌ی ترانسفورماتور توزیع صورت گیرد. [۵]

---

[1] Global System for Mobile Communications, GSM

[2] Advanced Metering Infrastructure, AMI

[3] Global Positioning System, GPS

در مورد انتخاب بین مانیتورهای سیار و نصب ثابت می‌توان دو حالت در نظر گرفت:

- تعدادی مانیتور سیار وجود داشته باشد که از آن‌ها به‌صورت هفتگی داده‌برداری صورت می‌گیرد و سپس جابه‌جا شوند. این مانیتورها هزینه‌ی سرمایه‌گذاری کم‌تر و معمولاً هزینه بهره‌برداری بیش‌تری دارند.
- تعداد بیش‌تری مانیتور ثابت وجود داشته باشد که به‌صورت بلندمدت داده‌های پایش توان را ذخیره کنند. در این حالت، بالطبع دید وسیع‌تری از وضعیت کیفیت توان در یک نقطه ارائه خواهد شد. به‌عنوان مثال، تغییرات فصلی کیفیت توان قابل رصد خواهد بود.

با در نظر گرفتن دو حالت ذکر شده، می‌توان مصالحه‌ای بین هزینه‌ی پایش و میزان و گستردگی داده‌ها انجام داد. به‌عنوان مثال، می‌توان تعدادی مانیتور نصب ثابت (پایش برآمدگی و فرورفتگی ولتاژ و تغییرات فصلی) و تعدادی نصب سیار (پایش هارمونیک، عدم‌تعادل و ...) در نظر گرفت.

۱-۳-۲- معیارهای انتخاب تعداد و محل مانیتورینگ [۵]

برای انتخاب محل نصب مانیتورها، بسته به اهداف موجود، می‌توان موارد زیر را بیان کرد:

۱-۳-۲-۱- تطابق با الزامات

انتخاب محل نصب مانیتورها بستگی به نوع بررسی انطباق و دیدگاه آن (بهره‌بردار، رگولاتور یا شرکت برق و توزیع) دارد. تطابق با الزامات در سه سطح قابل بررسی است:

الف) تطابق با الزامات ملی یا بین‌المللی (بررسی کیفیت انرژی تحویلی به مشترک یا آلودگی تجهیزات متصل به شبکه)

ب) پایش قراردادهای دوجانبه

ج) تطابق با الزامات کیفیت توان رگولاتور

الف) بررسی کیفیت توان ارائه شده توسط شرکت برق، تنها نیاز به اندازه‌گیری ولتاژ دارد. این اندازه‌گیری در باس‌بارها، پست‌های توزیع و انتقال و یا اندازه‌گیری در محل اتصال مشترک به شبکه کفایت می‌کند. در صورت نیاز به بررسی انطباق آلودگی‌های بار (هارمونیک، عدم‌تعادل و ...) باید اندازه‌گیری جریان نیز صورت گیرد.

- دستگاه‌های اندازه‌گیری باید در سطوح مختلف ولتاژ بر اساس تعداد مشترکین، گزارش مشکلات پایش کیفیت توان و حساسیت مشترکین به اختلالات کیفیت توان، تقسیم شوند.
- بین محل اندازه‌گیری و محل مشترک نباید بیش از دو پست (ترانسفورماتور) فاصله باشد.
- در انتخاب محل اندازه‌گیری، باید دسترسی به ترنسدیوسر مناسب در نظر گرفته شود.

ب) پایش کیفیت توان باید در نقطه‌ی اتصال صورت گیرد و در صورت الزامات قراردادی، باید جریان نیز اندازه‌گیری شود.

ج) بر اساس درخواست رگولاتور، تطابق درصد مشخصی از سایت‌ها (٪۵۰ تا ٪۹۹) می‌تواند بررسی شود. در صورتی که تنها درصدی از سایت‌ها مانیتور می‌شوند، باید دستگاه‌های اندازه‌گیری در مناطقی نصب شوند که بر اساس داده‌های موجود، نماینده‌ی کل منطقه باشند.

۱-۳-۲-۲- ارزیابی عملکرد

ارزیابی عملکرد معمولاً توسط بهره‌بردار و از طریق اندازه‌گیری متوسط وضعیت شبکه از نظر کیفیت توان صورت می‌گیرد. بدین منظور، در مرحله‌ی برنامه‌ریزی سیستم، دسته‌ای از سایت‌ها به‌منظور پایش کیفیت توان تعیین می‌شود که باید شامل مشترکینی باشد که به سطح فشار ضعیف متصل شده‌اند یا دارای منابع تولید پراکنده هستند.

انتخاب کل سیستم: برای شبکه‌های انتقال HV[1] یا EHV[2] با تعداد معقول پست و یا مشترک متصل، توصیه می‌شود.

انتخاب تعدادی از سایت‌های نمونه: این دیدگاه در شبکه‌های وسیع با مشترکین زیاد استفاده می‌شود. پس از پایش، نتایج باید به کل سایت در سطح اطمینان خاصی گسترش داده شود. چالش اصلی، انتخاب تعداد سایت بهینه برای پایش است که باید با تحلیل هزینه-فایده، تعداد مناسب انتخاب گردد. فایده در این جا، میزان دقت در پایش شبکه است. باید توجه داشت که میزان فایده، با افزایش تعداد سایت‌های پایش به‌صورت خطی افزایش پیدا نمی‌کند. به‌عنوان مثال، در یک سیستم با ۵۰۰۰ سایت، انتخاب یک نمونه با ۲۰۰ سایت، میزان دقت را نسبت به ۱۰۰ سایت به مراتب افزایش می‌دهد. در حالی که انتخاب ۲۲۰۰ سایت نسبت به ۲۱۰۰ سایت، بهبود بسیار کم‌تری در دقت نتایج ایجاد می‌کند. به‌منظور انتخاب سایت، مراحل زیر را می‌توان در نظر گرفت: [۵]

۱- تعیین دسته‌ای از سایت‌ها به‌منظور ارزیابی کیفیت توان در آن‌ها (کل جمعیت)
۲- تعیین روش برای انتخاب سایت‌های نمونه (جمعیت نمونه)
۳- انتخاب سایت بر اساس روش تعیین‌شده و بهینه‌سازی تعداد سایت‌های انتخاب شده
۴- بهینه‌سازی دوره‌ی پایش

روش‌های انتخاب سایت‌های نمونه به‌منظور انجام پایش را می‌توان در دو دسته قرار داد: [۵]

۱- روش‌های آماری
۲- روش‌هایی بر اساس تحلیل مشخصات سیستم

۱-۳-۲-۳- بهینه‌سازی تعداد سایت‌های پایش کیفیت توان

یک روش برای بهینه‌سازی، روش جای‌گذاری تکراری[3] است؛ بدین معنی که تعداد کمی از نقاط برای پایش انتخاب می‌شود، سپس یک مرحله‌ی پایش کیفیت توان انجام می‌گیرد و در نهایت نتایج بررسی می‌شود. بعد از هر مرحله، دقت

[1] High Voltage

[2] Extra-High Voltage

[3] Iterative placement method

اطلاعات بررسی شده و در صورت عدم دست‌یابی به هدف، تعداد سایت‌های نمونه افزایش پیدا می‌کند. زمان هر مرحله‌ی داده‌برداری، معمولاً یک سال در نظر گرفته می‌شود. در هر مرحله، نیاز است تحلیل هزینه-فایده نیز برای افزایش تجهیزات پایش انجام گیرد [۵]. معمولاً بعد از سه یا چهار مرحله، می‌توان به دقت مناسب دست یافت. بالطبع هر چه دقت بالاتری مدنظر باشد، تعداد سایت‌های پایش باید افزایش یابد.

تجربه نشان داده است پارامترهایی مانند دامنه‌ی ولتاژ و اعوجاج هارمونیکی، نسبت به عدم‌تعادل و فرورفتگی ولتاژ تعداد سایت کم‌تری برای پایش نیاز دارند [۱۹] و [۲۰]. تعداد سایت‌های موردنیاز برای پایش با فرض توزیع نرمال و سطح اطمینان به داده‌ها، قابل محاسبه است. بعد از انتخاب تعداد سایت‌ها، پیشنهاد می‌شود که این عدد به‌صورت سالانه بر اساس نتایج واقعی به‌دست‌آمده، بازبینی شود.

۱-۳-۲-۴- دوره‌ی زمانی پایش کیفیت توان

برای بررسی دوره‌ی زمانی پایش کیفیت توان سه حالت وجود دارد: [۵]

الف) نصب ثابت

در این حالت، تعدادی دستگاه پایش کیفیت توان به‌منظور اندازه‌گیری پیوسته نصب می‌شود. این موضوع به زیرساخت قابل‌توجهی برای رسیدگی، ذخیره و تحلیل داده نیاز دارد. نتایج اندازه‌گیری حاصل از نصب ثابت برای چندین سال صورت می‌گیرد. بنابراین، برای مطالعات کوتاه‌مدت (هفتگی)، میان‌مدت (فصلی) و بلندمدت باید از داده‌های متناسب با آن استفاده کرد.

ب) نصب موقت

در این حالت، معمولاً برای یک سایت، دستگاه‌های سیار به‌صورت کوتاه‌مدت (دو تا چهار هفته) در هر سال نصب می‌شوند. شیوه‌ی نصب موقت بوده و به برنامه‌ریزی دقیق‌تری نسبت به نصب ثابت نیاز داشته و زیرساخت کم‌تری می‌طلبد. اگر یک سایت به تنهایی بدین شیوه پایش شود، یک تصویر لحظه‌ای از سایت مشخص می‌شود. بررسی تغییرات میان‌مدت کیفیت توان می‌تواند بدین‌ترتیب باشد که حداقل دو بار در سال و در فصول مختلف، داده‌برداری صورت گیرد. برای بررسی تغییرات بلندمدت نیاز است طی چند سال و در یک دوره‌ی مشابه (به‌عنوان مثال هفته‌ی ابتدایی سال)، داده‌برداری صورت گیرد. بدیهی است انتخاب سایت‌های مختلف در سال‌های مختلف به جای انتخاب سایت‌های قبلی در چند سال، در هزینه‌ی ثابت، تعداد سایت‌های پایش‌شده را افزایش می‌دهد. این موضوع میزان نمایندگی نتایج به‌دست آمده برای کل سیستم را افزایش می‌دهد. اگرچه انتخاب سایت‌های یکسان در سال‌های مختلف، قابلیت اطمینان و کیفیت نتایج را برای سایت‌های مذکور افزایش می‌دهد.

ج) نصب ترکیبی

این حالت شامل نصب مانیتورهای ثابت و سیار است، که در واقع مصالحه‌ای بین دو روش نصب موقت و نصب ثابت از نظر هزینه ایجاد می‌کند. در این روش، تعدادی مانیتورهای ثابت به‌منظور دست‌یابی به نتایج دقیق و قابل‌اطمینان در

مطالعات کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت نصب می‌شوند. تعداد این مانیتورها به اندازه‌ای نیست که بتواند نماینده‌ی کل منطقه باشند، بنابراین، نیاز است تعدادی مانیتور سیار نیز در سایت‌ها نصب شوند.

هر کدام از سه روش ذکر شده، کاربردهای خاص خود را دارد. بررسی‌های مقیاس کوچک و مطالعات اولیه (پایلوت) بر اساس اطلاعات حاصل از پایش موقت حاصل می‌شود. مطالعات مقیاس متوسط معمولاً با پایش ثابت و دوره‌ی زمانی بلندمدت انجام می‌شود. در مطالعات مقیاس بزرگ، که معمولاً همه‌ی شبکه را در بر می‌گیرد، از روش پایش ترکیبی استفاده می‌شود. در جدول ۵-۱ مزایا و معایب سه روش ذکر شده بیان شده است.

۱-۳-۲-۵- توصیف سایت مشخص[1]

در صورتی که پایش کیفیت توان با هدف توصیف سایت برای مشترک متصل به شبکه انجام شود، تعیین محل نصب تجهیزات اندازه‌گیری کاملاً سرراست است. در این حالت، بهترین روش این است که به موازات کنتور موجود برای مشترک، اندازه‌گیری صورت بگیرد. در این حالت دیگر نیاز به نصب ترنسدیوسر جدید نیست. البته، باید توجه داشت که در این صورت، ترنسدیوسر استفاده شده معمولاً پاسخ فرکانسی مناسبی برای پدیده‌های فرکانس بالا و متوسط ندارد.

در صورتی که توصیف سایت برای مشترک بالقوه‌ای که هنوز به سایت متصل نشده انجام شود، محل نصب تجهیزات باید در نزدیک‌ترین حالت ممکن، به‌عنوان مثال نزدیک‌ترین پست، تعیین شود.

جدول ۱-۵- مزایا و معایب شیوه‌ی نصب تجهیزات

	مزایا	معایب
نصب ثابت	• نتایج قابل‌اطمینان برای سایت‌های منتخب • توانایی انجام مطالعات بلندمدت، میان‌مدت و کوتاه‌مدت	• افزایش هزینه‌های موردنیاز برای رسیدگی، ذخیره و تحلیل داده‌ها • نیاز به نصب تعداد بالای تجهیز به‌منظور دست‌یابی به نمایندگی مناسب نمونه از کل جمعیت
نصب موقت	• عدم نیاز به زیرساخت ارتباطی پرهزینه • نصب و راه‌اندازی سریع به ویژه برای مطالعات پایلوت • انعطاف‌پذیر بودن انتخاب سایت	• قابلیت اطمینان پایین‌تر داده‌ها برای یک سایت مشخص • نیاز به برنامه‌ریزی پیچیده برای دوره‌های نصب • پوشش مطالعات کوتاه‌مدت به تنهایی
نصب ترکیبی	• بهبود قابلیت اطمینان با هزینه‌ی بهینه • بهینه‌سازی منابع موردنیاز	• نیاز به برنامه‌ریزی پیچیده‌تر • عدم‌پوشش مطالعات کوتاه‌مدت و پوشش نسبی مطالعات بلندمدت و میان‌مدت

[1] Site Characterization

	• نتایج مناسب برای سایت‌های خاص و کل سیستم	

۱-۳-۲-۶- عیب‌یابی شبکه

این هدف، برای دو گروه می‌تواند صورت گیرد:

الف) عیب‌یابی برای مصرف‌کنندگان نهایی

هدف در این جا، شناسایی علت عدم کارکرد مناسب و علت ایجاد خرابی در تجهیزات مشترک است. اندازه‌گیری ولتاژ و جریان در نزدیک‌ترین محل به مشترک، بهترین روش برای عیب‌یابی است. داده‌برداری می‌تواند در سه محل صورت گیرد: [۵]

۱- در ترمینالی که تجهیز متصل دچار مشکل شده است.
۲- در نقطه‌ای که مشترک به شبکه متصل می‌شود.
۳- در نزدیک‌ترین مشترک و یا باس‌باری که مشترک از آن تغذیه می‌شود.

داده‌های نقاط ۱ و ۲ معمولاً در زمان پس از خطا به‌دست می‌آید. داده‌های نقطه ۳ می‌تواند شامل زمان قبل از خطا، حین خطا و پس از خطا باشد.

ب) عیب‌یابی برای بهره‌بردار سیستم

این مورد، در مواقعی که در یک ناحیه از سیستم اختلال کیفیت توان وجود دارد، صورت می‌گیرد. در این حالت، بهره‌بردار می‌تواند علاوه بر تجهیزات اندازه‌گیری ثابت و سیار، از سایر تجهیزاتی که در سیستم قرار دارند مانند رله‌ها، RTUها و ... استفاده کند.

۱-۴- ویژگی‌های پارامترهای پایش کیفیت توان

یکی از جنبه‌های مهم در پایش کیفیت توان، تعیین پارامترهای اندازه‌گیری است. با توجه به این که از نظر فنی و اقتصادی، پایش همه‌ی پارامترهای کیفیت توان مقدور نیست، نیاز است پارامترهایی اندازه‌گیری شوند که در راستای اهداف پایش کیفیت توان قرار گیرند. توصیه‌های این بخش عموماً بر اساس استاندارد IEC 61000-4-30 است که بر اساس شش هدف پایش کیفیت توان، داده‌ی اندازه‌گیری‌شده انتخاب و بررسی می‌شود.

۱-۴-۱- ذخیره‌ی داده

بر ا ساس اهداف و منابع مورد نظر، هر یک از سه ا ستراتژی زیر می‌تواند برای ذخیره سازی داده‌های پایش کیفیت توان اتخاذ شود: [۵]

۱-۴-۱-۱- ذخیره داده متمرکز

تمام اطلاعات در یک سایت نگه‌داری می‌شود. سایت مرکزی ممکن است دارای پیوندهای ارتباطی مستقیم با تجهیزات پایش کیفیت توان توزیع‌شده در مناطق مختلف باشد. هم‌چنین ممکن است بهره‌بردار، داده‌ها را از محل سایت بارگیری کرده و به سایت مرکزی ارسال نماید. یکی از معضلات این روش، این است که ایجاد هر مشکل در ذخیره‌سازی داده‌ها، ممکن است منجر به از دست رفتن کامل داده‌ها شود. با تکثیر و یا توزیع سایت مرکزی می‌توان از خرابی‌های احتمالی جلوگیری کرد.

۱-۴-۱-۲- ذخیره داده توزیع‌شده

در این روش، تجزیه و تحلیل داده‌ها باید در محل استقرار داده‌ها انجام شود. هر چند که ساختار این روش ساده است، ولی به دلیل فقدان زیر ساخت‌های مشترک، تجزیه و تحلیل کلی و تطبیق داده‌ها از منابع مختلف، ممکن است دشوار باشد. این ساختار برای اهداف بررسی شکایات یا توصیف سایت مناسب است.

۱-۴-۱-۳- ذخیره داده ترکیبی

این روش، ترکیبی از ساختار متمرکز و توزیع شده است. در این روش، توصیه شده است که فقط اطلاعات مفید در سایت مرکزی بارگذاری شود. در این روش، بین ذخیره‌ی فیزیکی داده‌ها و دسترسی به داده‌ها تفاوت وجود دارد. داده‌ها ممکن است در مکان‌های مختلف ولی با یک "نقطه‌ی دسترسی"، به‌عنوان مثال در یک وب‌سرویس، باشند.

توصیه‌های دقیق در مورد انتخاب پارامترهای پایش توان، بر اساس اهداف کنترل کیفیت توان در ادامه شرح داده شده است. با توجه به این‌که هدف اصلی این پژوهش، ارزیابی کارایی و عملکرد است، این هدف با جزئیات بیش‌تری بررسی می‌شود. در جدول ۱-۶، پارامترهای اندازه‌گیری بر اساس اهداف پایش کیفیت توان مقایسه شده‌اند.

جدول ۱-۶- پارامترهای اندازه‌گیری کیفیت توان مطابق با اهداف شش‌گانه

هدف پایش توان	پارامترهای اندازه‌گیری معمول
تطابق با الزامات	تغییرات ولتاژ (دامنه در سطح قابل‌قبول باشد) عدم‌تعادل ولتاژ هارمونیک ولتاژ (ولتاژ فاز به زمین معمولاً بهتر است) فلیکر ولتاژ
تجزیه و تحلیل عملکرد/ تعیین معیار	علاوه بر موارد موجود در عدم انطباق با الزامات، فرورفتگی ولتاژ (عمق و مدت وقوع) برآمدگی ولتاژ حالت‌های گذرا (نمونه‌برداری بالاتر از فرورفتگی ولتاژ) معمولاً برای ذخیره‌ی این موارد، تجهیزات پایش توان دارای دو ماژول A/D[1] با فرکانس نمونه-برداری متفاوت هستند.

[1] analog-to-digital converter

توصیف سایت	مشابه حالت تجزیه و تحلیل عملکرد/ تعیین معیار
عیب‌یابی	علاوه بر موارد فوق، گاهی به نرخ نمونه‌برداری بالاتر و یا پایش شکل موج جریان نیز نیاز است.
مطالعات و کاربردهای پیشرفته	زیر هارمونیک‌ها و نوسان‌های ولتاژ و جریان اندازه‌گیری فاز ولتاژ و جریان (برای بررسی پایایی) اندازه‌گیری فاز هارمونیک
مدیریت فعال کیفیت توان	چندان مرسوم نیست، ولی برای فیلتر أکتیو و یا کنترل توان رأکتیو می‌توانند مفید باشند.

اگر هدف از پایش کیفیت توان، تجزیه و تحلیل عملکرد یک سیستم باشد، معمولاً لازم است فقط اختلالات ولتاژ ارزیابی شود. [۵] حتی ممکن است نیازی به نظارت بر تمام پارامترهای کیفیت توان مشخص شده در استاندارد نباشد. کافی است مواردی که مورد استفاده‌ی شرکت ارائه‌دهنده‌ی خدمات انرژی هستند، ارزیابی شوند. این پارامترها ممکن است زیرمجموعه‌ای از پارامترهای ولتاژ مانند حالت پایدار ولتاژ، عدم‌تعادل ولتاژ، هارمونیک ولتاژ و فرورفتگی ولتاژ باشد. اختلالاتی مانند فلیکر که فقط مورد توجه سایت‌های خاص است، اغلب کنترل نمی‌شود.

۱-۴-۲- وضوح[1] داده

در مورد وضوح داده، موارد زیر باید مدنظر قرار گیرد:

۱-۴-۲-۱- نرخ نمونه‌برداری و فواصل جمع‌آوری اطلاعات

برای محاسبه‌ی پارامترهای کیفیت توان در سیستم، باید یک بازه‌ی زمانی تعیین شود. فواصل جمع‌آوری اطلاعات در استاندارد IEC 61000-4-30، برای سیستم‌های ۵۰ هرتز، ۱۰ دوره (۲۰۰ میلی‌ثانیه) و برای سیستم‌های ۶۰ هرتز، ۱۲ دوره تعیین‌شده است. مقادیر ۱۰ دوره، در بازه‌ی طولانی‌تری به‌عنوان پنجره‌های میانگین‌گیری، تجمیع می‌شوند. نرخ نمونه‌برداری باید حداقل دو برابر بالاترین هارمونیک (براساس قضیه‌ی Nyquist-Shannon) باشد. به‌عنوان مثال، اگر براساس استاندارد EN 50160 بالاترین هارمونیک اندازه‌گیری شده مؤلفه‌ی ۲۵اُم است، بنابراین نرخ نمونه‌برداری باید حداقل ۲/۵ یا ۳/۵ کیلو هرتز باشد، که این میزان بستگی به فرکانس اصلی دارد.

۱-۴-۲-۲- پنجره‌ی میانگین‌گیری داده

بر اساس استاندارد IEC 61000-4-30، مقادیر ۱۰ دوره در پنجره‌های نمونه‌برداری ۳ ثانیه، ۱۰ دقیقه و ۲ ساعت تجمیع می‌شوند. معمولاً مقادیر ۱۰ دقیقه‌ای برای دست‌یابی به تصویری دقیق از عملکرد سیستم، کافی تلقی می‌شوند. با این‌حال، استفاده از مقادیر یک دقیقه‌ای، بینش عمیق‌تری در مورد جزئیات داده‌ها می‌دهد.

[1] Resolution

۱-۴-۲-۳- پردازش پیشین و پسین داده‌ها

پیش‌پردازش داده‌ها، فقط زمانی لازم است که داده‌ها به نرم‌افزارهای موجود یا پایگاه داده صادر شوند. این امر به زیرساخت‌های موجود فناوری اطلاعات بستگی دارد. به‌عنوان مثال، اگر داده‌ها با استفاده از پایگاه داده SQL در حال تحلیل هستند، باید به قالب‌های جدولی مناسب صادر شوند.

پس‌پردازش داده‌ها نیز به نتیجه‌ی موردانتظار این تحلیل بستگی دارد. اگر از پایگاه‌های داده SQL استفاده شود، قالب‌های جدولی، یک خروجی طبیعی هستند. این نتایج هم‌چنین می‌تواند به‌عنوان ورودی برای تولید نمودارهای پیچیده استفاده شود.

۱-۴-۲-۴- ذخیره، انتقال و قالب[1] داده

ذخیره‌ی داده

به‌طور کلی، مناسب‌ترین روش برای هدف ارزیابی کارایی، ذخیره سازی متمرکز است. این روش، به مقایسه‌ی بین سایت‌های مختلف در یک سیستم و بررسی داده‌های پیشین کمک می‌کند. اگر پایگاه داده‌ی مرکزی، بیش از حد بزرگ شود، می‌توان آن را به تعدادی پایگاه داده‌ی کوچک‌تر تقسیم کرد.

انتقال داده

سازندگان ابزارهای پایش کیفیت توان تمایل دارند نرم‌افزارهای تجزیه و تحلیل را مختص تجهیزات خود گسترش دهند. در بیش‌تر موارد، نرم‌افزار اختصاصی از قالب فایل و روش ذخیره‌سازی وابسته به سازنده‌ی اصلی استفاده می‌کند. بنابراین، قابلیت همکاری آسان بین تجهیزات مختلف با برندهای مختلف یا حتی انواع مختلف از یک تولیدکننده، به‌طور کلی دشوار و یا غیرممکن است. به‌طور خلاصه، انتقال داده‌ها می‌تواند به‌صورت قالب‌های اختصاصی یا استاندارد صورت بگیرد. اگر داده‌ها مربوط به یک سایت منفرد باشد، قالب نرم‌افزار اختصاصی بهتر است. با این حال، اگر انطباق یک پارامتر خاص کیفیت توان در تعدادی از سایت‌ها، توسط پایش کیفیت توان از تأمین‌کنندگان مختلف در حال بررسی است، قالب داده‌ی استاندارد موردنیاز است.

پروتکل‌های ارتباطی

صرف‌نظر از قالب داده‌ها، پروتکل‌های ارتباطی، فاکتور مهمی در سیستم پایش توان هستند. در مورد پروتکل‌های مورد استفاده در پست‌های برق، در حال حاضر سه استاندارد اصلی IEC 61850، DNP3 و IEC 60870-5-101 / 104 وجود دارد. هم‌چنین، پروتکل‌های ارتباطی پرکاربرد دیگری نیز وجود دارند، که بر اساس استانداردهای IEC یا IEEE نیستند؛ برای نمونه می‌توان از MODBUS, ZMODEM و FTP نام برد.

ابزار پایش کیفیت توان

[1] Format

در حال حاضر، به‌طور کلی، شرکت‌های بهره‌بردار برق از طیف وسیع پایش (از همه‌ی کلاس‌ها) و سایر تجهیزات پایش کیفیت توان برای نظارت بر کیفیت توان استفاده می‌کنند. اغلب از تعداد کمی ابزارهای دقیق و با کیفیت بالا در سایت‌هایی که به دقت بالایی نیازمندند، استفاده می شود. این دستگاه‌ها سپس توسط تعداد زیادی دستگاه با کیفیت پایین (و عملکرد پایین‌تر) تکمیل می شوند؛ به‌ویژه در مواردی که هدف دست‌یابی به بینشی از سطح کلی کیفیت توان سیستم است. ویژگی پایش کیفیت توان با کلاسه‌های مختلف براساس استاندارد IEC 61000-4-30 به شرح زیر است:

پایش کلاس A در مواردی استفاده می‌شود که اندازه‌گیری دقیق لازم باشد. هر اندازه‌گیری از یک پارامتر که با دو ابزار مختلف مطابق با الزامات کلاس A انجام شود، با تطبیق اندازه‌گیری سیگنال‌های مشابه و عدم‌قطعیت مشخص شده برای آن پارامتر حاصل می‌شود.

پایش کلاس S برای کاربردهای آماری مانند مطالعات تجمیعی یا ارزیابی کیفیت توان، احتمالاً با زیرمجموعه‌ای از پارامترها، استفاده می‌شوند. اگرچه این کلاس از فواصل اندازه‌گیری معادل A استفاده می‌کند، اما الزامات پردازش کلاس S بسیار کم‌تر است.

پایش و روش‌های اندازه‌گیری کلاس B اطلاعات مفید اما نه لزوماً قابل‌مقایسه را ارائه می‌دهند. درحال حاضر این موارد برای تهیه‌ی کیت‌های موجود پایش اختصاص داده شده‌اند.

از پایش کلاس‌های A و S سازگار با استاندار IEC 61000-4-30 می‌توان برای هدف ارزیابی کارایی عملکرد، بهره جست. ابزارهای دیگر، مانند کنتورهای هوشمند نیز ممکن است هنگام تحلیل عملکرد سیستم، اطلاعات مفیدی را ارائه دهند.

۱-۴-۳- خلاصه‌ی مقایسه‌ی پارامترهای کیفیت توان بر اساس اهداف شش‌گانه

در جدول ۱-۷، پارامترهای اندازه‌گیری کیفیت توان مطابق با اهداف شش‌گانه به دو صورت، در دو جدول ۱-۷ و ۱-۸، بیان شده است.

جدول ۱-۷- خلاصه‌ی مقایسه‌ی پارامترهای کیفیت توان بر اساس اهداف شش‌گانه ۱

اهداف پایش کیفیت توان	تطابق با الزامات	ارزیابی کارایی	توصیف سایت
پارامتر	عموماً اختلالات ولتاژ، شامل: حالت پایدار مقدار مؤثر ولتاژ، عدم‌تعادل ولتاژ، هارمونیک ولتاژ، فروفتگی و برآمدگی ولتاژ، فلیکر ولتاژ. برخی از استانداردهای نظارتی خواهان اندازه‌گیری اختلالات جریان نیز هستند.	عموماً اختلالات ولتاژ، شامل: حالت پایدار ولتاژ، عدم‌تعادل ولتاژ، هارمونیک ولتاژ، فلیکر ولتاژ، فروفتگی و برآمدگی ولتاژ، کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار مؤثر ولتاژ در هر ۱ یا ۱۰ دقیقه پنجره‌ی میانگین‌گیری	مانند هدف ارزیابی کارایی، به‌علاوه‌ی حالت گذرا، اندازه‌گیری جریان نیز می‌تواند مفید باشد.

نرخ نمونه‌برداری	بین ۳/۵ تا ۶ کیلوهرتز	بین ۳/۵ تا ۶ کیلوهرتز	۲۰ کیلوهرتز یا بالاتر (اگر حالت گذرا اندازه‌گیری نشود بین ۳/۵ تا ۶ کیلوهرتز کافی است.)
پنجره‌ی میانگین‌گیری داده	بر اساس استاندارد مقتضی	عموماً ۱۰ دقیقه، برای ولتاژ ۱ دقیقه	عموماً ۱۰ دقیقه، زمان‌های کم‌تر نیز بر اساس نوع بار متصل به سایت انتخاب می‌شود. (۳ثانیه)
قالب داده	اختصاصی/ جدولی/ استاندارد شده	اختصاصی/ جدولی/ استاندارد شده	اختصاصی/ استاندارد شده
شکل موج	نیاز نیست	توصیه نمی‌شود	می‌تواند مفید باشد
ذخیره‌ی داده	متمرکز، توزیع‌شده و ترکیبی	متمرکز	متمرکز، توزیع‌شده و ترکیبی
ابزار اندازه‌گیری	کلاس A سازگار با IEC 61000-4-30	کلاسA ، B یا S سازگار با IEC 61000-4-30 دیگر ابزار اندازه‌گیری مانند کنتورهای هوشمند یا رله‌های هوشمند می‌توانند مفید باشند.	کلاس A، B یا S سازگار با IEC 61000-4-30

جدول ۱-۸- خلاصه‌ی مقایسه‌ی پارامترهای کیفیت توان بر اساس اهداف شش‌گانه ۲

اهداف پایش کیفیت توان	عیب‌یابی	مطالعات و کاربردهای پیشرفته	مدیریت فعال کیفیت توان
پارامتر	اختلالاتی که بر اساس مشکل به وجود آمدند. عموماً اندازه‌گیری جریان و ولتاژ لازم است.	بر اساس کاربرد و مطالعات	بر اساس کاربرد
نرخ نمونه‌برداری	براساس پدیده‌ای که مشکل ایجاد کرده، ۵۰۰ کیلوهرتز همه‌ی پدیده‌ها و حالات گذرا را شامل می‌شود.	بر اساس مطالعات و کاربرد	بین ۳/۵ تا ۶ کیلوهرتز
پنجره‌ی میانگین‌گیری داده	بر اساس معضل ایجاد شده	بر اساس کاربرد و مطالعات	خیلی کوتاه (تقریباً به‌صورت برخط)
قالب داده	اختصاصی/ استانداردشده	اختصاصی/ استانداردشده	اختصاصی/ استانداردشده
شکل موج	توصیه شده	براساس کاربرد	می تواند مفید باشد
ذخیره داده	عموماً توزیع شده	متمرکز/ توزیع شده/ ترکیبی	متمرکز/ توزیع شده/ ترکیبی
ابزار اندازه‌گیری	بر اساس نوع مشکل، عیب‌یابی ممکن است شامل استفاده از طیف وسیعی از ابزارها از جمله ابزارهایی به غیر از پایش کنترل کیفیت توان، به‌عنوان مثال اسیلوسکوپ، نمایشگر دستی و کنتورها شود.	براساس کاربرد	همه‌ی ابزارهای اندازه‌گیری می‌تواند مفید باشد.

۱-۴-۳-۱- پارامترهای مهم در پایش کیفیت توان [۵]

زمان‌سنجی

اگرچه در برخی موارد، برچسب زمانی در پایش کیفیت توان اهمیت زیادی ندارد، اما در برخی رویدادها، نیاز به ذخیره‌ی زمان واقعی داریم. به‌عنوان مثال، در بررسی هم‌زمانی کلیدزنی با برخی رویدادهای شبکه، زمان اهمیت دارد. هم‌چنین، هم‌زمانی داده‌های ذخیره‌شده در چند پایش ممکن است اهمیت داشته باشد. به‌عنوان مثال، در بررسی نحوه‌ی پخش هارمونیک‌ها در شبکه، نیاز است اطلاعات دو سوی یک ترانسفورماتور ذخیره شود. برای ذخیره‌ی زمان واقعی می‌توان از GPS در پایش استفاده کرد.

معماری شبکه

وضعیت ترانسفورماتورها، خطوط، جبران‌سازهای توان رأکتیو و غیره، در تحلیل داده‌های کیفیت توان مؤثرند. این داده‌ها معمولاً در سطح انتقال (ولتاژ بالا) و تا حدی در سطح شبکه‌ی فشار متوسط در دسترس هستند اما در سطح فشار ضعیف، معمولاً این داده‌ها در دسترس نیستند. برای حل این مشکل، می‌توان از تکنیک ثبت پرچم در داده‌ها استفاده کرد. به این‌ترتیب، هنگام تحلیل اطلاعات کیفیت توان، به راحتی می‌توان داده‌های مربوط به زمان تعمیر یک ترانسفورماتور یا خط را حذف کرد.

آب و هوا

وضعیت آب و هوا از منابع داده‌ی مختلف می‌تواند به‌صورت هم‌زمان ثبت شود. داده‌هایی مانند دما، باران، باد، یخ‌زدگی، صاعقه و غیره می‌توانند برای تحلیل وضعیت کیفیت توان سیستم مفید باشند.

ترانسفورماتورهای اندازه‌گیری

انتخاب ترانسفورماتورهای اندازه‌گیری با دقت و پاسخ فرکانسی مناسب، اهمیت زیادی دارد. ترانسفورماتورهای اندازه‌گیری خازنی، سلفی و غیره، مشخصات متفاوتی دارند که باید با دقت انتخاب شوند.

اتصال تجهیزات اندازه‌گیری

می‌توان به‌منظور اتصال تجهیزات اندازه‌گیری، از ترانسفورماتورهای حفاظتی و یا ترانسفورماتورهای اندازه‌گیری استفاده کرد. ترانسفورماتورهای اندازه‌گیری در بازه‌ی محدودی دقت بالاتری دارند (۸۰ تا ۱۲۰ درصد مقدار نامی). ترانسفورماتورهای حفاظتی، بازه‌ی اندازه‌گیری وسیع‌تر و دقت کم‌تری ارائه می‌دهند.

قالب اطلاعات

اکثر تجهیزات پایش، دارای یک نرم‌افزار جانبی نیز هستند که این نرم‌افزار برای تحلیل اطلاعات یک سایت بسیار مناسب است. اما، در صورتی که پایش توسط برندهای متفاوت در سایت‌های مختلف انجام شود، امکان استفاده از نرم‌افزار جانبی وجود ندارد؛ لذا، می‌بایست استفاده از قالب‌های استاندارد اطلاعات، بیش‌تر مورد توجه قرار گیرد.

پروتکل‌های ارتباطی

در مقیاس کوچک داده‌برداری، می‌توان اطلاعات پایش توان را بر روی دستگاه ذخیره کرد. با وسیع شدن مقیاس، باید از پروتکل‌های ارتباطی برای دسترسی به داده‌ها استفاده شود. سازندگان تجهیزات پایش، در حال حاضر، از پروتکل‌های متفاوتی (مانند DNP3 و IEC 61850) استفاده می‌کنند. پروتکل‌های ارتباطی دیگری نیز درون

پست‌ها، نظیرFTP، MODBUS و ZMODEM استفاده می‌شوند. با توجه به نبود استاندارد واحد در این حوزه، استفاده از تجهیزات پایش با برندهای مختلف در یک سیستم، باعث ایجاد چالش‌های فراوانی خواهد شد.

کلاس‌بندی تجهیزات پایش

بر اساس استاندارد IEC 61000-4-30، پایش در کلاس‌های متفاوتی (مثلا A و S) قرار می‌گیرند که بسته به کاربرد، باید از تجهیزات با کلاس‌های متفاوت استفاده کرد.

۱-۵- ارائه‌ی شاخص‌ها و نتایج پایش کیفیت توان

شاخص‌های اندازه‌گیری، نماینده‌ی حجم بزرگی از داده‌های اندازه‌گیری هستند. تعداد شاخص‌ها باید تا جای ممکن کاهش یابد و در عین حال، اطلاعات مفید نیز از دست نرود. شاخص‌های حالت پایدار ولتاژ از جمله هارمونیک، فلیکر[1] و عدم‌تعادل را می‌توان به دو گروه زیر تقسیم کرد.

شاخص‌های سطوح برنامه‌ریزی[2]

این موارد در درجه‌ی اول، توسط بهره‌بردار سیستم برای ارزیابی کیفیت توان داخلی شبکه‌ی سراسری، به‌منظور تعیین محدودیت‌هایی برای بارهای آلوده و ارزیابی تأثیر بارهای مزاحم بر سیستم تأمین کننده‌ی برق، استفاده می‌شوند. عموماً این شاخص‌ها در سطوح ولتاژ بالا و ولتاژ متوسط کاربرد دارند.

توجه داشته باشید که برخی استانداردها یا دستورالعمل های ملی ممکن است از عبارت "سطوح طراحی[3]" برای سطوح برنامه ریزی استفاده کنند.

شاخص‌های ویژگی‌های ولتاژ [4]

این شاخص‌ها می‌توانند برای گزارش عملکرد به مدیریت و برای گزارش عملکرد در سطح نظارتی استفاده شوند. این موارد، شاخص‌های ساده‌ای هستند. عموماً این شاخص‌ها در سطح ولتاژ پایین و متوسط کاربرد دارند. شاخص‌های ولتاژی در دو سطح زیر، عملکرد سیستم را گزارش می‌دهند.

توجه داشته باشید که برخی استانداردها یا دستورالعمل های ملی ممکن است از عبارت "سطوح سازگاری[5]" برای تعیین ویژگی های ولتاژ استفاده کنند.

شاخص سایت: ارزیابی عملکرد یک سایت مشخص

شاخص سیستم: جمع‌آوری شاخص‌های سایت‌های سیستم و پردازش آماری داده‌ها

۱-۵-۱- شاخص‌های پایش کیفیت توان

در این بخش، شاخص‌های پایش کیفیت توان مورد بررسی قرار می‌گیرند.

۱-۵-۱-۱- هارمونیک

شاخص‌های هارمونیک

[1] Flicker

[2] Planning level

[3] Design level

[4] voltage characteristics

[5] Compatibility level

به‌دست آوردن شاخص‌های هارمونیکی شامل سه مرحله‌ی زیر است:

۱- به‌دست آوردن طیف ولتاژ یا جریان در یک بازه‌ی زمانی مشخص

۲- به‌دست آوردن شاخص سایت از طیف‌ها در یک دوره‌ی معین

۳- به‌دست آوردن شاخص سیستم از شاخص‌های سایت

بر اساس استانداردهای بین‌المللی، شاخص‌های اصلی هارمونیکی با روش زیر به‌دست می‌آیند:

۱- طیف هارمونیکی در یک پنجره‌ی ۱۰ دوره‌ای در سیستم‌های ۵۰ هرتز یا ۱۲ دوره‌ای در سیستم‌های ۶۰ هرتز به‌دست می‌آید. در هنگام اندازه‌گیری، پنجره باید با فرکانس واقعی که ممکن است کمی با فرکانس نامی متفاوت باشد هماهنگ شود.

۲- طیف‌ها (RMS) در یک بازه‌ی ۳ ثانیه‌ای (۱۵۰ چرخه برای سیستم‌های ۵۰ هرتز و ۱۸۰ چرخه برای سیستم‌های ۶۰ هرتز) با یک طیف ترکیب می‌شوند و مقادیر به‌دست آمده به‌عنوان شاخص‌های "بسیار کوتاه‌مدت[1]" ($U_{h,vs}$) بیان می‌شود.

۳- با ترکیب مقادیر ۳ ثانیه‌ای با پنجره‌ی میانگین‌گیری ۱۰ دقیقه، شاخص‌های "کوتاه‌مدت[2]" ($U_{h,sh}$) به‌دست می‌آید.

۴-مقادیر ۳ ثانیه‌ای و ۱۰ دقیقه‌ای بسته به شاخص، در طی یک روز یا یک هفته ارزیابی می‌شوند.

۵- در نهایت، مقادیر ٪۹۵، ٪۹۹ یا حداکثر توزیع داده‌ها، به‌عنوان شاخص‌های سایت اطلاق می‌شوند.

در جدول ۱-۹، مقایسه‌ی خلاصه‌ای از شاخص‌های هارمونیک بین استانداردها و دستورالعمل‌های مختلف ارائه شده است. در بیش‌تر موارد، استاندارد مرجع برای انجام اندازه‌گیری‌های هارمونیکی استاندارد IEC 61000-4-7 است. عملاً متداول‌ترین شاخص برای ولتاژ هارمونیک $U_{h,sh}$ است. این شاخص به‌طور عمده برای مشخصات ولتاژ استفاده می‌شود و سطح هارمونیکی، معمولاً با ٪۹۵ احتمال آمار هفتگی مطابقت داده می‌شود.

استانداردها و مستندات، با توجه به اهداف موردنظر، مقادیر مجاز هارمونیک‌های ولتاژ در سطوح ولتاژ متوسط و بالا را معین کرده‌اند. جدول ۱-۱۰، میزان مجاز مؤلفه‌های هارمونیک ولتاژ در استانداردهای مختلف را نشان می‌دهد. با توجه با مقادیری که در جدول ۱-۱۰ آمده است، مقادیر شاخص‌های هارمونیک ولتاژ در سطح فشار قوی از سطح فشار متوسط کم‌تر است.

[1] Very short time

[2] Short time

جدول ۱–۹- مقایسه‌ی خلاصه‌ای از شاخص‌های هارمونیک بین استانداردها و دستورالعمل‌های مختلف

HARMONIC VOLTAGE INDICES		International standard or guidelines		Regional or national standards and guidelines					
Standard / Document		IEC 61000-3-6: 1996 [1]	IEC 61000-4-30:2003 [4]	EN50160:1999 [5]	ANSI/IEEE 519:1992 [7]	NRS048-2:2003 [6]	EDF Emeraude contract [8]	ER G5/4: [9]	H.-Q. Voltage Characteristics [10]
Status		Technical report type 3	International Standard	European standard	ANSI Std. Recommended practice	National standard	Power quality contract	National Standard	Voluntary
Where it applies		International	International	19 European countries	Some countries mostly in America	Southern African countries	France	UK Countries	Québec, CA
Purpose		Indicative planning levels for emission limits.	Power quality measurement methods	Supply Voltage characteristics for public networks	Recommended practice for emission limits and systems design values	Minimum standard used by the regulator	Supply voltage characteristics	Planning levels for controlling emissions.	Supply voltage characteristics
Indices / assessment	**Very short time (3-s)**	**$U_{h,vs}$ 95% daily**	**$U_{h,vs}$ (X% as agreed)**		**No definite indices**				
	Short time (10-min)	**$U_{h,sh}$ Max. weekly**	**$U_{h,sh}$ (X% as agreed)**	**$U_{h,sh}$ + THD 95% weekly**		**$U_{h,sh}$ + THD 95% weekly**	**$U_{h,sh}$ + THD Max**		**$U_{h,sh}$ +THD 95% weekly**
	Other	**$U_{h,vs}$ * Max. weekly[2]**			**95% (P519A)**			**$U_{h,1\text{-}min}$ +THD 95% weekly**	
Period for statistical assessment		One week minimum	At least one week or more as agreed	One week	Undefined	One week min.	At least one week or more	One week	One week
Measurement method		IEC 61000-4-7	IEC 61000-4-7	IEC 61000-4-7	No specific measurement method	Specific measurement method	IEC 61000-4-7	Specific measurement method	IEC 61000-4-7
Remarks		Covers MV to EHV (* Factor 1,5 -2 allowed).	Indices proposed as guidelines for contractual applications in informative annex A6	Applies to LV and MV.	Covers LV to EHV. Currently under revision.	Covers LV-MV HV-EHV.	Covers LV-MV HV-EHV.	Applies to LV-MV and to HV-EHV	Applies to LV-MV and to HV-EHV

جدول ۱-۱۰- میزان مجاز مؤلفه‌های هارمونیک ولتاژ در استانداردهای مختلف

HARMONIC VOLTAGE OBJECTIVES			International standards or guidelines		Regional or national standards or guidelines					
Standard / Document			IEC 61000-2-12: 2003 [11]	IEC 61000-3-6: 1996 [1]	CENELEC EN50160:1999 [5]	ANSI/IEEE 519:1992 [7]	NRS048-2:2003 [6]	EDF Emeraude contract – A. 2 [8]	ER G5/4:2001 [9]	H.-Q. Voltage characteristics [10]
Purpose			Defines compatibility levels for MV public networks	Indicative Planning levels for controlling emissions	Supply voltage characteristics for public networks	Recommended practice for emissions and system design values	Minimum standard used by the regulator	Supply voltage characteristics	Planning levels for the connection of non-linear equipment to public network	Information on supply voltage characteristics
Objectives MV	Voltage level		1 to 35 kV	1 to 35 kV	1 to 35 kV	120V to 69kV	1 to 44 kV	1 to 50kV	6.6 to 20 kV	0,75 to 34,5 kV
	Order		h ≤ 50	Typically h ≤ 40	h ≤ 25	All order	h ≤ 40	h ≤ 25	h ≤ 50	h ≤ 25 +THD
	Levels	Odd	(e.g.: 6% at h=5) See Table 3	(e.g.: 5% at h=5) See Table 3	(e.g.: 6% at h=5) See Table 3	3% all order	(e.g.: 6% at h=5) See Table 3	(e.g.: 6% at h=5) See Table 3	(e.g.: 3% at h=5) See Table 3	(e.g.: 6% at h=5) See Table 3
		Even				3% all order				
		THD	8%	6,5%	8%	5%	8%	8%	4%	8%
Objectives HV-EHV	Voltage level		Not applicable	>35 kV	Not applicable	>69 to 161 kV / >161kV	> 44 to ≤400 kV	>50 kV	20 to 400 kV	≥44 to ≤315 kV
	Order			Typically h ≤ 40		All order	h ≤ 40	h ≤ 25	h ≤ 50	h ≤ 50 +THD
	Levels	Odd		(e.g.: 2% at h=5) See Table 3		1,5% / 1%	(e.g.: 2% at h=5) See Table 3	(e.g.: 2% at h=5) See Table 3	(e.g.: 2% at h=5) See Table 3	(e.g.: 2% at h=5) See Table 3
		Even				1,5% / 1%				
		THD		3%		2,5% / 1,5%	3%	3%	3%	3%
Remarks			Higher levels (THD up to 11%) are specified for very short time effects.	Covers MV to EHV.	Applies to LV and MV only	Standard currently under revision	Objectives for harmonics at HV are informative	Objectives for harmonics are informative		Covers LV-MV and HV-EHV

شاخص‌های توصیه شده در گزارش بین‌المللی CIGRE برای ارزیابی هارمونیک

شاخص برای سطوح برنامه‌ریزی

براساس توصیه‌ی استاندارد IEC 61000-4-30، شاخص سطوح برنامه‌ریزی به‌صورت زیر است. حداقل دوره‌ی ارزیابی ۱ هفته ذکر شده است.

- ٪۹۵ احتمال روزانه مقدار $U_{h,vs}$
- ٪۹۹ احتمال هفتگی مقدار $U_{h,sh}$
- ٪۹۹ احتمال هفتگی مقدار $U_{h,vs}$

شاخص برای ویژگی‌های ولتاژ

- **شاخص سایت**

بر اساس استاندارد EN 50160، شاخص هارمونیکی سایت در سطوح ولتاژ بالا، ولتاژ متوسط و ولتاژ پایین دارای ویژگی زیر است.

- ٪۹۵ احتمال هفتگی مقدار $U_{h,vs}$

- **شاخص سیستم**

شاخص پیشنهادی سیستم، شاخص سایتی است که از درصد بالایی از سایت‌ها (به‌طور مثال ٪۹۰، ٪۹۵ و ٪۹۹ سایت‌ها) تجاوز نکند. این مقدار توافقی بین رگولاتور و بهره‌بردار است. شاخص هر هارمونیک باید به‌صورت جداگانه حساب شود.

۱-۵-۱-۲- فلیکر

نوسانات ولتاژ باعث تغییر درخشندگی لامپ‌ها می‌شود که می‌تواند پدیده‌ی بصری به نام فلیکر را ایجاد کند. میزان عدم‌ثبات حس بینایی انسان از طریق یک لامپ، "فلیکر" نامیده می‌شود که کاملاً به نوسان ولتاژ تأمین‌کننده‌ی لامپ، ویژگی‌های لامپ و فیزیولوژی مغز چشم فرد درگیر بستگی دارد. شاخص‌های پدیده‌ی فلیکر همان‌طور که در IEC 61000-4-15 مطرح شده است، به‌صورت زیر هستند [۲۱]:

- "شدت فلیکر کوتاه‌مدت" در ۱۰ دقیقه (P_{st}): این مقدار از تجزیه و تحلیل آماری "مقدار فلیکر لحظه‌ای" به‌دست می‌آید و در واقع روشی است که لامپ‌های رشته‌ای و مشاهدات از تغییرات شدت نور را مدل می‌کند.
- با استفاده از مقادیر ۱۰ دقیقه‌ای شدت فلیکر کوتاه مدت، "شدت فلیکر طولانی مدت" در ۲ ساعت به‌دست می آید.

استانداردهای بین‌المللی، شاخص فلیکر را به طرق مختلف بیان می‌کنند. این شاخص بر اساس هدف پایش کیفیت توان تعیین می‌شود. جدول ۱-۱۱، مقایسه‌ی خلاصه‌ای از شاخص فلیکر بین استانداردها و دستورالعمل‌های مختلف را

ارائه می‌دهد. با توجه به اطلاعات جدول ۱-۱۰، متداول‌ترین مرجع برای اندازه‌گیری فلیکر، استاندارد IEC 61000-4-15 است. مقادیر هفتگی ۹۵٪ یا ۹۹٪ شاخص‌های P_{st} یا P_{lt}، بیش‌تر مورد استفاده قرار می‌گیرد. شرط قابل‌قبول برای P_{st} در استانداردهای مختلف، کم‌تر از ۱ معرفی شده است.

شاخص‌های توصیه شده در گزارش بین‌المللی CIGRE برای ارزیابی فلیکر

- **شاخص سطوح برنامه‌ریزی**

براساس توصیه استاندارد IEC 61000-4-30، شاخص سطوح برنامه‌ریزی به‌صورت ذیل است. حداقل دوره‌ی ارزیابی ۱ هفته ذکر شده است.

- ۹۵٪ احتمال هفتگی مقدار P_{st}
- ۹۹٪ احتمال هفتگی مقدار P_{st}

شاخص ویژگی‌های ولتاژ

- **شاخص سایت**

بر اساس استاندارد EN 50160، شاخص هارمونیکی سایت در سطوح ولتاژ بالا، ولتاژ متوسط و ولتاژ پایین دارای ویژگی زیر است.

- ۹۵٪ احتمال هفتگی مقدار P_{lt}

- **شاخص سیستم**

برای شاخص‌های فلیکر سیستم، محدودیت فعلی این است که در بسیاری از سیستم‌ها، اندازه‌گیری فلیکر فقط در مکانی که عموماً در نزدیکی بارهای بزرگ نوسانی است انجام می‌شود. مشکلات فلیکر خاص هستند و به احتمال زیاد در کل سیستم گسترده نخواهند شد. نظارت مداوم بر سطح فلیکر در تمام نقاط اتصال با شبکه‌ی اصلی ضروری نیست و ممکن است هزینه‌های بالا برای ردیابی سطح فلیکر سیستم توجیه نداشته باشد. از آن‌جا که تعداد سایت‌هایی که در آن‌ها فلیکر ارزیابی می‌شود محدود است، نمی‌توان شاخص سیستم را بر اساس این سایت‌های محدود معین کرد. بر این اساس، تعیین شاخص فلیکر سیستم برای کاربردهای عمومی توصیه نمی‌شود. اما در مورد سیستم‌هایی که نظارت دائمی فلیکر در تعداد زیادی سایت برنامه‌ریزی شده باشد، لازم است که حداقل تعداد سایت‌ها کنترل شود تا بتواند شاخص سیستم مربوطه را محاسبه کند.

جدول ۱-۱۱- مقایسه‌ی شاخص‌های فلیکر بین استانداردهای مختلف و اسناد مرجع

FLICKER INDICES		International standards or guidelines		Regional or national standards and guidelines				
Standard / Document		**IEC 61000-3-7: 1996 [2]**	**IEC 61000-4-30:2003 [4]**	**EN50160:1999 [5]**	**NRS048-2:2003 [6]**	**EDF Emeraude contract – A. 2 [8]**	**ER P28: [13]**	**H.-Q. Voltage Characteristics [10]**
Status		Technical report type 3	International Standard	European standard	National standard	Premium power contract	National Standard	Voluntary
Where it applies		International	International	19 European countries	Southern African countries	France	UK	Québec, CA
Purpose		Indicative planning levels for emission limits.	Power quality measurement methods	Supply Voltage characteristics for public networks	Minimum standard used by the regulator	Supply voltage characteristics	Planning levels for controlling emissions.	Supply voltage characteristics
Indices / assessment	**Short term (10-min)**	**P_{st} 99% weekly**	**P_{st} 99% weekly (or X% as agreed)**				**P_{st} (no further specification)**	
	Long term (2-hour)	**P_{lt} 99% weekly**	**P_{lt} 95% weekly (or X% as agreed)**	**P_{lt} 95% weekly**	**P_{st} 95% weekly**	**P_{lt} (no further specification)**	**P_{lt} (no further specification)**	**P_{lt} 95% weekly**
	Other		**Number or % of values exceeding contractual values**					
Period for statistical assessment		One week minimum	At least one week or more as agreed	One week	One week min.	At least one week or more	Sufficient to capture full operating cycle of the load	One week
Measurement method		IEC 61000-4-15	IEC 61000-4-15	IEC 61000-4-15	IEC 61000-4-15	IEC 61000-4-15 (formerly 868)	IEC 868	IEC 61000-4-15
Remarks		Covers MV to EHV.	Indices proposed as guidelines for contractual applications in informative annex A6	Applies to LV and MV.	Applies to LV and MV.	HTA is 1 to 50kV and HTB > 50kV	Published in 1989	Applies to LV-MV and to HV-EHV

۱-۵-۱-۳- عدم‌تعادل[1] ولتاژ

عدم‌تعادل، یک وضعیت در سیستم چندفاز است که در آن، مقادیر مؤثر ولتاژ خط (مؤلفه‌ی اصلی) و یا زاویه‌ی بین فازهای ولتاژ خط، برابر نیستند. عدم‌تعادل ولتاژ، نسبت مؤلفه‌های توالی منفی و صفر به مؤلفه‌های توالی مثبت بیان می‌شود. در این‌جا فقط توالی منفی بررسی می‌شود، زیرا این نابرابری است که نگران‌کننده است.

شاخص‌های عدم‌تعادل ولتاژ

شاخص‌های عدم‌تعادل، بر اساس مؤلفه‌ی اصلی توصیف می‌شوند. دوره‌ی زمانی شاخص‌های عدم‌تعادل مشابه شاخص‌های هارمونیکی تعریف می‌شود و تنها تفاوت، وجود شاخص بلندمدت (۲ ساعته) است. تمام فرآیند ارزیابی اندازه‌گیری‌ها، بر اساس استاندارد IEC 61000-4-30 است.

شاخص‌های عدم‌تعادل عبارتند از:

۱-شاخص "بسیار کوتاه‌مدت" در ۳ ثانیه (U_{neg-vs})

۲- شاخص "کوتاه‌مدت" در ۱۰ دقیقه (U_{neg-sh})

۳- شاخص "بلندمدت[2]" در ۲ ساعت (U_{neg-lt})

در جدول ۱-۱۱، شاخص‌های عدم‌تعادل مؤلفه‌ی ولتاژ (U_{neg}) در استانداردهای مختلف مقایسه شده است. عموماً شاخص کوتاه‌مدت به‌عنوان شاخص اصلی در نظر گرفته می‌شود. در سطح فشار متوسط، حد عدم‌تعادل در همه‌ی منابع ۲ درصد، ولی در فشار قوی عموماً ۱ درصد در نظر گرفته شده است.

شاخص‌های توصیه شده در گزارش بین‌المللی CIGRE برای ارزیابی عدم‌تعادل ولتاژ

شاخص سطوح برنامه‌ریزی

براساس توصیه‌ی استاندارد IEC 61000-4-30، شاخص سطوح برنامه‌ریزی به‌صورت زیر است. حداقل دوره‌ی ارزیابی ۱ هفته درنظر گرفته می‌شود.

- ۹۵٪ احتمال روزانه مقدار $U_{neg,vs}$
- ۹۹٪ احتمال هفتگی مقدار $U_{neg,sh}$
- ۹۹٪ احتمال هفتگی مقدار $U_{neg,vs}$

شاخص ویژگی‌های ولتاژ

- **شاخص سایت**

بر اساس استاندارد EN 50160، شاخص هارمونیکی سایت در سطوح ولتاژی مختلف دارای ویژگی زیر است.

- ۹۵٪ احتمال هفتگی مقدار $U_{neg,vs}$

[1] Unbalance

[2] Long time

- **شاخص سیستم**

شاخص پیشنهادی سیستم، شاخص سایتی است که از درصد بالایی از سایت‌ها تجاوز نکند. به‌طور مثال ٪۹۰، ٪ ۹۵ و ٪۹۹ سایت‌ها. این مقدار توافقی بین رگولاتور و بهره‌بردار است.

جدول ۱- ۱۲- مقایسه‌ی خلاصه شاخص‌های عدم‌تعادل ولتاژ بین استانداردهای مختلف و اسناد مرجع

VOLTAGE UNBALANCE INDICES		International documents		Regional or national standards and guidelines				
Standard / Document		**IEC 61000-4-30:2003 [4]**	**Cigre 1992 Paper 36-203 [14]**	**EN50160:1999 [5]**	**NRS048-2:2003 [6]**	**EdF Emeraude contract – A. 2 [8]**	**ER P29: [16]**	**H.-Q. Voltage Characteristics [10]**
Status		International Standard	Cigre 36.05 work	European standard	National standard	Premium power contract	National Standard	Voluntary
Where it applies		International	--	19 European countries	Southern African countries	France	UK	Québec, CA
Purpose		Power quality measurement methods	Assessing voltage quality in relation to harmonics, flicker and unbalance	Supply Voltage characteristics for public networks	Minimum standard used by the regulator	Supply voltage characteristics	Planning levels for controlling emissions.	Supply voltage characteristics
Indices / assessment	**Very-short time (3-sec)**		**$U_{neg\ vs}$ 95% daily**					
	Short time (10-min)	**$U_{neg\ sh}$ 95% weekly (or as agreed)**	**$U_{neg\ sh}$ Max weekly (left under consideration)**	**$U_{neg\ sh}$ 95% weekly**	**$U_{neg\ sh}$ 95% daily**	**$U_{neg\ sh}$ (No further specification)**	**Maximum value of negative sequence measured over any 1 minute period**	
	Long time (2-hour)	and/or **$U_{neg\ lt}$ 95% weekly (or as agreed)**						**$U_{neg\ lt}$ 95% weekly**
Period for statistical assessment		At least one week or more as agreed	Min. of a few days including a week end	One week	One week min (7 continuous days)	At least one week or more	Sufficient to represent effect on rotating plant (could be a full year)	One week
Remarks		Indices proposed as guidelines for contractual applications in informative annex A.6.	Covers LV to EHV.	Applies to LV and MV.	Covers LV to HV.	1kV to 50kV and > 50kV	Applies at 132 kV and below	Applies to LV-MV and to HV-EHV

۱-۵-۱-۴- فرورفتگی ولتاژ

فرورفتگی ولتاژ نسبت به پدیده‌هایی که در بخش‌های قبلی مورد بررسی قرار گرفت متفاوت است. در حالی که ارزیابی عملکرد سیستم برای شاخص هارمونیک، فلیکر یا عدم‌تعادل در یک بازه‌ی زمانی نسبتاً کوتاه (به‌عنوان مثال یک هفته) امکان‌پذیر است، ارزیابی فررفتگی ولتاژ باید در مدت زمان طولانی‌تری (حداقل یک سال) انجام شود. چنان‌چه فرورفتگی ولتاژ بیش‌تر از مقدار آستانه باشد (عموماً ۱۰ درصد ولتاژ نامی)، بر اساس تعدادی از استانداردهای بین‌المللی، به‌صورت وقفه‌ی کوتاه شناخته می‌شود.

شاخص‌های فرورفتگی ولتاژ

استاندارد IEC 61000-4-30 [۱۷]، اولین تعریف و روش اندازه‌گیری مشخصات فرورفتگی را ارائه داده است. بر اساس این استاندارد، اندازه‌گیری فرورفتگی و برآمدگی ولتاژ بر اساس $U_{rms(1/2)}$ انجام می‌شود ($U_{rms(1/2)}$ عبارت است از مقدار مؤثر ولتاژ در یک دوره که در هر نصف دوره به‌روزرسانی می‌شود).

مهم‌ترین مشخصه‌های فرورفتگی ولتاژ، مقدار ولتاژ باقی‌مانده یا مقدار فرورفتگی و مدت زمان فرورفتگی است. ولی شاخص‌های دیگری در استانداردهای دیگر معرفی شده‌اند که در مواردی مفید هستند. به‌طور مثال، انرژی فرورفتگی ولتاژ که در استاندارد IEEE P1564 draft 5 معرفی شده است.

روش‌های گزارش نتایج فرورفتگی ولتاژ

- ✓ **شاخص SARFI[1]**

علاوه بر شاخص‌های ذکر شده، در استانداردها و مقالات شاخص‌های دیگری نیز توصیف شده است. شاخصی که بیش‌ترین مراجعه به آن انجام می‌شود، شاخص فرکانس تغییرات مقدار مؤثر ولتاژ سیستم یا SARFI است.

اصطلاح "تغییرات مقدار مؤثر ولتاژ" در ادبیات ایالات متحده، برای نشان دادن رویدادهایی است که مقدار مؤثر ولتاژ به‌طور قابل‌توجهی (به‌طور معمول بیش از ٪۱۰) از مقدار اسمی آن انحراف دارد. این شامل فرورفتگی ولتاژ، برآمدگی ولتاژ و وقفه‌های طولانی مدت است.

شاخص $SARFI_X$ که X عددی بین ۰ تا ٪۱۰۰ است، تعداد رویدادها را در هر سال با مدت زمان بین ۰٫۵ سیکل تا ۱ دقیقه و ولتاژ حفظ شده کم‌تر از ٪X را نشان می‌دهد. بنابراین $SARFI_{70}$ تعداد وقایع با ولتاژ حفظ شده کم‌تر از ٪۷۰ را نشان می‌دهد.

- ✓ **جدول اندازه - زمان**

عملکرد سایت، و هم‌چنین عملکرد سیستم، غالباً در قالب یک جدول فرورفتگی-ولتاژ توصیف می‌شود. قالب‌های مختلف جدول در IEEE Std 493 مورد بحث قرار گرفته است، اما جدول تراکم، مورد استفاده‌ی بیش‌تر قرار می‌گیرد.

[1] System Average RMS Variation Frequency Index

ستون‌های این جدول، مدت زمان فرورفتگی ولتاژ و ردیف‌های آن، مقدار ولتاژ حفظ‌شده را نشان می‌دهد. جدول ۱-۱۲

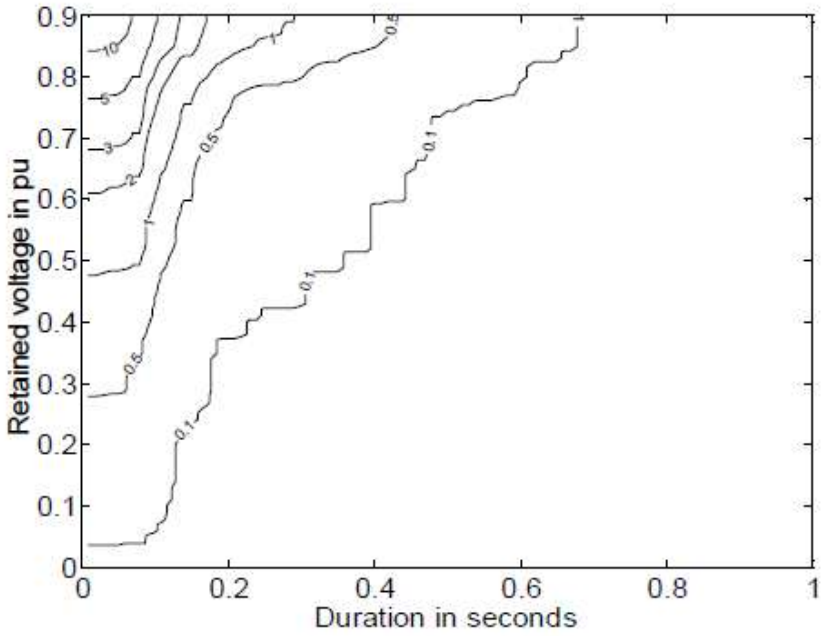
	1 cycl-0.1s	0.1-0.25s	0.25-0.5s	0.5-1s	1-3s	3-20s	20-60s	60-180s
80-90%								
70-80%								
60-70%								
50-60%								
40-50%								
30-40%								
20-30%								
10-20%								
<10%								

نمونه‌ای از جدولی است که در استاندارد IEC 61000-2-8 توصیه شده است.

جدول ۱-۱۳-ارائه‌ی نتایج فرورفتگی ولتاژ مطابق با استاندارد IEC 61000-2-8

- ✓ **چارت Voltage-sag co-ordination**

روشی برای گزارش مقدار و مدت زمان رخداد پیش‌آمده و در استانداردهای IEEE Std 1346-1998 و IEEE Std 493-1997 است. نمونه‌ای از این چارت در شکل ۱-۶ آورده شده است. نتایج این شکل از پایش کیفیت توان سایت‌های ۲۰ کیلو ولت در طی ۶ سال به‌دست آمده است. این چارت، عملکرد تأمین‌کننده‌ی برق را در هر سایت گزارش می‌دهد. این چارت تعداد اتفاقات در هر سال را به‌صورت تابعی از شدت رخداد (فرورفتگی یا وقفه) گزارش می‌دهد. برای مثال، بر طبق گزارش شکل ۶-۱ به‌طور متوسط ۱ رویداد در سال وجود دارد که ولتاژ برای ۱۰۰ میلی‌ثانیه یا بیش‌تر به زیر ۵۰٪ می‌رسد.



شکل ۱-۶- نمودار هماهنگی ولتاژ با توجه به IEEE Std.493 و .IEEE Std.1346

✓ **نمودارهای عملکرد/حساسیت منطقه**

برخی از شرکت‌های بهره‌بردار (Eskom و EDF) رویکردهایی را برای تعیین مناطق خاص، با رسم منحنی اندازه-مدت[1] ایجاد کرده‌اند که سعی در ارائه‌ی رهنمودهای کلی در مناطقی دارد که احتمال فرورفتگی ولتاژ در آن‌ها وجود دارد. هدف، کاهش تعداد شاخص‌هایی است که باید گزارش و مدیریت شوند. جدول ۱-۱۳ نمونه‌ای از روش گروه‌بندی مناطق را که در آفریقای جنوبی اعمال شده، نشان می‌دهد.

جدول ۱-۱۴- روش گزارش فرورفتگی[2] NRS-048-2: 2003

retained voltage U	Duration t		
	20 ≤ t < 150 (ms)	150 ≤ t < 600 (ms)	0.6 ≤ t < 3 (s)
90> U ≥ 85	Y		
85> U ≥ 80			Z1
80> U ≥ 70		S	
70> U ≥ 60	X1		Z2
60> U ≥ 40	X2		
40> U ≥ 0	T		

شاخص توصیه شده در گزارش بین‌المللی CIGRE برای ارزیابی فرورفتگی ولتاژ

شاخص تک رویداد[3]

برای عیب‌یابی، از شاخص‌های تک رویداد استفاده می‌شود. محاسبه‌ی شاخص‌های تک رویداد، مرحله‌ی ابتدایی در محاسبه‌ی شاخص‌های سایت است. شاخص‌های تک رویداد، ولتاژ باقی‌مانده و مدت زمان رویداد فرورفتگی ولتاژ است که باید مطابق با IEC 61000-4-30 محاسبه شود. اندازه‌گیری ولتاژ در هر سه‌فاز توصیه می‌شود.

شاخص سایت

محاسبه‌ی شاخص‌های سایت، مرحله‌ی ابتدایی در محاسبه‌ی شاخص‌های سیستم است. از شاخص‌های سایت برای ارزیابی سازگاری بین تجهیزات حساس و منبع تغذیه استفاده می‌شود. هم‌چنین می‌توان از آن‌ها برای ارائه‌ی اطلاعات به مشترکین محلی در مورد کیفیت ولتاژ به‌عنوان مثال، برای پیگیری قراردادهای حق بیمه استفاده کرد.

شاخص‌های سایت از شاخص‌های تک رویداد، یعنی ولتاژ حفظ شده و مدت زمان رویداد به‌دست می‌آید. تمام حوادث فرورفتگی ولتاژ در یک سایت طی یک دوره‌ی زمانی خاص در نظر گرفته می‌شوند. در مکان‌هایی که می‌توان تغییرات

[1] Magnitude/duration

[2] Dip

[3] Single event indice

فصلی در تعداد افت‌ها را انتظار داشت، دوره‌ی پایش باید یک عدد صحیح از یک سال باشد. برای مکان‌هایی که تنوع فصلی زیادی در فراوانی رویداد دارند، یک دوره‌ی نظارت سه تا پنج ساله برای ترکیب تغییرات سال به سال در اثرات فصلی توصیه می‌شود. شاخص سایت از روش‌های گزارش‌دهی مذکور به‌دست می‌آید.

شاخص سیستم

شاخص سیستم، مشابه شاخص سایت قابل‌محاسبه است. هم‌چنین، می‌توان از میانگین شاخص سایت‌ها و یا درصد بالایی از احتمال سالانه استفاده کرد. زمانی‌که تصمیم گرفته شد داده‌های کیفیت توان در کجا و چگونه اندازه‌گیری شود، قدم بعدی، استخراج اطلاعات از مقدار بزرگی از این داده‌ها و ارائه‌ی این اطلاعات به‌گونه‌ای است که سودمند و قابل‌فهم باشد.

۱-۵-۴- مفاهیم اساسی گزارش کیفیت توان

در این بخش، رهنمودهایی برای تولید شاخص‌ها از حجم زیادی از داده‌های جمع‌آوری شده توسط پایش کیفیت توان آورده شده است تا شاخص‌ها به تعداد محدودی که می‌توانند برای توصیف یک سایت یا تعداد زیادی از سایت‌ها استفاده شوند، کاهش یابد. پس از محاسبه‌ی شاخص‌های کیفیت توان، گام بعدی توسعه‌ی روش‌های گزارش دقیق و مختصر کیفیت توان است. برای این منظور، روش‌هایی برای گزارش داده‌های کیفیت توان نیز توصیه می‌شود. روش‌های مورد استفاده در تجزیه، تحلیل و گزارش داده‌های اندازه‌گیری شده، به موارد زیر بستگی دارد:

- اهداف پایش
- وجود استانداردها، قوانین اتصال، سیاست‌های نظارتی و قراردادهای دو جانبه‌ی موجود که ممکن است در مورد آنالیز و گزارش داده‌ها راهنمایی کند
- مدت زمان پایش
- پایش سایت‌ها و تعداد پایش و در دسترس بودن زیرساخت‌های ارتباطی سیستم
- سیستم قدرت در حال پایش و محل استخراج و تولید داده‌ها (بر روی چه چیزی، چگونه و کجا پایش صورت می‌گیرد)

در میان فاکتورهای بالا، اهداف پایش، عنصر اصلی است.

هنگامی که هدف از پایش روشن شد، تعیین اهمیت سایر عوامل آسان‌تر است. به‌عنوان مثال، زمانی که هدف ما تطابق با استاندارد تعریف شده است، داده‌های جمع‌آوری شده حاصل از یک پایش طولانی مدت و حاصل از تعداد قابل توجهی از سایت‌ها بوده و باید به مؤثرترین روش ارائه شود؛ تا نشان دهد که اندازه‌گیری ولتاژ و جریان در محدوده‌ی مجاز بوده است.

در این بخش، روش تجزیه، تحلیل و گزارش‌دهی داده ها برای هر یک از ۶ هدف پایش کیفیت توان که در بخش‌های قبل عنوان شده بود، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

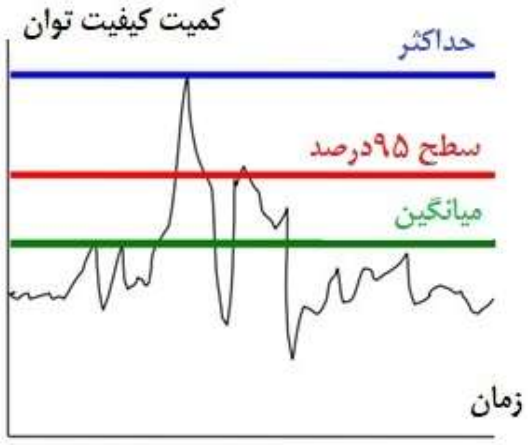
۱-۵-۴-۱- شاخص‌های کیفیت توان

اختلالات کیفیت توان، به دو دسته تقسیم می‌شوند: [۵]

۱- اختلالات پیوسته: به‌عنوان ناپایداری یا اختلالات حالت پایدار

۲- اختلالات گسسته: به‌عنوان اختلالات حالت ناپایدار

این دسته‌بندی، از منظر نحوه‌ی تجزیه، تحلیل و گزارش‌دهی اختلالات مهم است. اختلالات پیوسته، مثل سطح ولتاژ یا هارمونیک‌ها، توسط اعداد ثابت تحت شرایط حالت پایدار توصیف می‌شوند و در این حالت، می‌توان آن‌ها را توسط کنتورهای دستی و بدون نیاز به قابلیت ثبت داده‌ها، خواند. مقدار آن می‌تواند توسط نمودار روند تغییر، مطابقشکل ۱-۷، نشان داده شود. مقادیر به صورت مقادیر متوسط و در بازه‌های زمانی از پیش تعیین شده اندازه‌گیری می شوند و اغلب از فواصل ۱۰ دقیقه‌ای استفاده می‌شود.



شکل ۱-۷- نمونه‌ی نمودار روند شامل مقادیر صدک

برای گزارش و ارائه‌ی اندازه‌ی اختلالات، لازم است مقادیر متغیر زمانی را به یک یا چند عدد که می‌تواند برای توصیف عملکرد یک یا چند سایت استفاده شود، کاهش داد. این اعداد شاخص نامیده می‌شود و به‌عنوان معیار آماری، مانند میانگین یا حداکثر (همان‌طور که در شکل ۱-۷ نشان داده شده است) محاسبه می‌شوند. در عمل، میانگین می‌تواند بسیار خوش‌بینانه باشد زیرا سطح اختلالات در بسیاری از مواقع بزرگ‌تر از مقدار میانگین است. به‌علاوه، در بعضی مناطق ممکن است تغییرات پیرامون مقدار میانگین، کم و در مکان‌های دیگر بیش‌تر باشد. نتیجه‌ی کلی این است که محاسبه‌ی میانگین به تنهایی برای توصیف کیفیت توان در یک مکان کافی نیست.

شاخص دیگر شاخص ماکزیمم است. مشخص است که ماکزیمم مقدار، یک شاخص خاص بسیار بدبینانه است؛ زیرا معمولاً این مقدار به ندرت اتفاق می‌افتد. توافق بین دو شاخص میانگین و ماکزیمم، استفاده از شاخص ۹۵٪ است که به‌عنوان سطح احتمال تجمعی ۹۵٪ یا صدک ۹۵ نیز شناخته می‌شوند.

محاسبه‌ی شاخص‌های اختلالات گسسته به‌طور قابل‌توجهی پیچیده‌تر از محاسبه‌ی شاخص‌های اختلالات پیوسته است و به‌صورت کلی، نبود شاخص‌های مناسب برای اختلالات گسسته، روند کار را پیچیده می‌کند؛ زیرا بدون

شاخص‌ها، تهیه‌ی گزارش‌های ساده در مورد عملکرد سایت مورد نظر دشوار است و جمع‌آوری عملکرد چند سایت مجزا غیرممکن است.

۱-۵-۴-۲- بازه‌ی تجزیه و تحلیل داده‌ها و گزارش‌دهی

برای پایش طولانی مدت، دوره‌ی تجزیه و تحلیل داده‌ها باید به‌گونه‌ای باشد که یک چرخه‌ی کامل تکرارپذیر از رفتار کیفیت توان را در هر سایت خاص پوشش دهد. برای بیش‌تر اهداف پایش کیفیت توان، دوره‌ی توصیه شده‌ی تجزیه و تحلیل داده‌ها، یک هفته است. برای تأسیسات صنعتی، دوره‌ی یک روزه نیز ممکن است بسته به شرایط، مناسب باشد. بعد از تعیین مدت زمان تجزیه و تحلیل داده‌ها، می‌توان با استفاده از این شاخص‌ها گزارش را تهیه کرد. مدت زمانی که گزارش آن را پوشش می‌دهد، دوره‌ی گزارش نامیده می‌شود. تمایز بین دوره‌ی تجزیه و تحلیل داده‌ها و دوره‌ی گزارش‌دهی این است که بازه‌ی زمانی تحت پوشش گزارش‌دهی ممکن است حاوی بازه‌های تجزیه و تحلیل داده‌های زیادی باشد. [۵]

۱-۵-۴-۳- تطابق با الزامات

هدف در گزارش تطابق با الزامات، مقایسه‌ی یک سایت کاملاً مشخص و یا شاخص‌های سیستم با موارد مشخصی مثل محدودیت‌ها در استانداردها یا الزامات است.

تجزیه و تحلیل داده و دوره‌ی گزارش

ممکن است الزامات مربوط به دوره‌ی تجزیه و تحلیل داده‌ها، بسته به نوع ارزیابی انجام شده و یا استانداردها یا آیین‌نامه‌هایی که باید اعمال شوند، تغییر کند. دوره‌ی تجزیه و تحلیل داده‌ها باید یک هفته باشد. پس از محاسبه‌ی شاخص‌ها، معمولاً گزارشی برای فواصل طولانی‌تر مثل چند ماه یا یک سال تولید می‌شود.

روش‌های گزارش‌دهی

اگر هدف از پایش کیفیت توان، ارزیابی انطباق یک یا چند سایت باشد، گزارش صرفاً باید نشان دهد که آیا سایت یا سایت‌ها با محدودیت‌های مشخص شده سازگار هستند یا خیر. مهم است که پارامترهای کیفیت توان نزدیک به حد مجاز خود باشند. مرحله‌ی بعد از ارزیابی انطباق، مطالعه‌ی دقیق سایت‌های غیرسازگار است. ساده‌ترین روش گزارش‌دهی، تهیه‌ی لیست و نام سایت‌های غیرسازگار و تعداد و نام سایت‌های کاملاً سازگار است. اگر روش‌های گرافیکی، به‌ویژه برای گزارش هفتگی برای یک سایت واحد و یک اختلال مطلوب باشد، می‌توان از روشی مشابه روش نشان داده شده در جدول ۱-۱۴ استفاده کرد. این جدول برای چندین سایت و چندین اختلال نشان داده شده است. [۵]

جدول ۱-۱۵-تغییر ولتاژ هفتگی در یک باس‌بار ۲۰ کیلوولت

Vn	20.0 kV
Period	30/04/2012...27/05/2012
Weeks number	4

Download CSV

Legenda of cell colors
- Available readings lower than 50% of expected number.
- Available readings between 50% and 90% of expected number.
- Value exceeding limits of EN50160 (Ed. 2007)
- Value exceeding limits of EN50160 (Ed. 2010)
- Min/Max value beyond EN50160 limits with flagged periods.

Supply Voltage Variations

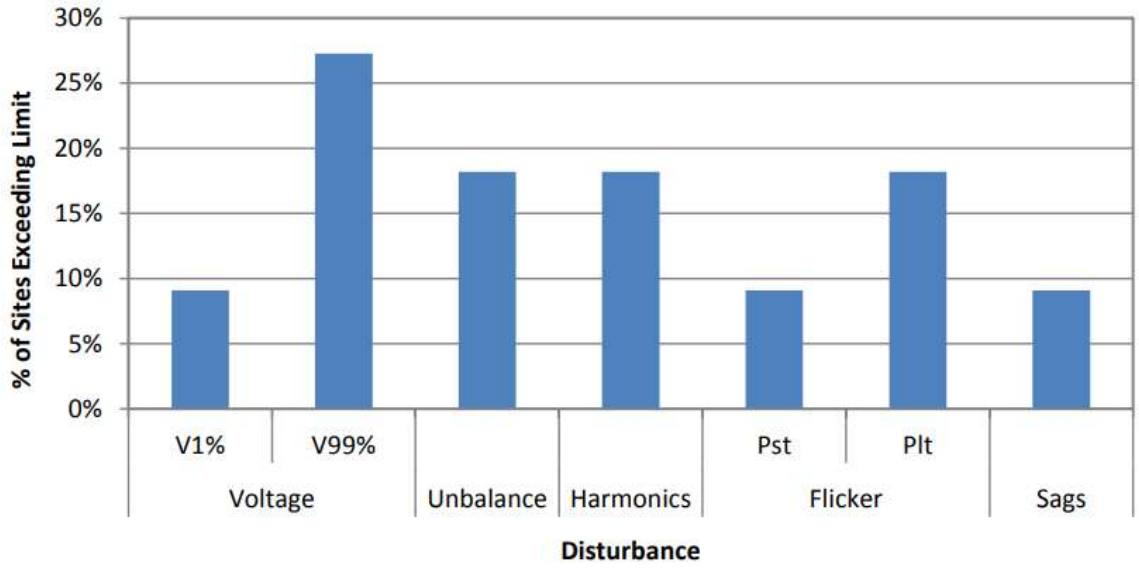
Weeks	Percentage of values within ±10%	Percentage of values within ±15%	Percentage of values ≥ 0.9 Vn	Percentage of values ≤ 1.1 Vn	Percentage of values ≥ 0.85 Vn	Percentage of values ≤ 1.15 Vn	5° percentile [KV]	95° percentile [KV]	Absolute minimum Value [KV]	Absolute minimum Instant	Absolute maximum Value [KV]	Absolute maximum Instant	Valid measure
da 30/04/2012 a 06/05/2012	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	20.52	21.09	20.36	03/05/2012 20:30	21.19	03/05/2012 14:50	☑
da 07/05/2012 a 13/05/2012	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	20.47	21.05	20.31	12/05/2012 20:40	21.24	10/05/2012 01:10	☑
da 14/05/2012 a 20/05/2012	98.6	100.0	100.0	98.6	100.0	100.0	20.51	21.09	20.35	20/05/2012 20:30	22.49	16/05/2012 14:20	☑
da 21/05/2012 a 27/05/2012	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	20.50	21.01	20.40	26/05/2012 20:50	21.64	24/05/2012 15:50	☑

جدول ۱-۱۵ برای ارزیابی تطابق با الزامات هر سایت خاص برای هر یک از اختلال‌ها استفاده می‌شود. اگر قرار با شد تعداد زیادی از سایت‌ها ارزیابی شوند، به نمودار میله‌ای م شابه شکل ۱-۸ نیاز ا ست. نمودار میله‌ای می‌تواند به گونه‌ای تنظیم شود که تعداد کل یا درصدی از همه‌ی سایت‌های سازگار را نشان دهد و به‌طور فوری، اختلالات دارای بالاترین سطح را نیز نشان دهد.

جدول ۱-۱۶- نمایش سازگاری تعدادی از سایت‌ها برای تعدادی از اختلالات [۵]

Site	RMS Voltage		Voltage Unbalance	Voltage THD	Flicker	
	Upper	Lower			Pst	Plt
Site 1						
Site 2						
Site 3						
Site 4						
Site 5						

Compliant
Non-compliant



شکل ۱-۸- نمودار نشان دادن درصد سایت‌های با اختلالات بیش از حد مجاز [۵]

برای اختلالات گ سسته، روش‌های ارزیابی ب سیار کم‌تری پی شنهاد شده ا ست. نتایج پایش اختلالات گ سسته را می‌توان در جداولی مانند جدول ۱-۱۶ نشان داد. برای یک نقطه‌ی اندازه‌گیری مشخص، هر بخش شامل تعدادی فرورفتگی ولتاژ و میزان عمق آن و مدت زمان مربوطه ا ست، که در مدت زمان مورد نظر مثلا یک سال، اتفاق می‌افتد. برای به‌د ست آوردن یک نمای کلی از تعداد و شدت افت، می‌توان یک نمایش گرافیکی دقیق‌تر مانند نمودارهای ارائه

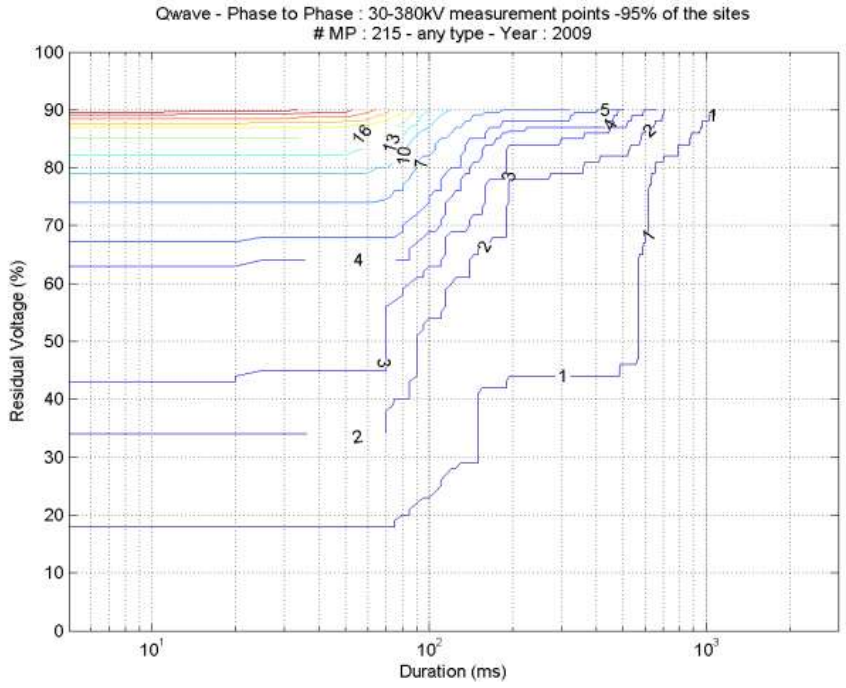
شـده توسـط CIGRE/CIRED/UIE C4.110 را تصـویب کرد. این نمودارها به پردازش پیچیده‌ای از دسـتگاه‌های اندازه‌گیری نیاز دارند.

جدول ۱-۱۷- جدول IEC 61000-2-8 یک نقطه‌ی اندازه‌گیری برای یک سال [۵]

Events: IEC 61000-2-8 Table - 01-JAN.-2007 - 01-JAN.-2008
OISQU150 331 DROGE PP_Q - Phase to Phase
Measurement Point Activity: 100%

	Duration (s)								
Depth (%)	0.02 to 0.1	0.1 to 0.25	0.25 to 0.5	0.5 to 1	1 to 3	3 to 20	20 to 60	60 to 180	Total
10 to 20	13	0	0	0	0	0	0	0	13
20 to 30	4	0	0	0	0	0	0	0	4
30 to 40	2	0	0	0	0	0	0	0	2
40 to 50	1	0	0	0	0	0	0	0	1
50 to 60	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60 to 70	0	0	0	0	0	0	0	0	0
70 to 80	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80 to 90	0	0	0	0	0	0	0	0	0
90 to 95	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	20	0	0	0	0	0	0	0	20

شـکل ۱-۹ نمونه‌ای از نمودار برای صـدک ۹۵ تمام نقاط اندازه‌گیری شـده‌ی شـبکه را به مدت یک سـال، نشـان می‌دهد. خطوط موجود نشان می‌دهد که افت ولتاژ برای ۹۵ درصد از سایت‌ها بیش از حد نیست. به‌عنوان مثال، تراز ۲ (۲ افت در سال) شامل ۱۰۰ میلی‌ثانیه و ٪۵۴ ولتاژ باقی‌مانده ا ست؛ این بدان معنا ست که ٪۹۵ سایت‌ها دارای ۲ یا کم‌تر افت در سال هستند که شدت آن‌ها بیش از ۱۰۰ میلی‌ثانیه و ٪۵۴ فرورفتگی ولتاژ است.



شکل ۱-۹- نمودار کانتور - ۹۵ درصد از ۲۱۵ نقطه‌ی اندازه‌گیری [۵]

نتایج حاصل از تمام سایت‌های اندازه‌گیری شده برای به‌دست آوردن یک جدول تجمعی استفاده می‌شود، که در آن، هر سلول دارای صدک ۹۵ است و نمونه‌ی آن در جدول ۱۷-۱ آورده شده است. برای به‌دست آوردن یک نمای کلی از تعداد و شدت افت، می‌توان یک نمایش گرافیکی دقیق‌تر مانند نمودارهای پیشنهادشده توسط CIGRE/CIRED/UIE C4.110 (TB 412) [۲۲] را انتخاب کرد.

جدول ۱-۱۸- جدول IEC 61000-2-8 تمام نقاط اندازه‌گیری ۱۵۰ کیلوولت برای یک سال - صدک ۹۵ [۵]

Cumulative table 01-JAN-09 - 01-JAN-10
Qwave - Phase to Phase 150 kV measurement points
MP : 78
Pct95 values over the 78 MP

	Duration (s)							
Depth (%)	>= 0.02	>= 0.1	>= 0.25	>= 0.5	>= 1	>= 3	>= 20	>= 60
>= 10	18.00	4.00	1.00	1.00	0.60	0.00	0.00	0.00
>= 20	4.00	1.00	1.00	0.60	0.60	0.00	0.00	0.00
>= 30	2.60	1.00	1.00	0.60	0.60	0.00	0.00	0.00
>= 40	1.60	1.00	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
>= 50	1.00	1.00	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
>= 60	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
>= 70	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
>= 80	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
>= 90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

۱-۵-۴-۴- تجزیه و تحلیل عملکرد و تعیین معیار [۵]

تجزیه و تحلیل عملکرد سیستم ممکن است در سطح سایت انجام شود یا ممکن است به شکل کلی‌تر، شامل تعیین عملکرد سیستم در تعداد زیادی از سایت‌ها باشد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها و دوره‌ی گزارش

برای تجزیه و تحلیل عملکرد و تعیین معیار، توصیه می‌شود دوره‌ی گزارش‌دهی یک ساله باشد. برای سادگی، فاصله‌ی تجزیه و تحلیل داده‌ها اغلب می‌تواند همان فاصله‌ی گزارش‌دهی در نظر گرفته شود. در برخی موارد، کاربر می‌تواند یک فاصله‌ی تجزیه و تحلیل داده را به مدت یک هفته انتخاب کند و سپس، از پارامتر آماری (مثل صدک ۹۵ در هفته) برای تعیین شاخص در بازه‌ی زمانی گزارش یک ساله استفاده کند. شواهدی وجود دارد که نشان می‌دهد شاخص محاسبه‌شده در دوره‌ی گزارش هفتگی، بسیار شبیه به شاخص محاسبه‌شده در دوره‌ی گزارش کل بازه است. با این وجود، دوره‌ی گزارش‌دهی همان یک سال در نظر گرفته می‌شود. [۵]

روش‌های گزارش‌دهی

چالش اصلی برای ارائه‌ی نتیجه‌ی تجزیه و تحلیل عملکرد، خلاصه سازی مقدار زیادی از داده‌های جمع‌آوری شده به یک فرم قابل فهم و بدون از دست دادن جزئیات مهم است.

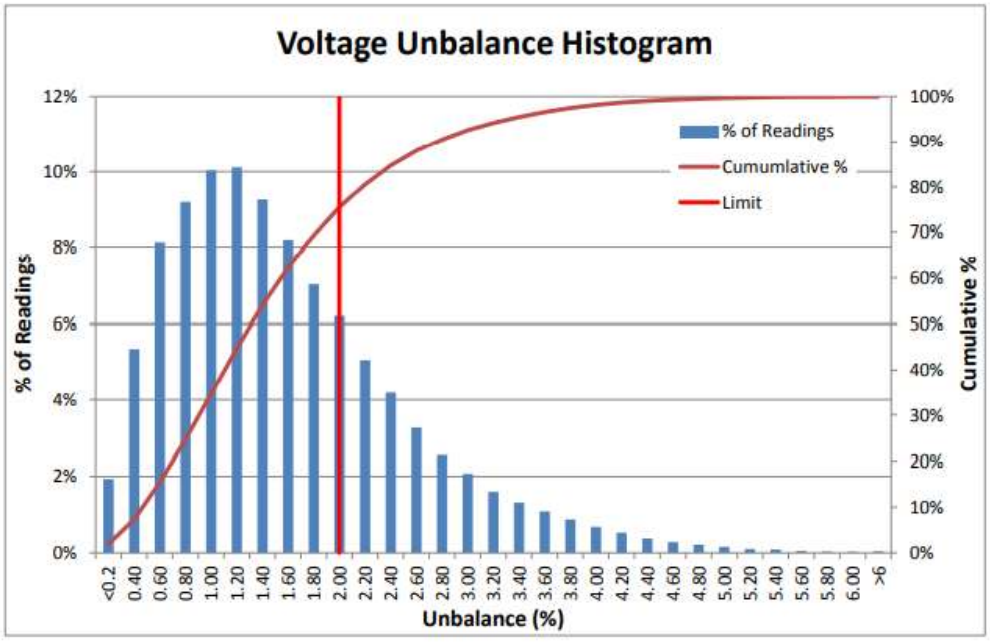
برای تحلیل داده‌ها، باید از روش پایین به بالا[1] استفاده شود؛ یعنی ابتدا باید سایت‌ها به‌صورت جداگانه مورد تجزیه، تحلیل و گزارش‌دهی قرار گیرد. سپس، می‌توان از شاخص‌های مطالعه شده در هر سایت، برای ایجاد شاخص‌هایی برای عملکرد در نواحی وسیع‌تری از سیستم استفاده کرد. شاید فقط تعداد کمی از شاخص‌ها در توصیف عملکرد کل سیستم استفاده شوند. هنگامی که گزارش داده‌های موجود مدنظر است، از روش بالا به پایین[2] استفاده می‌شود، که ابتدا داده‌ها به‌صورت خلاصه ارائه شده و سپس، نمای کلی از عملکرد همه‌ی سایت‌های موردبررسی قرار می‌گیرد.

تجزیه، تحلیل و گزارش‌گیری از یک سایت

تجزیه، تحلیل و گزارش داده‌ها،جهت بررسی عملکرد یک سایت واحد، ساده است.

تجزیه، تحلیل و گزارش گرافیکی

در تجزیه و تحلیل گرافیکی اختلالات پیوسته، باید از هیستوگرام‌های سطوح اختلال استفاده شود. برای هر اختلال، یک هیستوگرام لازم است. هیستوگرام‌ها مفید هستند زیرا شاخصی از توزیع سطح اختلال در یک سایت را فراهم می‌کنند و علاوه بر این، می‌توانند مقادیر زیادی از داده‌ها را به‌صورت خلاصه نمایش دهند. در مواردی که از هیستوگرام استفاده می شود، می‌توان از خط محدودیت نیز بهره برد تا مقایسه‌ی سطح اختلال با محدودیت ارائه شده به صورت بصری صورت گیرد. یک منحنی احتمال تجمعی نیز ممکن است به هیستوگرام اضافه شود تا مقدار هر شاخص آماری، مستقیماً از روی نمودار خوانده شود. شکل ۱-۱۰ یک هیستوگرام برای عدم‌تعادل ولتاژ را نشان می‌دهد که توسط خطوط احتمال تجمعی پوشانده شده است.

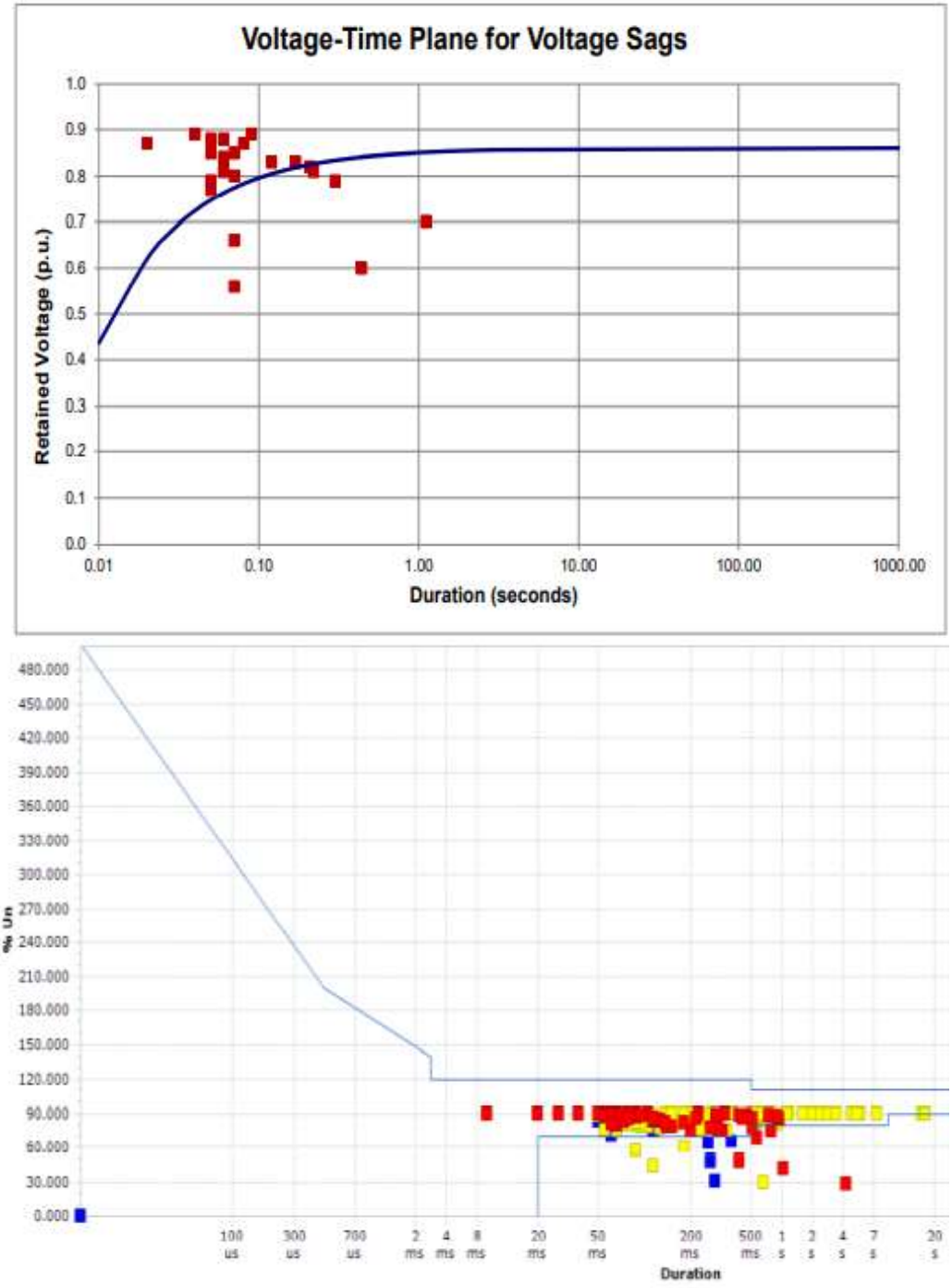


شکل ۱-۱۰- نمونه‌ای از هیستوگرام برای اختلالات پیوسته (عدم‌تعادل ولتاژ)

[1] Bottom-Up

[2] Top-Down

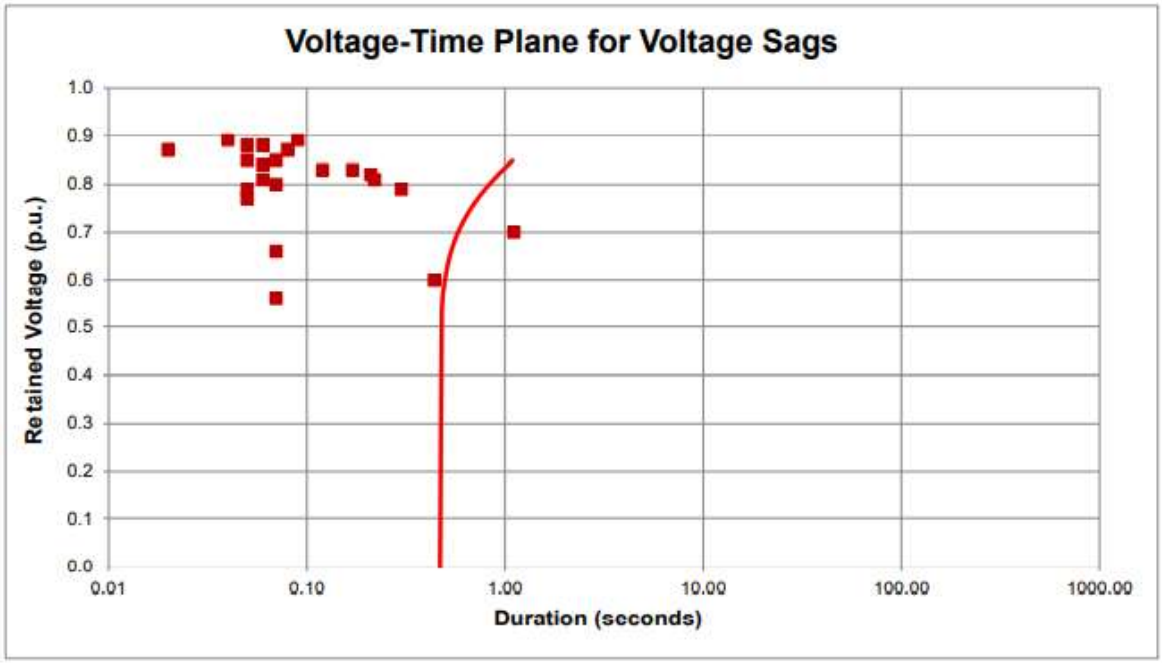
برای فرورفتگی ولتاژ، یک صفحه‌ی ولتاژ-زمان با توصیف فرورفتگی ولتاژ و با شاخص عملکردی مانند منحنی CBEMA[1] و منحنی ITIC[2] پیشنهاد شده است [۲۳]. نمودار ولتاژ-زمان برای این دو روش نمایش، در شکل ۱-۱۱ نشان داده شده است.



شکل ۱-۱۱- صفحه‌ی ولتاژ-زمان با بالا) منحنی CBEMA پایین) منحنی ITIC (برای سایت‌های مختلف)

[1] Computer and Business Equipment Manufacturers Association - CBEMA

[2] Information Technology Industry Council - ITIC



شکل ۱-۱۲- صفحه‌ی ولتاژ-زمان با منحنی حفاظت پوشش داده شده

در واقع منحنی های CBEMA و ITIC، میزان تحمل فرورفتگی ولتاژ تجهیزات را تعیین می‌کنند. منحنی هایی مانند منحنی حفاظت که یک نمونه از آن در شکل ۱-۱۲ نشان داده شده است، عملکرد موردانتظار سیستم را بر اساس تنظیمات حفاظت سیستم مشخص می‌کنند [۲۴].

شاخص‌های سایت [۵]

به‌طور کلی نیاز ا ست برای هر سایت، یک شاخص خلا صه شده برای هر پارامتر کیفیت توان محا سبه شود. برای اختلالات پیوسته، این شاخص ممکن است بین سازمان‌های گوناگون متفاوت باشد؛ اما به‌طور کلی، شاخص‌های آماری موجود در اســـتاندارد، مانند صـــدک ۹۵، ملاک عمل قرار می‌گیرد. به‌عنوان مثال، می‌توان برای هر یک از فازها، یک شاخص آماری مجزا از سطح اعوجاج هارمونیکی کل[1] (THD) ولتاژ را محا سبه کرد. نتیجه‌ی این محا سبات منجر به ایجاد ســه شــاخص مجزا می‌شــود. در صــورتی که هنگام اســتفاده از هر ســه‌ی این شــاخص‌ها به‌صــورت مجزا جهت مقایسه‌ی سایت‌ها با یکدیگر منجر به پیچیده و گیج‌کننده شدن گزارش می شود. از آن‌جا که تجزیه و تحلیل عملکرد، برای عملکردِ متوسط یک سایت است، توصیه می‌شود که تنها مقدار متوسط اعوجاج هارمونیکی کل برای فازها، یعنی صدک ۵۰، از سه شاخص ذخیره‌شده و در مقایسه‌ها، این شاخص خلاصه‌شده ملاک عمل قرار گیرد.

برای رویدادها، هیچ روش محا سبه‌ی شاخ صی بین متخ ص صان به‌طور گ سترده پذیرفته ن شده ا ست. برای مثال، مفاهیم مختلفی برای محاسبه‌ی شاخص‌ها برای فرورفتگی ولتاژ در [۲۵]، [۲۶] و [۲۷] ارائه شده است.

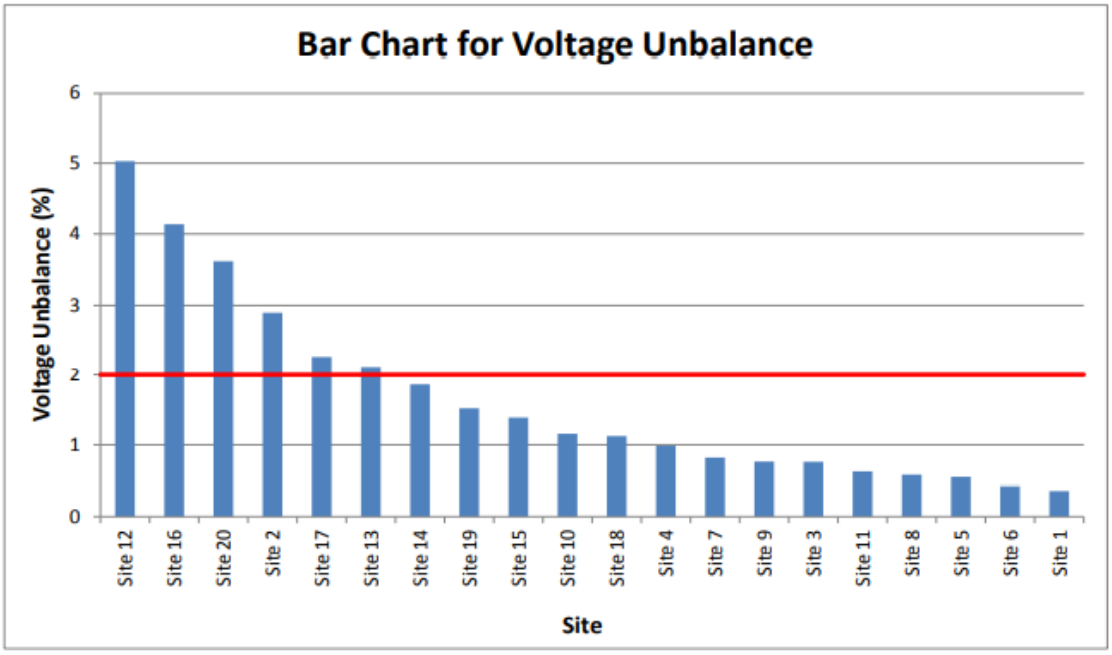
[1] Total Harmonic Distortion - THD

تجزیه، تحلیل و گزارش چندین سایت

تجزیه و تحلیل سایت‌های مختلف شامل ارائه‌ی داده‌ها از تعدادی سایت به‌صورت خلاصه است. تشخیص این که کدام سایت‌ها باید با هم آنالیز شود، بر عهده‌ی کاربر است و در ابتدایی‌ترین شکل، شامل تجزیه و تحلیل تمام سایت‌هاست. با این حال، ممکن است کاربر بخواهد بر اساس مشخصات سیستم مانند سطح ولتاژ، نوع بار یا بر اساس مشخصات جغرافیایی، سایت‌ها را دسته‌بندی کند.

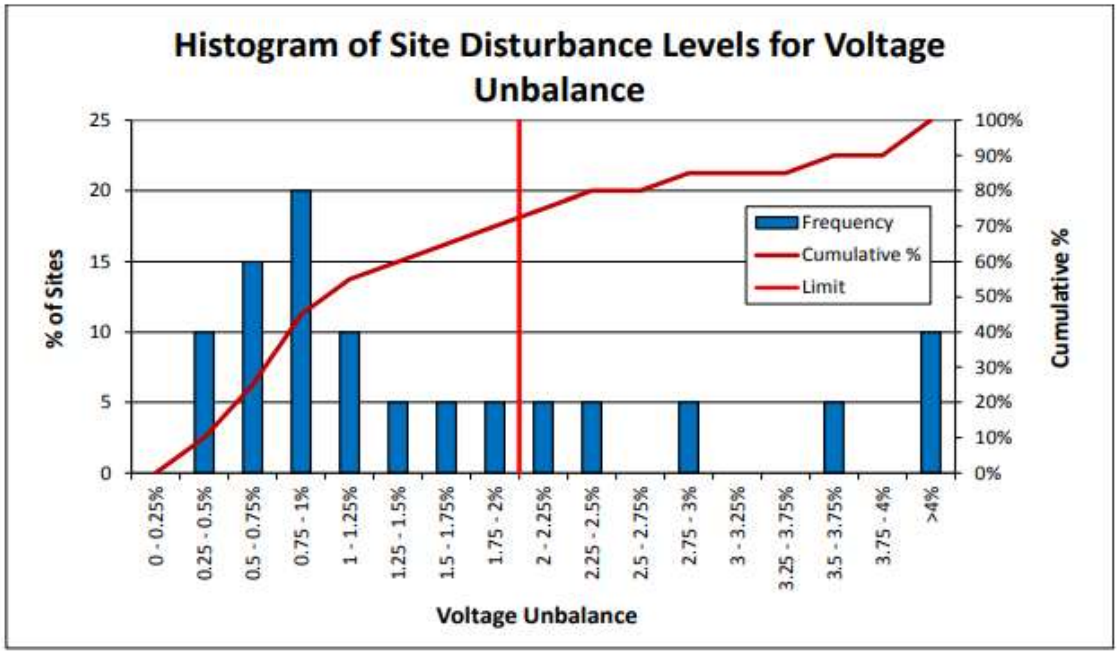
تجزیه و تحلیل و گزارش گرافیکی

هنگامی‌که شاخص‌های عملکرد برای هر سایت محاسبه شد، به شرط آن‌که تعداد سایت‌ها زیاد نباشد، مؤثرترین روش برای نمایش این اطلاعات نمودار میله‌ای است؛ مانند آنچه در شکل ۱-۱۳ نشان داده شده است. در این نمودار میله‌ای وضعیت سطح اختلال در هر سایت از بدترین به بهترین رسم شده است. این روش مرتب‌سازی مناسب است، زیرا به‌صورت مشخص، سایت‌های با بدترین عملکرد را نشان می‌دهد. یک خط محدودیت نیز اضافه می‌شود تا سایت‌های بیش‌تر از حد مجاز و زیر حد مجاز شناسایی شوند.



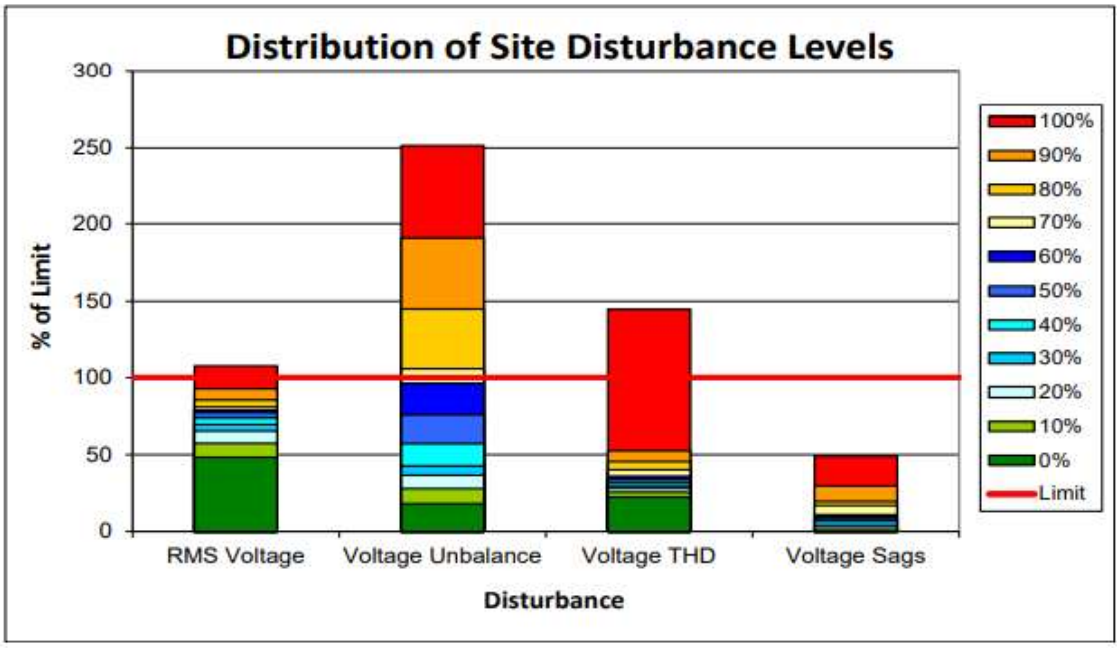
شکل ۱۳-۱- نمونه‌ای از نمودار میله‌ای که نشان‌دهنده‌ی سطح اختلال برای هر سایت است (سایت‌ها به ترتیب عملکرد بهتر به بدتر، از چپ به راست مرتب شده‌اند)

هنگامی که این بررسی شامل تعداد بسیار زیادی سایت باشد، ارائه‌ی نمودار میله‌ای تا حدی عملی نیست و لذا، از هیستوگرام شاخص‌های سایت برای نمایش اختلالات کیفیت توان استفاده می‌شود. شکل ۱-۱۴ نمونه‌ای از این هیستوگرام را نشان می‌دهد که تصویر گرافیکی خلاصه‌ای از سطح اختلال سایت در میان عملکرد کلی سیستم به کاربر نمایش می‌دهد. این نوع هیستوگرام‌ها هم‌چنین این مزیت را دارند که می‌توان به کمک آن‌ها، تعداد بی‌شماری سایت را در کنار هم نشان داد.

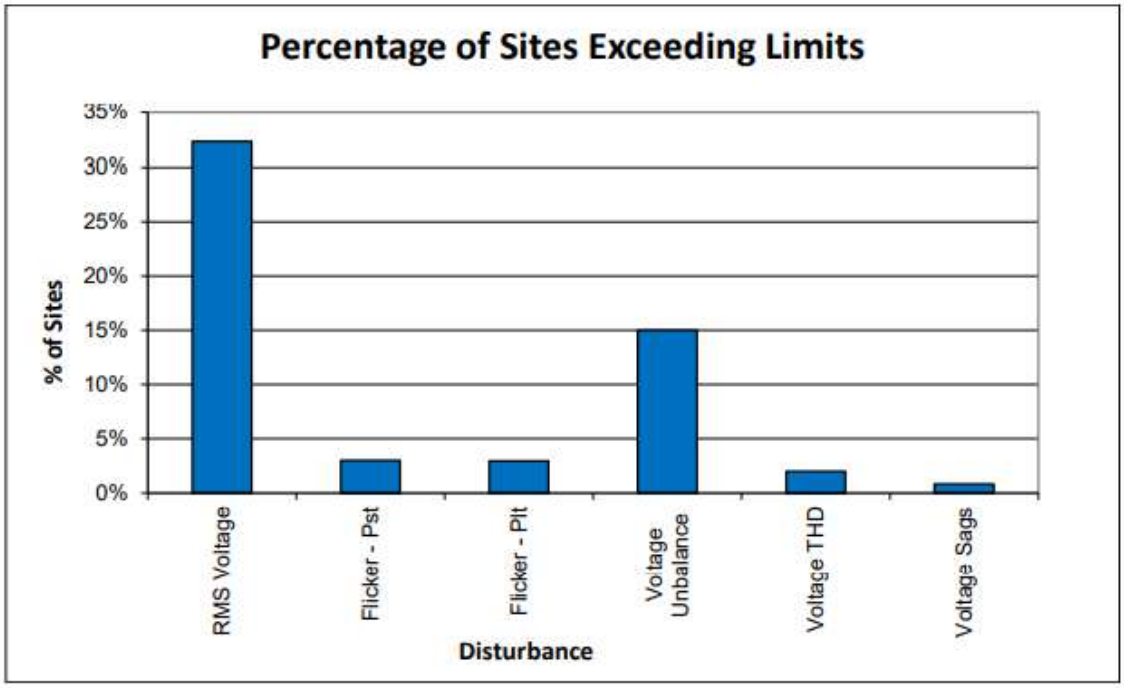


شکل ۱-۱۴- نمونه‌ی هیستوگرام سطح اختلال سایت

اگر نیاز با شد یک نمای کلی از توزیع همه‌ی اختلالات ممکن در کنار هم م شاهده شود، از نمودارهایی مانند آنچه در شکل ۱-۱۵ آورده شده استفاده شود که در آن، سطوح اختلالات سایت، بر اساس صدک نشان داده شده است. برای تعداد زیادی از سایت‌ها، از گرافی شبیه به شکل ۱-۱۶ برای نشان دادن تعدادی از سایت‌ها که اختلالات بیش از حد مجاز دارند، می‌توان بهره برد. [۵]



شکل ۱-۱۵- نمودار توزیع سطح اختلال سایت



شکل ۱-۱۶- نمونه‌ی نمودار درصد سایت‌های بیش از حد مجاز

شاخص‌های تک برای سایت‌های مختلف

برای نمایش عملکرد کلیِ همه سایت‌های مورد بررسی، لازم است تعداد کمی از شاخص‌ها برای هر اختلال کیفیت توان محاسبه شوند. برای این منظور، مقادیر متوسط و صدک ۹۵ در همه‌ی سایت‌ها، مفیدترین مقادیر هستند. به‌عنوان نمونه، در جدول ۱-۱۸ مقادیر متوسط و صدک ۹۵ در تمام سایت‌های یک سیستم محاسبه شده و به مقداری تبدیل می‌شود که در تمام گزارش عملکرد مورد استفاده قرار گیرد. [۵]

جدول ۱-۱۹- نمونه‌ای از محاسبه‌ی شاخص‌های منفرد از سایت‌های مختلف

سایت	عدم‌تعادل ولتاژ (٪)
سایت ۱	۰,۳۶
سایت ۲	۲,۹۰
سایت ۳	۰,۷۶
سایت ۴	۰,۹۹
سایت ۵	۰,۵۵
ارزش کلی متوسط	۰,۷۶
ارزش کلی صدک ۹۵ به‌طور کلی	۲,۵۱

تعیین معیار

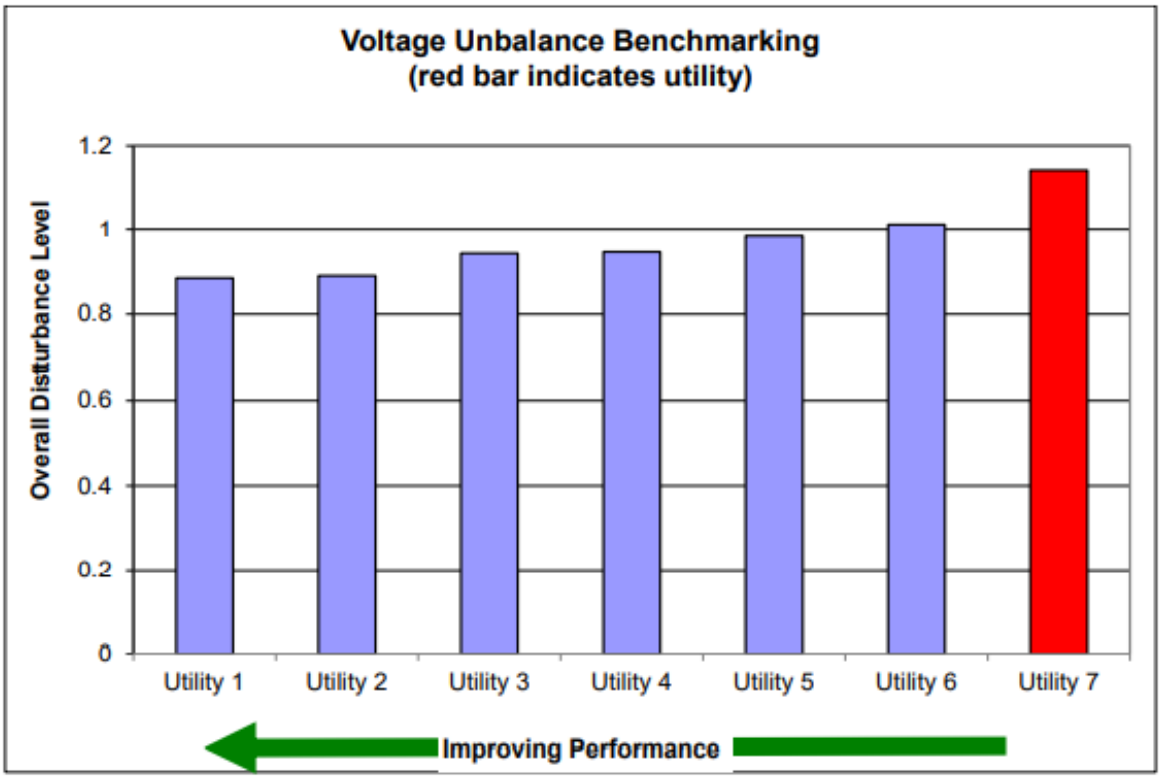
بخش مهمی از تجزیه و تحلیل عملکرد، ممکن است تعیین معیار عملکرد به‌صورت داخلی و خارجی باشد.

تعیین معیار سایت‌های منحصر به فرد

اگر تعیین معیار در بسیاری از سایت‌های خاص مورد توجه باشد، می‌توان از نموداری مانند شکل ۱-۱۷ استفاده کرد.

تعیین معیار تعداد زیادی از سایت‌ها

اگر تعیین معیار بر اساس ویژگی‌های سیستم باشد، لازم است در ابتدا شاخص‌های کلی برای هر مجموعه سایت مورد بررسی، محاسبه شود. شاخص‌های کلی ممکن است با استفاده از اطلاعاتی مانند آن‌چه در جدول ۱-۱۸ آمده محاسبه شود. از نمونه‌ی آن‌چه در شکل ۱-۱۷ ارائه شده نیز برای اهداف تعیین معیار می‌توان استفاده کرد. [۵]

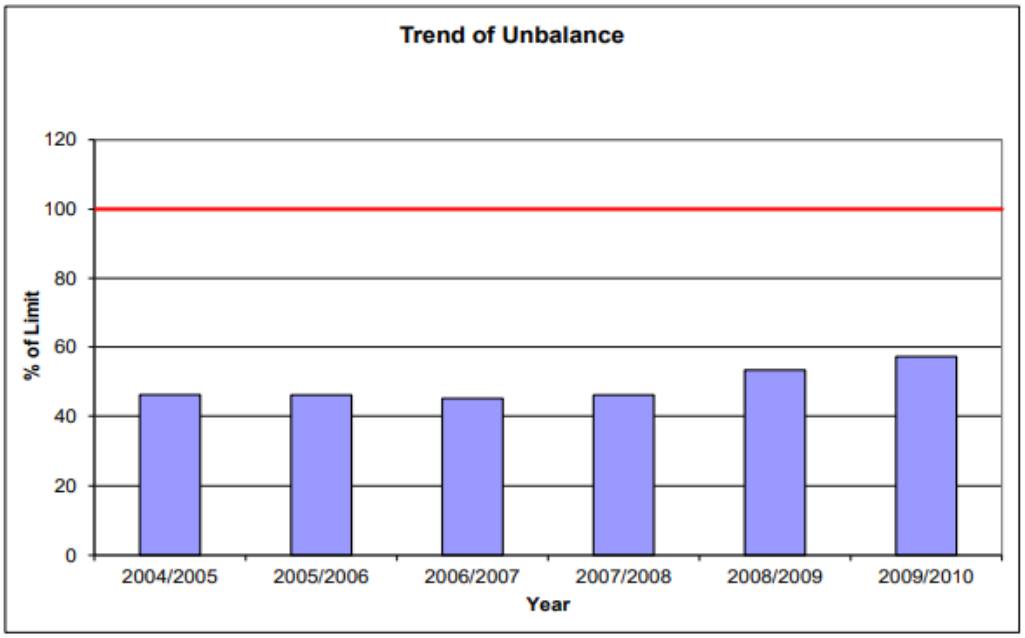


شکل ۱-۱۷- نمونه‌ی نمودار تعیین معیار

تغییرات

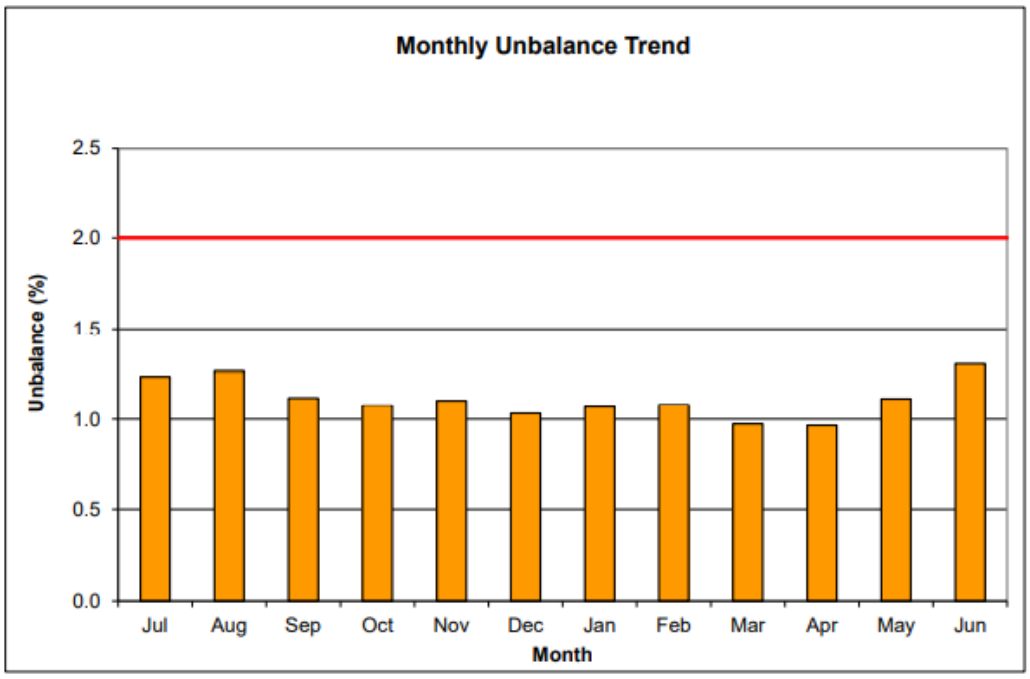
روند سطح اختلال در طول زمان، بخش مهمی از پایش و نظارت بر عملکرد سیستم از نظر کیفیت توان است. نمایش تغییرات ممکن است برای بررسی عملکرد یک سایت یا تعدادی از سایت‌ها با استفاده از شاخص‌هایی که در بالا گفته شد، استفاده شود. شکل ۱-۱۸ نمونه‌ای از نمودار روند عدم تعادل را نشان می‌دهد. در این نمودار یک خط محدودیت[1] نشان داده شده و مقدار اختلال، به‌عنوان درصدی از این محدودیت در نظر گرفته شده است.

[1] Limited Line



شکل ۱-۱۸- نمونه‌ی نمودار روند عدم تعادل

نمودار مهم دیگر در این زمینه، تغییرات فصلی است که برای بررسی تغییرات سطح اختلالات در طول دوره‌های آب و هوایی مختلف استفاده می‌شود. شکل ۱-۱۹ نمونه‌ای از روند تغییرات فصلی را نشان می‌دهد. [۵]



شکل ۱-۱۹- نمونه‌ی نمودار تغییرات فصلی عدم تعادل

روش‌های غیر متعارف تجزیه و تحلیل و گزارش‌دهی

در این روش‌ها لازم است که سایت‌ها را به گروه‌هایی با مشخصات مشابه، مثل توپولوژی شبکه‌ی مشابه دسته‌بندی نمود. این ارتباط مؤثر هم‌چنین می‌تواند بر اساس داده‌های محیطی، آب و هوا و اقلیمی باشد.

۱-۵-۴-۵- توصیف سایت

هدف از توصیف سایت، تعیین کمیت کیفیت توان در یک سایت مشخص به روشی دقیق است. در نگاه اول، گزارش تو صیف سایت م شابهِ تطابق با الزامات به‌نظر می‌ر سد؛ اما در تو صیف سایت به تجزیه و تحلیل عمیق‌تری از عملکرد کیفیت توان نیاز است. [۵]

تجزیه و تحلیل داده و دوره‌ی گزارش‌دهی

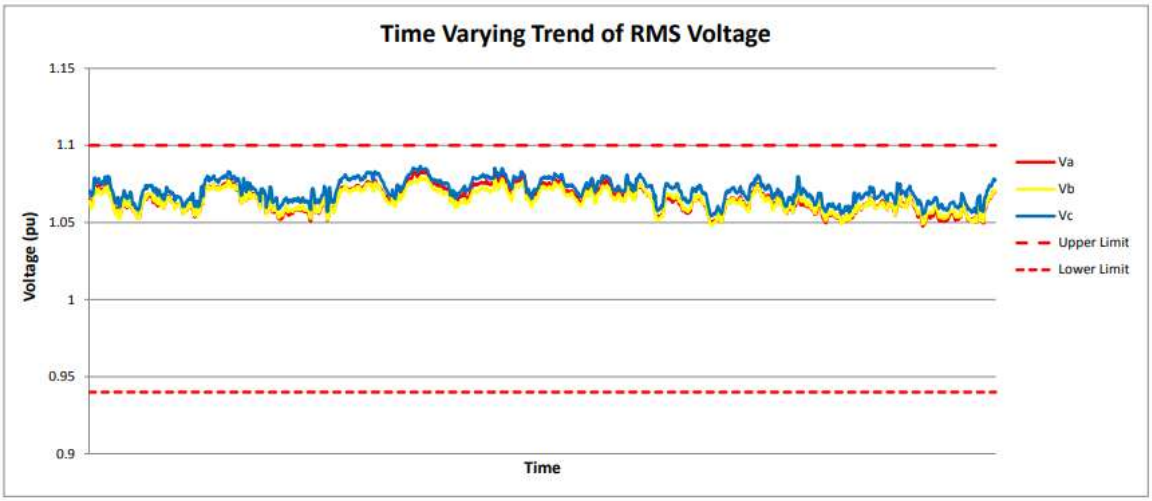
دوره‌ی گزارش و تجزیه و تحلیل داده‌ها برای توصیف سایت، بسته به ویژگی‌های سایت متفاوت است. دوره‌ی آنالیز داده باید به اندازه‌ی کافی طولانی باشـــد تا حداقل یک بازه‌ی کامل در ســـایت را پوشـــش دهد. این بازه برای بیش‌تر بر نا مه ها، به اســـتثناء تحلیل حوادثی مثل کاهش ولتاژ، برابر با یک هفته برای تجز یه و تحلیل داده و هم‌چنین گزارش‌دهی است.

روش‌های گزارش‌دهی

اختلالات پیو سته، به صورت آماری محا سبه شده و در جدول ن شان داده می شوند. نمونه‌ای از این نوع گزارش در جدول ۱-۱۹ آمده است. [۵] برای نمایش گرافیکی داده‌ها، علاوه بر ارائه‌ی نوع هیستوگرام که نمونه‌ی آن در شکل ۱-۱۰ آمده بود، تغییرات نیز مانند آن‌چه در شکل ۱-۲۰ ارائه شده، برای تو صیف سایت مفید ا ست. [۵] برای اختلالات گسسته‌ی عملکرد افت و برآمدگی ولتاژ مؤثر در نمودار ولتاژ-زمان، مشابه آن‌چه در شکل ۱-۱۱ و ۱-۱۲ مشاهده شد، ارائه می‌شود.

جدول ۱-۲۰- داده‌های آماری اختلالات پیوسته [۵]

Weeks	95th percentile	Maximum	
		Value (%)	Instant
02/04/2012 - 08/04/2012	1.37	1.82	08/04/2012 15:40
09/04/2012 - 15/04/2012	1.34	1.51	14/04/2012 13:50
16/04/2012 - 22/04/2012	1.35	1.99	22/04/2012 14:10
23/04/2012 - 29/04/2012	1.99	1.79	28/04/2012 23:30
Number of weeks exceeding the standard limit (8%): 0			



شکل ۱-۲۰- نمونه‌ای از نمودار روند اختلال متناسب با زمان [۵]

۱-۵-۴-۶- عیب‌یابی

عیب‌یابی در صورت خرابی سیستم یا تجهیزات مشترکین صورت می‌گیرد. معمولاً مشترکین صنعتی یا تجاری، ضررهای اقتصادی بالاتری را نسبت به مشترکین مسکونی دارند. برای مشترکین صنعتی، خرابی تجهیزات اغلب منجر به توقف فرآیندها و خسارت مالی، به‌عنوان مثال توقف کامل در خط مونتاژ صنعتی و هم‌چنین از بین رفتن مواد، می‌شود [۱۶]. در مواردی، اپراتور سیستم، امکان عیب‌یابی را به مشترک نمی‌دهد که در این صورت، یک شرکت خدماتی که مشاوره‌ی کیفیت توان را ارائه می‌دهد، مسئولیت عیب‌یابی را بر عهده می‌گیرد. با این وجود، پیشنهاد می‌شود که اپراتورهای سیستم این خدمات را انجام دهند؛ زیرا آن‌ها به نقاط اندازه‌گیری و مهم سیستم دسترسی دارند که این امر می‌تواند در شناسایی سریع‌تر عیب سیستم کمک کند. اغلب، علت اصلی خرابی تجهیزات، افت/برآمدگی ولتاژ یا تغییر سریع ولتاژ است.

تجزیه و تحلیل داده‌ها و دوره‌ی گزارش‌دهی

عامل قطعی موفقیت در عیب‌یابی، داشتن داده‌های اندازه‌گیری از وقوع خرابی تجهیزات است. به‌عنوان یک نتیجه، تجزیه و تحلیل داده و دوره‌ی گزارش می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی متفاوت باشد. حداقل فاصله‌ی جمع‌آوری داده‌ها، یک هفته تا چند هفته خواهد بود. اگر مشکل ناشی از آثار حالت دائمی باشد، در بسیاری از موارد، چند روز اندازه‌گیری برای شناسایی پارامتری که باعث خرابی تجهیزات می‌شود کافی است. برای مشترکینی که تجهیزات و خرابی در فرآیندهایشان، ضرر مالی قابل‌توجهی را برایشان ایجاد می‌کند، نصب پایش‌گرهای کیفیت توان دائمی نزدیک تجهیزات حساس، منطقی است که در چنین حالتی، عیب‌یابی بسیار آسان می‌شود.

روش‌های گزارش‌دهی

هیچ روشی برای گزارش عیب‌یابی به‌صورت گسترده پذیرفته نشده است. گزارش نهایی توسط نهادی انجام می‌شود که تجزیه و تحلیل را انجام می‌دهد. سطح جزئیات، بسته به این‌که چه کسی تجزیه و تحلیل سیستم را انجام داده است

(اپراتور سیستم، شرکت مشاوره‌ی کیفیت توان یا مستقیماً خود مشترک) و این‌که چه مشکلی ایجاد شده است، متفاوت است. با این حال، برای گزارش‌دهی، استفاده از روش‌های مشابه با روش‌های گفته شده در تطابق با الزامات و توصیف سایت مناسب هستند. این گزارش باید به سرعت، اندازه‌ی سطح اختلال اصلی را نشان دهد و سطح اختلال را از نظر خارج‌شدن از حد مجاز بررسی نماید.

از آن‌جا که بیش‌تر مشکلات به دلیل خطاهای متناوب است (اغلب فرورفتگی ولتاژ)، مهم است که اندازه‌گیری کیفیت توان را از یک نقطه‌ی اندازه‌گیری نه چندان دور از تجهیزات خراب شده بررسی کنیم. شرایط آب و هوایی در هنگام خرابی تجهیزات، نوع تجهیزات از کار افتاده و وضعیت کارهای تعمیر و نگه‌داری در تأسیسات مشترکین از فاکتورهایی است که باید در نظر گرفته شود.

۱-۶- بررسی گزارش EPRI با موضوع پایش کیفیت توان

در یکی از گزارش‌های EPRI [۱۳]، رله‌های موجود در شبکه که دارای قابلیت جمع‌آوری اطلاعات مرتبط با کیفیت توان هستند، ارزیابی شده‌اند. این گزارش توسط شرکت‌های بزرگ برای نظارت بر عملکرد سیستم قدرت آن‌ها قابل/ استفاده است. از لیست رله‌های موجود، دو رله شامل رله‌ی فیدر آزمایشگاه‌های مهندسی آزمایشگاه شوایتزر (SEL) 351-7 و رله‌ی فیدر Basler 951 با استفاده از پروتکل آزمایشی تعریف‌شده در این گزارش، مورد آزمایش قرار گرفتند.

شاخص‌های قابلیت اطمینان و کیفیت توان که در جدول ۱-۲۰ و جدول ۱-۲۱ نشان داده شده است، روش‌هایی برای محاسبه‌ی عملکرد مربوطه، از پارامترهای الکتریکی اندازه‌گیری‌شده است.

جدول ۱-۲۱- شاخص‌های قابلیت اطمینان

Index	Full Name	Formula
SAIFI	System Average Interruption Frequency Index	$\frac{\text{number of customer interruptions}}{\text{total customers in system}}$
CAIFI	Customer Average Interruption Frequency Index	$\frac{\text{number of customer interruptions}}{\text{\# of customers with 1+ interruptions}}$
SAIDI	System Average Interruption Duration Index	$\frac{\Sigma \text{ of all customer interruption durations}}{\text{total customers in system}}$
MAIFI	Momentary Average Interruption Frequency Index	$\frac{\text{\# of customer momentary interruptions}}{\text{total customers in system}}$
ASAIA	Average Service Availability Index	$\frac{\text{customer hours service availability}}{\text{customer hours service demand}}$

جدول ۱-۲۲- شاخص‌های کیفیت توان

SARFI	System Average RMS (Variation) Frequency Index	$SARFI_x = \frac{\sum N_i}{N_T}$
SIARFI	System Instantaneous Average RMS (Variation) Frequency Index	$SIARFI_x = \frac{\sum NI_i}{N_T}$
STARFI	System Temporary Average RMS (Variation) Frequency Index	$STARFI_x = \frac{\sum NT_i}{N_T}$
SMARFI	System Momentary Average RMS (Variation) Frequency Index	$SMARFI_x = \frac{\sum NM_i}{N_T}$
ARDI	Average RMS (Variation) Duration Index	$ARDI_x = \frac{\sum N_i T_i}{\sum N_i}$

X = RMS voltage threshold, usually 70% of nominal.
N_i = Number of customers experiencing voltage deviations with magnitudes above X% for $X>100$ or below X% for $X<100$ because of measurement event i.
N_T = Number of customers served from the part of the system being assessed.
NI_i = Number of customers experiencing instantaneous voltage deviations with magnitudes above X% for $X>100$ or below X% for $X<100$ because of measurement event i.
NM_i = Number of customers experiencing momentary voltage deviations with magnitudes above X% for $X>100$ or below X% for $X<100$ because of measurement event i.
NT_i = Number of customers experiencing temporary voltage deviations with magnitudes above X% for $X>100$ or below X% for $X<100$ because of measurement event i.

T_i = Duration of measurement event i.

۱-۶-۱- دامنه‌ی تغییرات کیفیت توان پروژه‌ی EPRI DPQ [۱۳]

پروژه‌ی EPRI RP3098 که به‌عنوان پروژه نظارت بر کیفیت توزیع سیستم EPRI یا پروژه EPRI DPQ شناخته می شود، شامل یک برر سی جامع بر روی پایش کیفیت توان با ا ستفاده از داده‌های سمت اولیه‌ی ۲۷۷ تراز سفورماتور توزیع در ۲۴ شرکت برق در سراسر ایالات متحده است. فیدرها در سطح ولتاژ ۴,۱۶ کیلوولت تا ۳۴,۵ کیلوولت با طول ۱ تا ۸۰ کیلومتر بودند. [۱۳]

۱-۶-۱-۱- فناوری رله

در گذشته، توابع رله توسط دستگاه‌های آنالوگ پیاده‌سازی می شده است. چندین سال پیش، تولیدکنندگان رله‌های الکترومکانیکی قدیمی را با رله‌های الکترونیکی جایگزین کردند.جدول ۱-۲۲، توابع مختلف حفاظتی رله‌ها و کدهای استاندارد اختصاص داده شده به هر یک را نشان می‌دهد. بسیاری از نشریات رله، به جای نام تابع به کد استاندارد تابع ا شاره می‌کنند. به‌عنوان مثال، ممکن ا ست به جای ا ستفاده از ا صطلاح رله‌ی "افت ولتاژ"، از عنوان رله‌ی ۲۷ ا ستفاده شود.

جدول ۱-۲۳- کدهای استاندارد برای توابع مختلف حفاظتی رله‌ها

Function (or Device) Description	Function Number
Distance Relay	21
Undervoltage Relay	27
Instantaneous Overcurrent Relay	50
AC Time Overcurrent Relay	51
Overvoltage Relay	59
AC Directional Overcurrent Relay	67
Frequency Relay	81
Differential Relay	87

۱-۶-۱-۲- مروری بر رله‌های دارای قابلیت ثبت داده‌های کیفیت توان

جدول ۱-۲۳ حاوی اطلاعات مربوط به رله‌هایی اســـت که امکان ثبت نوعی از اطلاعات داده‌های کیفیت توان را دارند. [۱۳]

جدول ۱-۲۴- مقایسه‌ی توانایی‌های رله‌های مختلف برای ثبت داده‌های کیفیت توان

Brand	Model	Oscillography	Sample Rate	Voltage Sag	Voltage Swell	Outages	Harmonics (max order)	Load Profile
ABB	DPU 1500R	Y	32	Y[1]	Y[1]	Y[1]	Y[2] (11)	Y
ABB	DPU 2000R	Y	32	Y	Y	Y	Y[2] (11)	Y
Alstom	MiCOM P139	Y	20	Y[1]	Y[1]	Y[1]	N	N
Basler	BE1-951	Y	12	Y[1]	Y[1]	Y[1]	N	Y
Cooper	Edison Pro	Y	16	Y[1]	Y[1]	Y[1]	N	N
Cooper	iDP-210	Y	32	Y	Y	Y	Y (15)	Y
GE	750	Y	16	Y[1]	Y[1]	Y[1]	N	Y
GE	760	Y	16	Y[1]	Y[1]	Y[1]	N	Y
GE	F35	Y	64	Y[1]	N	Y[1]	N	Y
GE	F60	Y	64	Y[1]	Y[1]	Y[1]	Y (25)	Y
GE	SMOR-B	Y	16	Y[1][3]	Y[1]	Y[1]	N	Y
SEL	SEL-351	Y	16	Y	Y	Y	N	Y
VA Tech	Delta	Y	16	Y[1]	Y[1]	Y[1]	N	Y

1. Using undervoltage and overvoltage relays to trigger event capture
2. Harmonic analysis of captured waveforms
3. Three phase only

۱-۶-۲- ارتباطات رله‌ها

گزینه‌های ارتباطی برای رله‌ها بسیار مشابه هم هستند. سازندگان رله، معمولاً تجهیزات سازگار با DNP3.0 و یا MODBUS را ارائه می‌دهند. پروتکل جدیدتر MMS / UCA[1] نیز وجود دارد که توسعه‌ی آن توسط EPRI و چندین شرکت بزرگ برق در آمریکای شمالی پشتیبانی شده است. جدول ۲۴-۱ پروتکل‌های ارتباطی پشتیبانی شده توسط رله‌های مختلف را نشان می‌دهد. همان‌طور که از این جدول مشخص است، فقط رله‌های GE پروتکل MMS / UCA را پشتیبانی می‌کنند. رله‌های گوناگون، با پورت‌های مختلف ارتباطی در دسترس هستند. اکثر سازندگان RS-232، RS-485، 10baseT Ethernet را ارائه می‌دهند.

جدول ۱-۲۵- پروتکل‌های ارتباطی پشتیبانی شده توسط رله‌های مختلف [۱۳]

Brand	Model	Modbus[3]	DNP 3.0[4]	MMS/UCA[5]	IEC 60870-5-103[6]
ABB	DPU 1500R	Y	Y	–	Y
ABB	DPU 2000R	Y	Y	–	Y
Alstom	MiCOM P139	Y	Y	–	Y
Basler	BE1-951	Y	Y	–	–
Cooper	Edison Pro	Y	–	–	–
Cooper	iDP-210	Y	Y	–	–
GE	750	Y	Y	Y	–
GE	760	Y	Y	Y	–
GE	F35	Y	Y	Y	–
GE	F60	Y	Y	Y	–
GE	SMOR-B	Y	–	–	–
SEL	SEL-351	Y[1]	Y[1]	–	–
VA Tech	Delta	–	–	–	Y

1. Through use of external communications processor: SEL-2030

[1] Manufacturing Message Specification/ Utility Communication Architecture

۱-۶-۳- ذخیره‌ی اطلاعات در رله‌ها [۱۳]

صنعت رله، قالبی را برای ذخیره سازی و تبادل اطلاعات، به صورت ا ستاندارد دارد. همه‌ی رله‌های برر سی شده در این گزارش [۱۳]، از قالب COMTRADE برای ذخیره‌سازی داده‌های جمع‌آوری‌شده، استفاده می‌کنند.

به‌منظور اســـتفاده‌ی بهینه از داده‌ها، باید یک فرم اســـتاندارد جمع‌آوری و ذخیره داده‌های کیفیت توان در رله‌های کنتورهای هوشـمند اسـتفاده شـود [۲۸]. برای پایش کیفیت توان، IEEE 1159 و IEC 61000-4-30 منابع معمول برای اندازه‌گیری در استاندارد هستند. IEEE 1159.3 PQDIF (قالب تبادل داده با کیفیت توان) یک قالب استاندارد و عمومی است که داده‌ها را در یک ساختار مشترک سازمان می‌دهد. از هشت کنتور بررسی‌شده، فقط یک کنتور داده‌ی کیفیت توان خود را به قالب PQDIF صادر کرده ا ست [۲۸]. اکثر کنتورهای هو شمند ارزیابی شده در این گزارش، از ANSI C12.19 به‌عنوان استانداردی برای قالب‌بندی داده‌ها استفاده می‌کنند.

یکی از گزینه‌های ابزار تجزیه و تحلیل برای داده‌های کیفیت توان، ســیســـتم نرم‌افزاری EPRI به نام PQView ا ست. PQView یک سی ستم نرم‌افزاری چندجزئی برای ساخت و تجزیه و تحلیل پایگاه داده‌های اندازه‌گیری توان، کیفیت توان و انرژی و هم‌چنین شـــامل ماژول‌های مختلفی برای تعیین موقعیت مکانی خطا، پردازش آماری و گزارش است.

۱-۶-۴- قابلیت‌های کنتور هوشمند در سنجش کیفیت توان

در این بخش، هشـــت کنتور مبتنی دارای قابلیت اندازه‌گیری پارامترهای کیفیت توان مورد بررســـی قرار می‌گیرد. طراحی‌های موجود را می‌توان به سه دسته‌ی مختلف تقسیم کرد: ۱. کنتورهای کیفیت توان، ۲. کنتور هوشمند با قابلیت گرفتن موج کیفیت توان[1] و ۳. کنتور هوشـمند با قابلیت ثبت وقایع. در جدول ۱-۲۵ ویژگی‌های کیفیت توان کنتورهای هو شمند مختلف مقای سه شده و تجهیزات نظارت بر اختلالات[2] (DME) که داده‌های م شابه را جمع‌آوری می‌کند نیز نشان داده شده است. در قسمت‌های خالی اطلاعات فراهم نبوده و یا مبهم بودند.

[1] Power Quality Waveform Capture

[2] Disorder monitoring equipment - DME

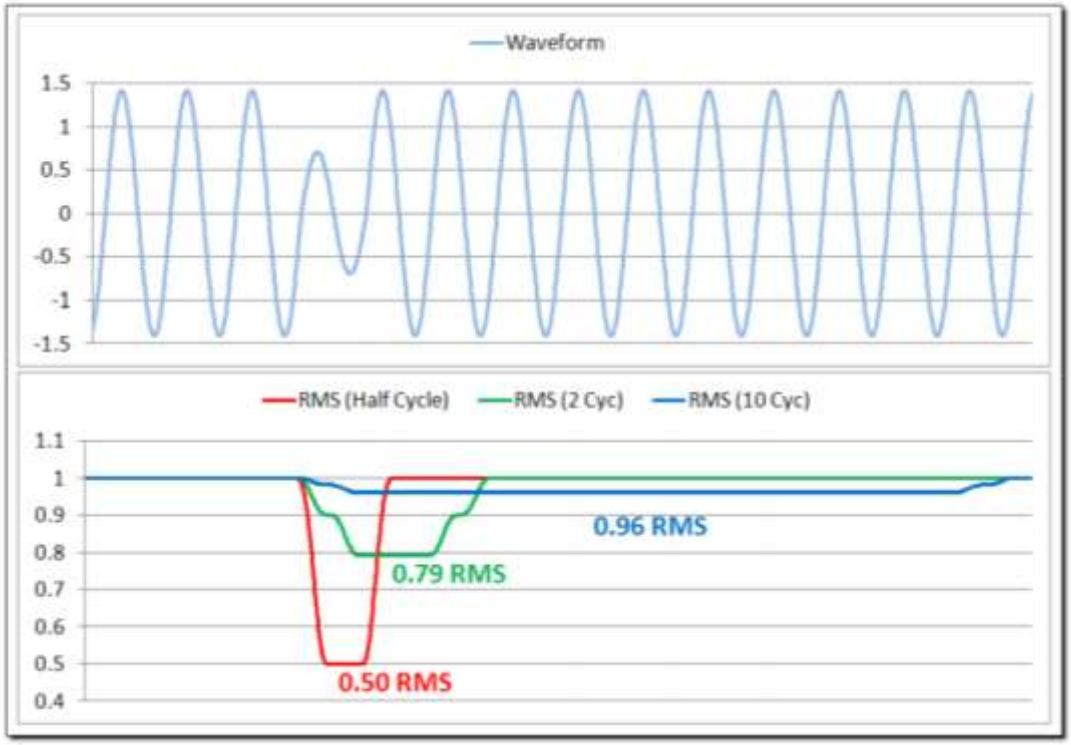
جدول ۱-۲۶- ویژگی‌های کنتورهای هوشمند برای هر دسته از کنتورها

	DME at Substation	PQ Monitors with Revenue Accuracy	Smart Meters with PQ (WFM)	Smart Meters with PQ (Par.)
COST (List)				
Price Range (List)	$10,000 to $30,000	$2,000 - $8,000	$1,500 to $3,000	$500 to $1,000
STEADY-STATE PARAMETERS				
Voltage	✓+	✓+	✓+	✓+
Current	✓+	✓+	✓	✓-
Real (kW)	✓	✓+	✓+	✓+
Reactive (kVAR)	✓	✓+	✓	✓
Apparent (kVA)	✓	✓+	✓	✓
Power Factor	✓	✓+	✓	✓-
Total Power Factor		✓+	✓-	
Frequency	✓+	✓+	✓	✓-
Phasors	✓	✓	✓-	
THD	✓	✓+	✓	
TDD		✓-	✓	
Harmonic Quantities	Up to 63rd	Up to 63rd		
Interharmonics		Up to 63rd		
Harmonic Phase Angle		✓		
K Factor		✓		
Crest Factor		✓		
+/-/0 Sequence	✓-	✓		
Flicker	✓-	✓		
Imbalance	✓-	✓	✓	
DEMAND				
Real (kW)	✓-	✓	✓+	✓+
Reactive (kVAR)	✓-	✓	✓+	✓+
Apparent (kVA)	✓-	✓	✓-	✓-
Current	✓-	✓	✓-	
ENERGY				
Watt-hours		✓	✓+	✓+
Var-hours		✓	✓+	✓+
CONTINUOUS TRENDING / DEMAND INTERVALS				
Intervals	1 Sec and Up	1 Sec and Up	1 to 60 Min	5 to 60 Min
Trend Calculations	Max/Min/Avg	Max/Min/Avg	Max/Min/Avg	Max/Min
Oscillograph (Samp/Cyc)	16 SPC			
EVENT RECORDINGS				
Text Based	✓-	✓	✓	✓+
Oscillograph	✓+	✓+	✓+	
Samples per Cycle	16-256 Typ (Up to 3000)	128 to 1024 Typ	16 to 325 SPC	
Pre-Fault	30 Cyc Typ (100 Cyc)	10 Cycles Typical		
Post-Fault	10 Sec Typ (30 Sec)	30 Cycles Typical		
Max Record	30 Sec	60 Cycles Typical		
TRIGGERS / ALERTS				
Outage	✓+	✓+	✓+	✓+
Thresh. Limits (V, I, Harm)	✓+	✓+	✓+	✓
Transients	✓	✓		
ENVELOPE (RMS) RECORDINGS - DYNAMIC DISTURBANCE RECORDING (DDR)				
Envelope (RMS)	✓+	✓+		
Samples per Second	120	10		
Pre-Fault	Up to 10 Min	1 Sec		
Post-Fault	Up to 5 Min	1 Sec		
Max Record	30 Min	30 Sec		
STANDARD FILE FORMATS				
COMTRADE	✓+	✓		
PQDIF	✓-	✓	✓-	

مطابق جدول ۱-۲۵، اکثر کنتورهای هوشمند اعوجاج کامل هارمونیکی (THD) را محاسبه می‌کنند. با این حال، هیچ یک از کنتورهای هوشمند پارامترهای اعوجاج دیگری مانند crest factor، Interharmonics و زاویه‌های فاز آن‌ها را جمع‌آوری نمی‌کنند. یکی دیگر از ویژگی‌های ناموجود در کنتورهای هو شمند، توانایی گرفتن تریگر[1] شکل موج از یک رویداد گذرا است. به‌طور کلی، هر دستگاه اندازه‌گیری، برای ضبط مناسب رویداد، به پهنای باند حداقل دو برابر فرکانس رویداد موردنظر نیاز دارد.

انتخاب یک کنتور بدون ثبت شکل موج می‌تواند هزینه را به میزان قابل‌توجهی کاهش دهد. به‌عنوان مثال، بعضی از کنتورها، RMS را در چندین سیکل محاسبه می‌کنند. شکل ۱-۲۱ نمونه‌ای از تغییرات مقادیر RMS را هنگام رخداد فرورفتگی ولتاژ ٪۵۰ یک سیکل، نشان می‌دهد. کنتوری که RMS ولتاژ را با یک سیکل کامل یا نیمه محاسبه می‌کند، با دقت ٪۵۰ سطح RMS را ثبت می‌کند. از طرف دیگر، کنتوری که RMS را طی دو یا ده سیکل محاسبه می‌کند، به ترتیب ٪۷۹ یا ٪۹۶ سطح RMS را ثبت می‌کنند.

یکی از معیارهای اصلی در انتخاب پایش، اطمینان از نمایش دقیق شکل موج است. این کار با اطمینان از وجود دقت کافی در هر دو محور افقی و عمودی در مبدل آنالوگ به دیجیتال (عمودی تعداد بیت‌ها و افقی نرخ نمونه‌برداری را نشان می‌دهد) انجام می شود. در جدول ۱-۲۶، لیست عملکردی که می‌توان از نرخ نمونه‌های مختلف انتظار داشت ذکر شده است.



شکل ۱-۲۱- نمودارهای RMS ولتاژ که نتایج مختلف نمونه‌گیری RMS را برای یک چرخه‌ی ٪۵۰ نشان می دهد.

[1] Trigger

جدول ۱-۲۷- نرخ نمونه‌ی شکل موج برای پارامترها و رویدادهای مختلف کیفیت توان

Samples per Cycle	4	16	32	64	128	256	512	1024
Time Specs								
Sample Rate (Hz)	240	960	1920	3840	7680	15360	30720	61440
Highest Freq. (Nyquist)	120	480	960	1920	3840	7680	15360	30720
Highest Freq. (Nyquist / 2)	60	240	480	960	1920	3840	7680	15360
dT (microSeconds)	4167	1042	521	260	130	65	33	16
PQ Capabilities								
Voltage Int/Sags/Swells	✓-	✓	✓+	✓+	✓+	✓+	✓+	✓+
Oscillitory Transients				✓-	✓-	✓	✓	✓+
Impulsive Transients						✓-	✓	✓
Bytes for 10 Cycle Recording	80	320	640	1280	2560	5120	10240	20480
Number of Recordings @ 1MB	12500	3125	1563	781	391	195	98	49
Highest Odd Harmonic	1	7	15	31	63	127	255	511

۱-۶-۵- برنامه‌های کاربردی

در این بخش، توضیح مختصری از برنامه‌های منتخبی که می‌توانند از کنتورهای هوشمند با قابلیت پایش کیفیت توان بهره‌مند شوند، ارائه می‌شود. [۲۸]

۱-۶-۵-۱- اخطار قطع

از داده‌های هشدار اعلان قطعی، می‌توان برای شناسایی سریع وقفه و زمان وقفه استفاده کرد.

۱-۶-۵-۲- کنترل ولتاژ

یکی از بیش‌ترین محدودیت‌ها در سیستم‌های توزیع، سطوح ولتاژ در پنل مشتری[1] است. به دلیل تلفات خط در طول فیدر، سطح ولتاژ می‌تواند در ابتدای فیدر زیاد و در انتهای فیدر کم باشد. علاوه بر این، این سطح ولتاژ در پاسخ به تغییرات بار در طول روز، در نوسان است. به‌منظور کنترل این سطح ولتاژ، از مدل‌سازی فیدر برای محاسبه‌ی افت ولتاژ و تعیین میزان بارگیری مربوط به سطح ولتاژ فیدر استفاده می شود. برای حفظ دقت، این مدل‌ها اغلب باید با داده‌های سطح ولتاژ واقعی تأیید شوند که این کار را می‌توان با داده‌های ولتاژ ذخیره شده، انجام داد.

۱-۶-۵-۳-تعیین محل خطا

خطاها معمولاً با استفاده از ثبات دیجیتالی خطا[2] (DFR) یا رله‌های حفاظتی از انتهای فیدر تعیین می‌شوند. هدف این رله‌ها، این است که مکان خطا را در کم‌ترین زمان ممکن تعیین کنند، تا با کلیدزنی‌های مناسب، بخش موردنظر از

[1] customer panel

[2] Digital Fault Recorder - DFR

فیدر جدا شـود و عملیات مانور انجام گیرد. در دسـت داشـتن داده‌های قطعی ولتاژ و داده‌های sag/swell کنتورهای مشترکین، می‌تواند یافتن مکان خطا را تسریع بخشد.

۱-۶-۵-۴- رسیدگی به شکایات مشترک

کنتورها ممکن اسـت بتوانند با جمع‌آوری پارامترهای موردنظر اگر ولتاژ، فرکانس، اعوجاج و سـایر پارامترهای حالت پایدار در محدوده‌ی عملکرد نباشند یا اگر خطایی رخ داده باشد، مشکلات کیفیت توان مشترک را مشخص کنند. به‌طور معمول، این کار با جستجوی وجود جریان خطا از مشترک یا مقایسه ولتاژ خطا با کنتورهای نزدیک مشتری، انجام می شود.

۱-۶-۵-۵- ضریب توان در پایش کیفیت توان

ضریب توان نامناسب، می‌تواند باعث افزایش تلفات شبکه، افزایش بار اضافی بر روی تجهیزات و کاهش ولتاژ شود. دلیل اصلی کاهش ضریب توان، وجود بارهای القایی مانند موتورها هستند. این امر معمولاً با اندازه‌گیری صحیح و نصب خازن‌ها کاهش می‌یابد. از منظر عملکرد، کارآمدترین اصلاح ضریب قدرت در بارهای القایی تکی انجام می‌شود.

۱-۶-۵-۶- تخمین حالت

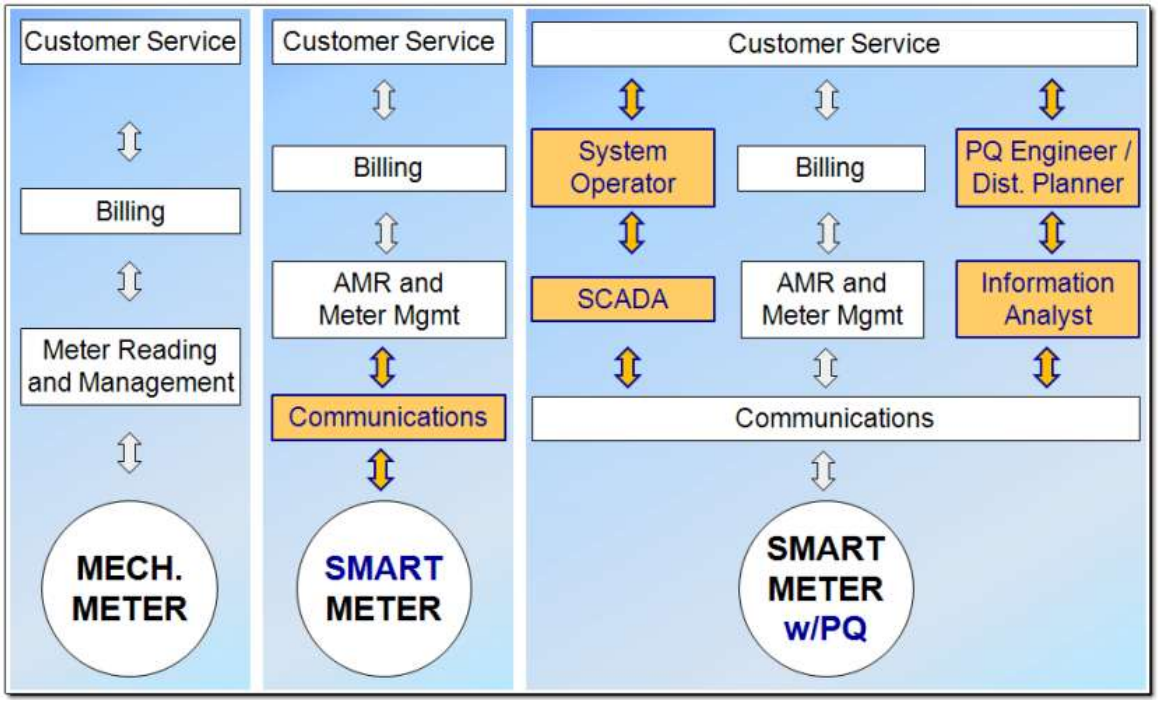
تخمین حالت به جلوگیری از اضافه‌بار و سایر مشکلات کیفیت توان مانند کاهش ولتاژ کمک می‌کند. تخمین حالت، الگوریتمی اسـت که از اندازه‌گیری‌ها و مدل‌های شـبکه‌ی توزیع‌شـده و بارهای آن تشـکیل شـده اسـت. معمولاً این اندازه‌گیری‌ها از تجهیزات DME در یک پست جمع‌آوری می‌شود.

۱-۶-۶- چالش‌های پیاده‌سازی سیستم کیفیت توان

در ادامه، خلا صه‌ای از چالش‌های موجود در پیاده سازی و ا ستفاده از داده‌های کیفیت توان در کنتورهای هو شمند بررسی‌شده در گزارش EPRI آورده شده است:

- بسیاری از کنتورهای هوشمندی که در حال حاضر استفاده می‌شوند، قابلیت پایش کیفیت توان را ندارند.
- هزینه‌ی فعال کردن توابع پایش کیفیت در کنتورهای هوشمند بسیار زیاد است.
- زیرساخت‌های ارتباطی فعلی، نمی‌توانند پهنای باند مناسب برای پایش کیفیت توان را تأمین کنند.
- سیستم‌های ذخیره‌سازی اطلاعات فعلی، برای ذخیره‌سازی طولانی مدت پیکربندی نشده‌اند.
- تیم پایش کیفیت توان، توانایی دسترسی یا کنترلِ داده‌های کنتورهای هوشمند را ندارند.

با در نظر گرفتن ویژگی‌های موردنیاز سایر بخش‌ها، همان‌طور که در شکل ۱-۲۲ ن شان داده شده ا ست، احتمال افزایش پیچیدگی عملیات اندازه‌گیری وجود دارد.



شکل ۱-۲۲- جریان عملیاتی برای کنتورهای معمولی در مقابل جریان چندبخشی از کنتورهای هوشمند با قابلیت پایش کیفیت توان

EPRI هم‌چنین، آزمایشات و بررسی‌هایی را روی کنتورهای مختلف انجام داده است. به‌عنوان مثال، قابلیت‌های مختلف در کنتورها شامل قابلیت ثبت صحیح رویدادهای کیفیت توان [۲۹] آزمایش شده است.

۱-۷- پایش کیفیت توان به وسیله‌ی کنتورهای هوشمند با استفاده از GPRS[1]

بسیاری از شرکت‌ها برای جمع‌آوری اطلاعات کیفیت توان زمان واقعی[2]، پایش کیفیت توان را در سایت‌های خاص انجام می‌دهند. به‌عنوان مثال، چندین شرکت توزیع‌کننده‌ی رقیب ممکن است قیمت خود را برای پایش کیفیت توان، بر اساس سطح کیفیت توان ارائه شده، تنظیم کنند [۳۰].

ایده‌ی اصلی در مورد داده‌های پایش کیفیت توان، این است که تمام داده‌های مربوط به کیفیت توان موجود در شبکه‌ی توزیع هوشمند، در یک سیستم واحد جمع‌آوری، ذخیره و پردازش شوند. PQMS[3]، براساس تجزیه و تحلیل‌های اختصاصی کیفیت توان مطابق با استاندارد IEC 61000-4-30، منبع اصلی اطلاعات کیفیت توان است [۳۱]. در PQMS، داده‌های مربوط به کیفیت توان موجود از سیستم‌های مختلف در شبکه توزیع مانند SCADA[4]،

[1] General Packet Radio Service, GPRS

[2] Real Time

[3] Power Quality Monitoring System

[4] Supervisory Control and Data Acquisition

AMI / AMR[1] و EVMS[2] را، که م ستقیماً با تجهیزاتی مانند کنتورهای هو شمند، آنالایز کیفیت توان، ای ستگاه‌های شارژ وسایل نقلیه الکتریکی، رله‌های حفاظتی و سایر موارد سروکار دارند، ادغام می‌شود. داده‌ها با استفاده از قالب م شترک داده مانند IEEE PQDIF، در یک پایگاه داده ذخیره می شوند. نرم‌افزار اخت صا صی، تجزیه و تحلیل کیفیت توان را انجام می‌دهد و گزارش‌های کیفیت توان را تولید می‌کند.

برای برقراری ارتباط بی‌سیم، باید تمام کنتورها به واحدهای ترمینال از راه دور متصل شوند. این مورد، دارای قابلیت اطمینان بالا اما هزینه‌ی ساخت بسیار زیاد است. روش‌های جدید ارتباط بی‌سیم مانند بلوتوث، IEEE 802.11 و GSM/GPRS، تکنیک‌های قابل‌اعتماد و کارآمدتری را برای تبادل داده ارائه می‌دهند و بنابراین، برای ساخت یک سی ستم پایش کیفیت توان در محدوده‌ی و سیع، منا سب‌تر خواهند بود. با توجه به فا صله‌ی ارتباطی ، GSM/GPRS انتخاب بهتری برای پایش کیفیت توان در منطقه‌ای وسیع[3] است.

به‌منظور پایش منطقه‌ی وسیع، باید از برخی رابط‌های سخت‌افزاری و دستگاه‌های همراه جدید مانند USB[4] و PDA[5] برای نظارت و ثبت داده‌های کیفیت توان استفاده شود. اکثر ابزارها از RS-232[6] به‌عنوان رابط اصلی انتقال داده ا ستفاده می‌کنند. با این وجود، به دلیل سرعت انتقال کم‌تر، ا ستفاده از RS232 برای تجهیزات با نیاز به کنترل و نظارت سرعت بالا د شوار ا ست. اخیراً، رایانه‌های شخ صی از رابط USB بهره می‌برند. در مقای سه با رابط RS-232، USB دارای سرعت انتقال بالاتری ا ست [۳۲]، بنابراین، رابط مبتنی بر USB می‌تواند برای پایش کیفیت توان، که در مواردی نیازمند انتقال داده با سرعت بالا ا ست، ا ستفاده شود. از آن‌جا که حافظه و سرعت پردازش د ستگاه‌های PDA اخیراً قدرتمندتر شده است، می‌توانند برنامه‌های پیچیده‌ای را اجرا کرده و برای برنامه‌های گرافیکی و چندرسانه‌ای مورد استفاده قرار گیرند. PDAهای تازه طراحی‌شده می‌توانند عملکردهای پیچیده‌تری مانند جمع‌آوری داده‌ها و ارتباط با و سایل هو شمند و اتوما سیون صنعتی را انجام دهند. این موارد قبلاً فقط از طریق رایانه‌های رومیزی در د سترس بودند [۳۳].

در این بخش از گزارش، به‌عنوان یک نمونه از پیاده سازی PQMS، سی ستمی معرفی می شود که در آن ا ستفاده از USB و PDA برای توسعه‌ی بستر پایش کیفیت توان محلی به‌کار گرفته شده و از تکنیک GPRS جهت پایش کیفیت توان در منطقه‌ی وسیع بهره گرفته شده است. توابع تجزیه و تحلیل کیفیت توان در این سیستم شامل موارد زیر است:

۱- محاسبه‌ی ولتاژ و جریان سیستم

[1] Automated Meter Reading - AMR

[2] Electric Vehicle Management System - EVMS

[3] Wide-Area

[4] Universal Serial Bus - USB

[5] Personal Digital Assistant - PDA

[6] Recommended Standard 232 - RS232

۲- محاسبه‌ی فرکانس و ضریب قدرت سیستم

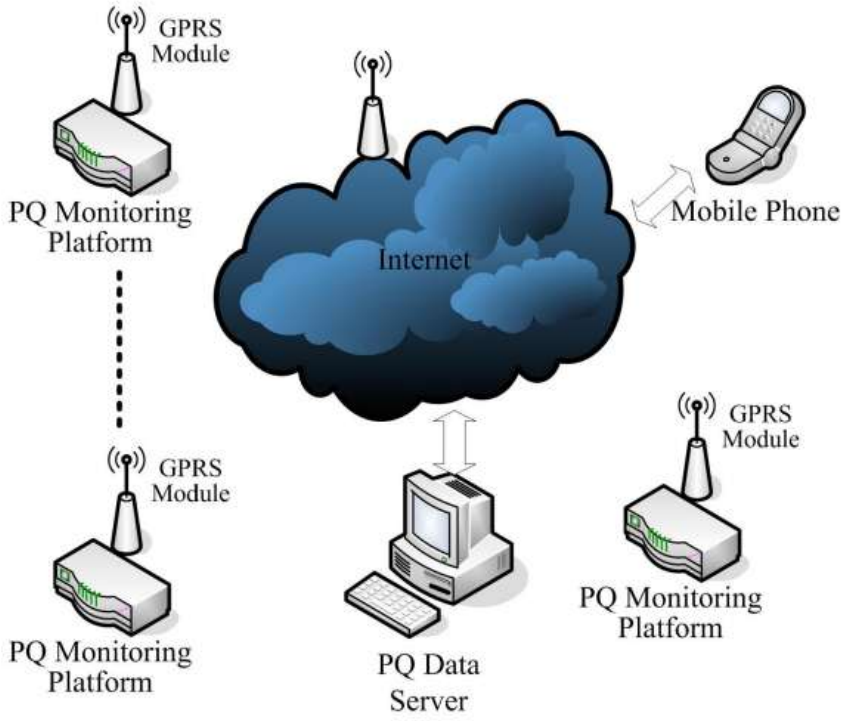
۳- محاسبه‌ی طیف هارمونیک و اعوجاج هارمونیکی کل

۴- ثبت رویدادهای غیرعادی

پس از بررسی موارد فوق، یک ماژول GPRS که می‌تواند در چارچوب سیستم پایش کیفیت توان توسعه یابد، معرفی می شود. سرانجام، یک وب سرور با پایگاه داده منا سب که برای ثبت داده‌های غیرعادی کیفیت توان ، طراحی شده، مورد برر سی قرار می‌گیرد. سی ستم پایش کیفیت توان مبتنی بر GPRS می‌تواند برای پایش کیفیت توان از راه دور با حداقل هزینه و حداکثر کارایی استفاده شود. عملکردها، می‌توانند پایش کیفیت توان زمان واقعی و در منطقه‌ی وسیع را تحقق بخشند.

۱-۷-۱- معماری سخت‌افزار و سیستم عامل برای پایش کیفیت توان

۱-۷-۱-۱- معماری سخت‌افزار

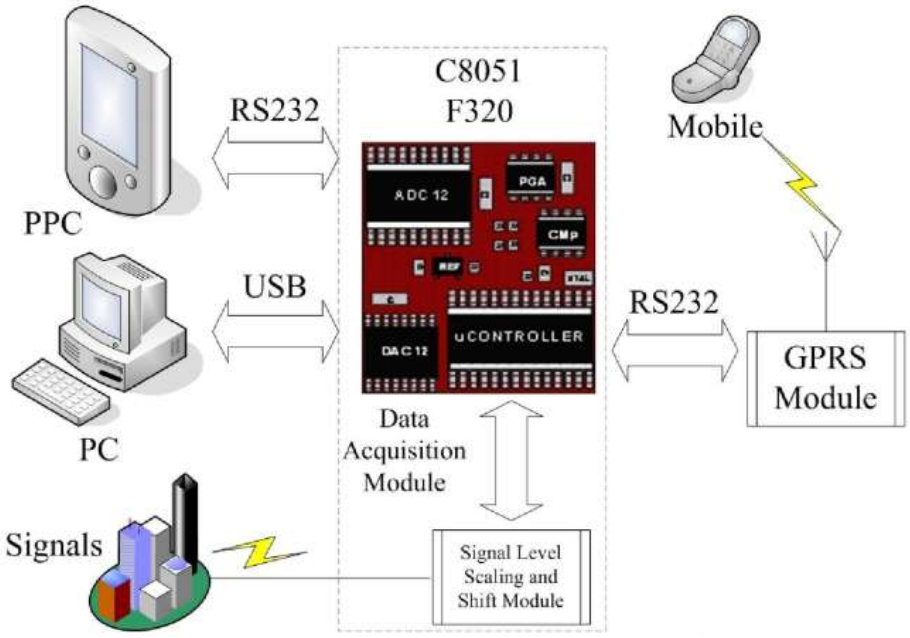


شکل ۱-۲۳- پیکربندی سیستم پایش کیفیت توان منطقه‌ی وسیع مبتنی برGPRS [۳۰]

شکل ۱-۲۳ پیکربندی سخت‌افزاری سیستم پایش کیفیت توان مبتنی بر GPRS را نشان می‌دهد. [۳۰] چارچوب سیستم پایش کیفیت توان، از عملکرد ارتباطی GPRS تعبیه‌شده، و یک سرور داده‌ی کیفیت توان برای ذخیره‌ی وقایع غیرعادی کیفیت توان ا ستفاده می‌کند. شکل ۱-۲۴، پیکربندی سی ستم پایش کیفیت توان منطقه‌ی و سیع مبتنی بر

GPRS را نشـــان می‌دهد. نظارت و ثبت دوره‌ای کیفیت توان، در پلتفرم نظارت محلی PQ[1] پایش کیفیت توان انجام می‌شـود و فقط رویدادهای غیرعادی کیفیت توان و داده‌های اندازه‌گیری و محاسـبه شـده‌ی آن به سـرور داده منتقل می‌شود. ارتباط بین پلتفرم‌های نظارت محلی بر کیفیت توان و سرور داده کیفیت توان، می‌تواند توسط GPRS حاصل شود. چارچوب سخت‌افزار پایش کیفیت توان را می‌توان به دو قسمت ۱. سخت‌افزار C8051F320 MCU [۹] و ۲. مدار برای مقیاس‌گذاری و تغییر سطح سیگنال تقسیم‌بندی کرد.

سخت‌افزار C8051F320 ساخت شرکت Silicon Laboratories Co. Ltd. دارای یک رم داخلی ۲۳۰۴ بایت و حافظه فلش ۱۶ کیلو بایت، یک رابط سـریال I^2C یک UART، چهار تایمر، ۲۵ پورت I/O قابل برنامه‌ریزی، ۱۷ کانال ۱۰ بیت، 200 ksps مبدل آنالوگ به دیجیتال[2] (ADC) و کنترلر USB است.



شکل ۱-۲۴- پیکربندی سیستم عامل پایش کیفیت توان

از MCU[3] برای به‌د ست آوردن سیگنال‌های ولتاژ و جریان، محا سبه‌ی شاخص‌های کیفیت توان و سپس انتقال داده‌های شکل موج و شاخص‌های کیفیت توان به PC یا PDA به ترتیب تو سط USB و RS232 ا ستفاده می شود. تجزیه و تحلیل کیفیت توان مبتنی بر USB و PC می‌تواند نظارت و ثبت شـــاخص‌های کیفیت توان را برای مدت طولانی تحقق بخشـد. RS232 و PDA مبتنی بر تجزیه و تحلیل کیفیت توان، می‌تواند با حجم کم و سـیار اسـتفاده شـود. هنگامی که یک رویداد غیرعادی رخ داد، به‌عنوان مثال، شـاخص‌های کیفیت توان از حد تعیین‌شـده فراتر روند، پیامی توسط سرویس پیام کوتاه GSM به تلفن همراه اپراتور ارسال می‌شود و داده‌های کیفیت توان نیز توسط GPRS

[1] local PQ monitoring platform

[2] Analogue to Digital Converter , ADC

[3] Micro Computer

به سرور داده کیفیت توان منتقل می‌شود. کاربر می‌تواند از طریق اینترنت به سرور داده کیفیت توان دسترسی پیدا کند و داده‌های غیرعادی کیفیت توان را بدون زیرساخت اضافی به‌دست آورد.

۱-۷-۱-۲- طراحی سیستم عامل در MCU[1]

شکل ۱-۲۵ نمودار نحوه انتقال داده‌های کیفیت توان را در میکروکامپیوتر[2] نشان می‌دهد. منظور از تنظیم و مقداردهی اولیه‌ی MCU در شکل ۱-۲۵، تنظیم پارامترهای MCU، فعال کردن پایه‌های I/O برای به‌دست آوردن داده‌ها، انتخاب رابط ارتباطی و انتخاب میزان نمونه‌برداری برای ADC و غیره است. پس از به‌دست آوردن داده‌های ADC، از "تجزیه و تحلیل کیفیت انرژی" برای محاسبه شاخص‌های کیفیت توان استفاده می‌شود. نمودار فرآیند محاسبه هارمونیک‌ها و THD با عنوان "تجزیه و تحلیل کیفیت توان" در شکل ۱-۲۶ نشان داده شده است. میزان نمونه‌گیری مورد استفاده در این گزارش، ۷۶۸۰ داده نمونه‌برداری در هر ثانیه است. همان‌طور که در شکل ۱-۲۶ مشاهده می‌شود، طبق مطالعات صورت گرفته، تبدیل فوریه‌ی سریع[3] (FFT) در این قسمت اجرا شده است. FFT پیاده سازی شده در این بخش، الگوریتم Radix-2 Decimation-in-Time است [۳۴].



شکل ۱-۲۵- فلوچارت نحوه‌ی انتقال داده‌های کیفیت توان در MCU

[1] Micro-Controller Unit

[2] MCU

[3] Fast Fourier Transform, FFT



شکل ۱-۲۶- فلوچارت تجزیه و تحلیل کیفیت توان

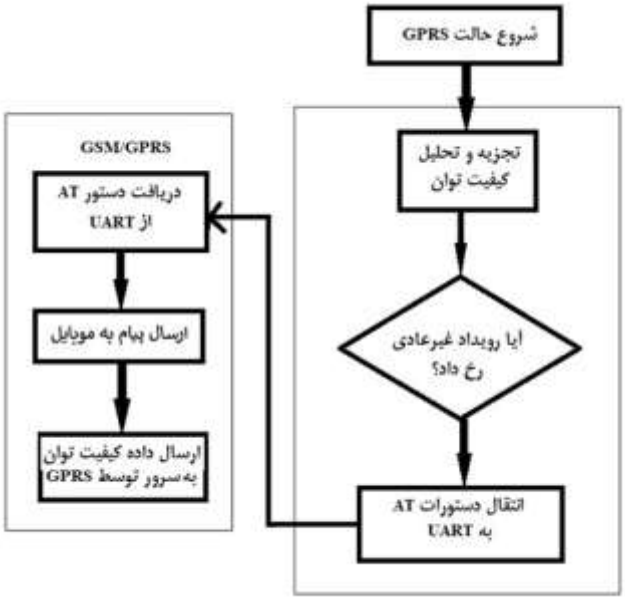
داده‌های کیفیت توان، به ترتیب برای انتقال ولتاژ و جریان به‌دست آمده، و شاخص‌های کیفیت توان محاسبه‌شده به ترتیب توسط ماژول USB، RS232 و GPRS/GSM به کامپیوتر، PDA و تلفن همراه استفاده می‌شود. شکل ۱-۲۷ نمودار جریان انتقال داده بین ماژول C8051F320 و GSM/GPRS را نشان می‌دهد. از شکل ۱-۲۷، می‌توان دریافت که MCU در صورت بروز یک اتفاق غیرعادی، برخی دستورات AT[1] را به ماژول GSM / GPRS ارسال خواهد کرد. سپس پیامی شامل موقعیت غیرعادی رویداد، فرکانس ولتاژ، ولتاژ RMS و ولتاژ THD توسط سرویس پیام کوتاه GSM به تلفن همراه اپراتور ارسال می‌شود.

رابط نشان داده شده در تلفن همراه به‌صورت شکل ۱-۲۸ طراحی شده است. داده‌های دقیق PQ نیز تو سط GPRS به سرور داده PQ منتقل می‌شوند. اگر داده‌های کیفیت توان توسط PC و PDA دریافت شود، رابط‌های کاربری[2] (HMI) کاربرپسند[3] برای نمایش و ثبت آن‌ها طراحی شده است.

[1] AT commands

[2] Human Machine Interface , HMI

[3] user-friendly



شکل ۱-۲۷- فلوچارت گزارش سیستم بر اساس GSM



شکل ۱-۲۸- اطلاعات نمایش داده شده در موبایل

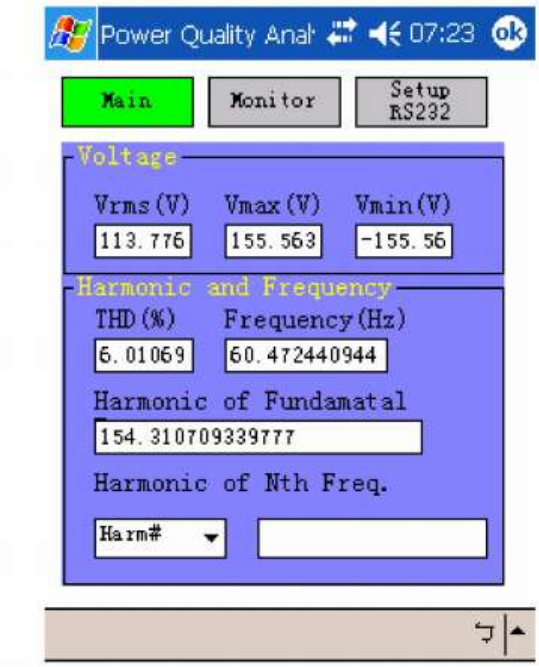
۱-۷-۱-۳- HMIهای پلتفرم پیشنهادی پایش کیفیت توان

دو HMI برای PC و PDA طراحی شده است. HMI مبتنی بر PC می‌تواند از سرعت انتقال سریع USB به‌طور کامل استفاده کند. HMI مبتنی بر PDA می‌تواند با حجم کم و به‌صورت سیار، کیفیت توان را پایش کند. شکل ۱-۲۹، HMI مبتنی بر PPC[1] برای سامانه‌ی پایش کیفیت توان است. HMI از سه سه رابط اصلی[2]، پایش و

[1] Pocket PC

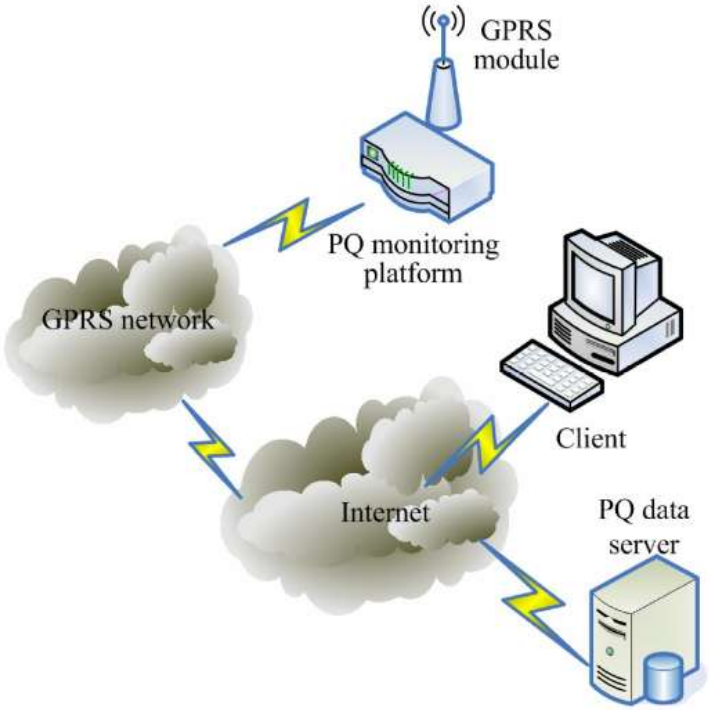
[2] Main

رابط تنظیم RS232 تشـکیل شـده اسـت. رابط تنظیم RS232 برای تنظیم پارامترهایی مانند بیت‌های داده، بیت‌های توقف و غیره استفاده می‌شود، و سپس از طریق RS232 به MCU متصل می‌شود.



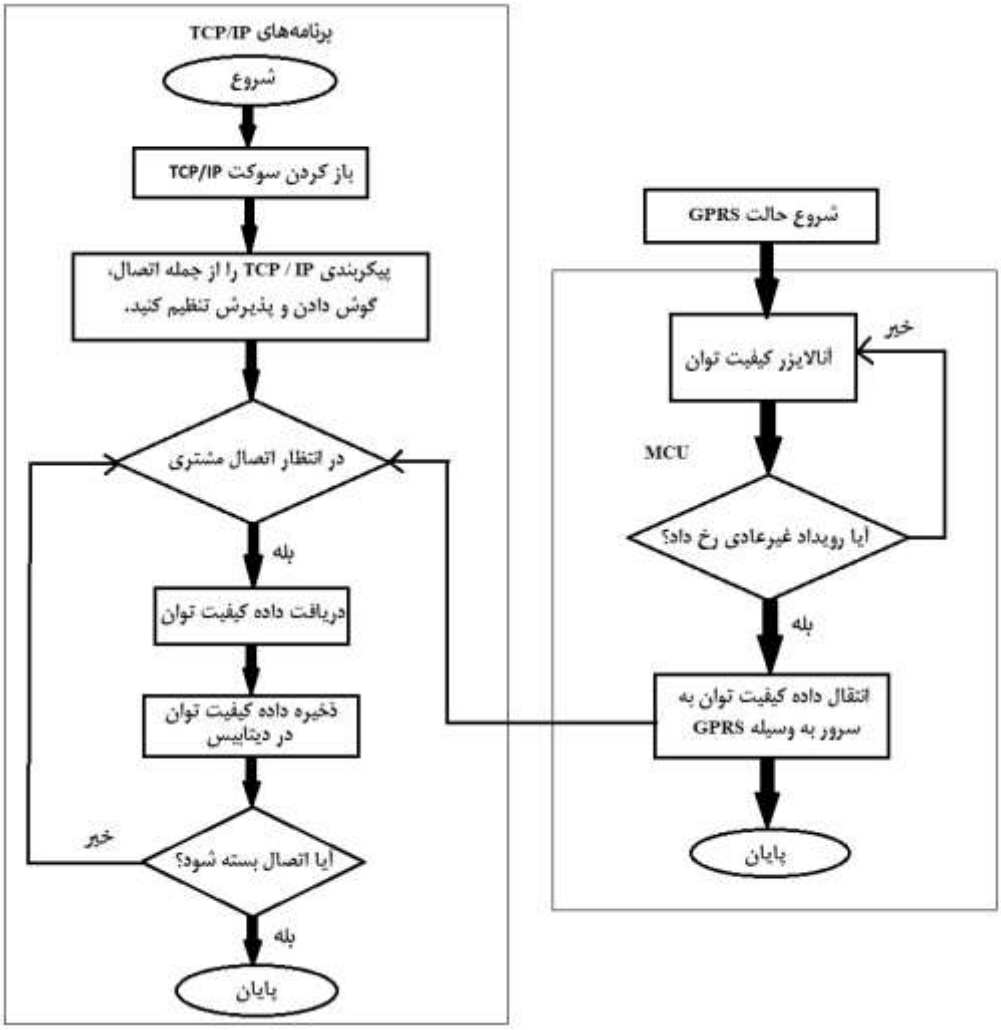
شکل ۱-۲۹- PPC مبتنی بر HMI ارائه شده

شکل ۱-۳۰ پیکربندی سیستم پایش کیفیت توان را نشان می‌دهد. هنگامی که یک رویداد غیرعادی کیفیت توان رخ دهد، به‌عنوان مثال، شاخص‌های کیفیت توان از حد تعیین‌شده فراتر روند، پیامی توسط سرویس پیام کوتاه GSM به تلفن همراه اپراتور ار سال می شود و داده‌های کیفیت توان نیز تو سط GPRS به سرور داده، منتقل می شود. کاربر می‌تواند از طریق اینترنت به سرور داده دسترسی پیدا کرده و داده‌های کیفیت توان را مشاهده کند.



شکل ۱-۳۰- پایش کیفیت توان منطقه‌ی وسیع

شکل ۱-۳۱ نمودار جریان برنامه‌های TCP/IP را که با استفاده از Microsoft Visual Basic طراحی شده، نشان می‌دهد. از شکل ۱-۳۱، می‌توان دریافت که وقتی یک رویداد غیرعادی رخ داد، داده‌های کیفیت توان به‌دست آمده و محاسبه شده، و سپس توسط MCU به ماژول GPRS منتقل می شود. برنامه‌های TCP / IP، سوکت TCP / IP را تنظیم می‌کنند، اتصال سوکت را برقرار می‌کنند و سپس منتظر اتصال مشترک هستند. پس از اتصال مشترک، داده‌های کیفیت توان از اینترنت دریافت شده و در پایگاه داده ذخیره می‌شود. جدول ۱-۲۷ داده‌های کیفیت توان غیرعادی را در پایگاه داده نشان می‌دهد.



شکل ۱-۳۱- فلوچارت برنامه‌های TCP/IP

جدول۱-۲۸- داده‌های غیرعادی کیفیت توان

Abnormal PQ Database	
PK	**SN**
	IP DateTime Vrms Vmax Vmin Frequency THD PF VoltagePoints CurrentPoints Harmonic

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این فصل، به بررسی تجارب بین‌المللی در خصوص سامانه‌ی پایش کیفیت توان با استفاده از ترکیب زیرساخت اندازه‌گیری هوشمند و آنالایزر کیفیت توان، پرداخته شده است.

در ابتدا مروری بر رویکردها و اهداف پایش کیفیت توان در سطح بین‌المللی صورت گرفته است و هم‌چنین تعاریف مرتبط با اغتشاشات کیفیت توان از روی استاندارد IEEE 1159، مورد بررسی قرار گرفته است. هم‌چنین تعاریف مختلفی مانند فرورفتگی، برآمدگی، وقفه لحظه‌ای ولتاژ، خطاهای سیستم و غیره مورد بررسی و تعریف گردیده است.

به طور کلی، اهداف اصلی پایش کیفیت توان، شامل: ۱. تطابق با الزامات، ۲. تجزیه و تحلیل عملکرد و تعیین معیار، ۳. توصیف سایت، ۴. عیب‌یابی، ۵. مطالعات و کاربردهای پیشرفته و ۶. مدیریت فعال کیفیت توان است.

هم‌چنین در مرحله بعد، به بررسی انتخاب سایت و محل نصب مانیتورها با توجه به پارامترهای عمومی انتخاب محل پایش، زیرساخت ارتباطی، وضعیت شبکه و سطح ولتاژ، پرداخته شده است.

هم‌چنین، یکی از جنبه‌های مهم در پایش کیفیت توان، تعیین پارامترهای اندازه‌گیری است. با توجه به این که از نظر فنی و اقتصادی، پایش همه‌ی پارامترهای کیفیت توان مقدور نیست، نیاز است پارامترهایی اندازه‌گیری شوند که در راستای اهداف پایش کیفیت توان قرار گیرند. توصیه‌های این بخش عموماً بر اساس استاندارد IEC 61000-4-30 است که بر اساس شش هدف پایش کیفیت توان، داده‌ی اندازه‌گیری شده انتخاب و بررسی می‌شود که در جدول ۱-۷، خلاصه مقایسه‌ی پارامترهای کیفیت توان بر اساس اهداف شش‌گانه، بیان شده است.

سپس به معرفی پارامترهای مهم در پایش کیفیت توان، مانند زمان‌سنجی، معماری شبکه، آب و هوا، ترانسفورماتورها اندازه‌گیری، اتصال تجهیزات اندازه‌گیری، قالب اطلاعات، پرتکل‌های ارتباطی و کلاس‌بندی تجهیزات پایش پرداخته شده است.

شاخص‌های اندازه‌گیری، نماینده‌ی حجم بزرگی از داده‌های اندازه‌گیری هستند. تعداد شاخص‌ها باید تا جای ممکن کاهش یابد و در عین حال، اطلاعات مفید نیز از دست نرود. شاخص‌های حالت پایدار ولتاژ از جمله هارمونیک، فلیکر و عدم تعادل را می‌توان به دو گروه تقسیم کرد، ۱. شاخص‌های سطوح برنامه‌ریزی و ۲. شاخص‌های ویژگی‌های ولتاژ.

هم‌چنین شاخص‌های توصیه شده در گزارش بین‌المللی سیگره برای ارزیابی هامونیک‌ها نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

هم‌چنین، پروژه‌ی RP3098 EPRI که به عنوان پروژه‌ی نظارت بر کیفیت توزیع سیستم EPRI یا پروژه DPQ EPRI شناخته می‌شود، شامل یک بررسی جامع بر روی پایش کیفیت توان با استفاده از داده‌های سمت اولیه‌ی ۲۷۷ ترانسفورماتور توزیع در ۲۴ شرکت برق در سراسر ایالت متحده است، که مورد بررسی قرار گرفته است.

فصل دوم: بررسی قابلیت‌های کنتورهای فهام و MDM/HES از منظر اندازه‌گیری و فراخوانی پارامترهای کیفیت توان

۲-۱- مقدمه

تجهیزات اندازه‌گیری مناسب، یکی از الزامات اساسی پایش کیفیت توان است. اجزای مختلفی مانند تجهیزات پایش کیفیت توان (PQMS[1])، تجهیزات اندازه‌گیری قرائت خودکار کنتورها (AMR)، زیرساخت اندازه‌گیری پیشرفته(AMI)، کنتورهای هوشمند، رله‌های هوشمند و ... می‌توانند اطلاعات مناسبی در راستای اهداف پایش کیفیت توان فراهم آورند. فراهم آوردن استاندارد و زبانی مشترک بین این تجهیزات امری غیرقابل اغماض است. اسناد FID1[2]، FID2 و FID3، قابلیت همکاری بین اجزای مختلف مانند کنتورها، MDM/HES و برنامه‌های کاربردی را توصیف کرده‌اند. در این فصل به بررسی قابلیت‌های کنتورهای سامانه‌ی فهام (فراسامانه‌ی هوشمند اندازه‌گیری و مدیریت انرژی) و نرم‌افزارهای مدیریت داده، از منظر اندازه‌گیری و فراخوانی پارامترهای کیفیت توان پرداخته می شود. هم‌چنین، قابلیت‌های کنتورهای نصب شده در شبکه فوق‌توزیع جهت بررسی وضعیت کیفیت توان فیدرهای شرکت توزیع نیز بررسی می‌شود.

۲-۲-کنتورهای فهام

پیشرفت تکنولوژی‌های مرتبط با فناوری اطلاعات و ارتباطات، زمینه‌ی مناسبی برای پیدایش شبکه‌ی هوشمند برق به وجود آورده است. شبکه‌ی هوشمند برق قادر به پیش‌بینی مشکلات، پیشگیری و رفع آن‌ها بوده و برق را با کیفیت و قابلیت اطمینان بالا برای مشترکین تأمین می‌نماید. یکی از مهم‌ترین ابعاد شبکه‌ی هوشمند برق، وجود زیرساخت اندازه‌گیری هوشمند است. اصلی‌ترین هدف در پیاده سازی این زیر ساخت، ارسال داده‌های قرائت شده از سمت کنتور هوشمند برق مشترکین به سیستم مرکزی به‌منظور مدیریت داده‌ها می‌باشد. کنتورهای فهام از پروتکل ارتباطی COSEM[3]/DLMS[4] جهت تبادل داده و برقراری ارتباط استفاده می‌نماید. در این پروتکل، تمامی عملکردهای کنتور با بهره‌گیری از مدل سازی شیءگرا پیاده سازی شده‌اند. در مدل سازی شیءگرا، موضوعات مرتبط تحت عنوان اشیاء به هم مرتبط می‌شوند. در کنتورهای هوشمند نیز، موضوعی تحت عنوان COSEM Object وجود دارد که مرتبط با اشیاء مربوط به پروتکل ارتباطی شیءگرای کنتور است.

۲-۲-۱- معرفی سند FID2

در سند FID2 به ارائه مشخصات فنی برای کنتورهای فهام بر اساس استانداردها و مطابق با الزامات فهام پرداخته می‌شود. در واقع هدف این سند، تعریف موارد نامشخص در استانداردها و الزامات گذشته است.

---

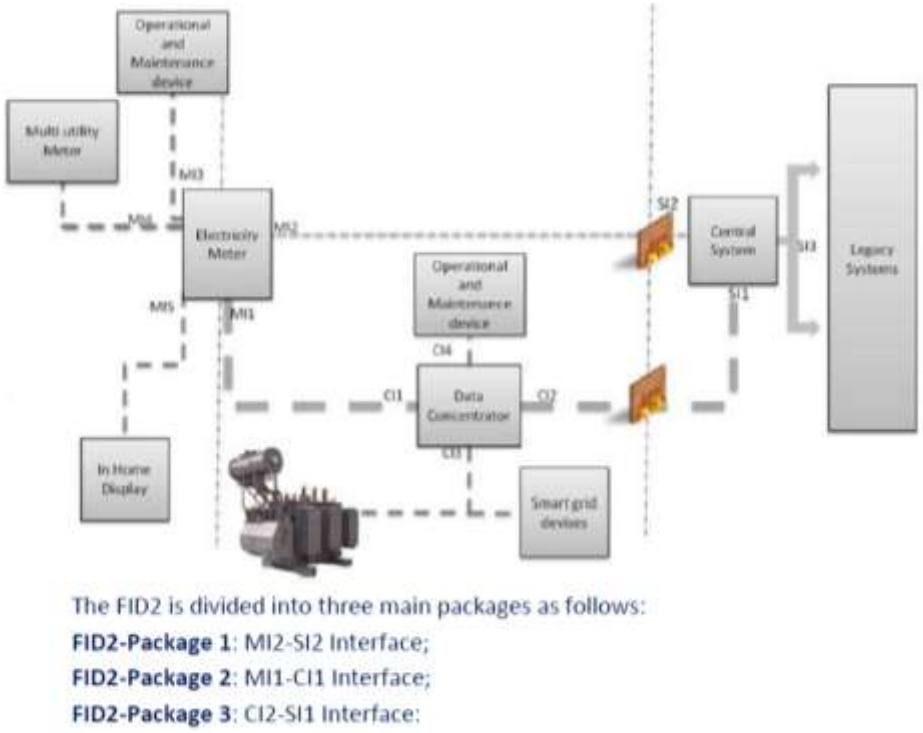
[1] Power Quality Monitoring System

[2] FAHAM Interoperability Documents, FID

[3] Companion Specification for Energy Metering, COSEM

[4] Device Language Message Specification, DLMS

همان‌طور که در شکل ۲-۱ مشخص است، سند FID2 دارای سه پکیج است. در پکیج اول، کنتورهای برق به‌صورت مستقیم به سیستم مرکزی متصل شده و اطلاعات را به‌صورت مستقیم به این سیستم ارسال می‌کنند. ارسال این اطلاعات از طریق GPRS خواهد بود.



شکل ۲-۱- معماری سیستم فهام [۳۵]

در پکیج دوم، داده‌های کنتورهای برق به واحد متمرکزکننده داده ارسال می شود که این داده‌ها ممکن است شامل داده‌های کنتورهای آب و گاز، دستگاه‌های عملیاتی و دستگاه‌های نمایشی در خانه باشد. در نهایت از طریق پکیج سوم، این اطلاعات به واحد متمرکزکننده داده از طریق GPRS ارسال خواهد شد [۳۵].

۲-۲-۲- معماری سیستم و ساختار DLMS

به‌صورت کلی در کنتورها دو عملیات کلی تحت عنوان "Pull"و"Push" وجود دارد. حالت Pull توسط HES[1] آغاز می شود، و برای جمع‌آوری داده‌ها از کنتور یا ارسال دستورات به کنتور است و از طریق سرویس‌های دسترسی DLMS تحقق می‌یابد، مانند:

- OPEN
- RELEASE
- GET
- SET

[1] Head End System

- ACTION
- ABORT
- ACCESS

اما حالت Push توسط کنتور برق برای ارسال برخی اطلاعات مهم مانند هشدارها به HES استفاده می‌شود که در این حالت از سرویس Data Notification استفاده می‌شود. در جدول ۲-۱ سرویس DLMS برای حالت‌های Pull/Push در نظر گرفته شده است.

جدول ۲-۱- سرویس DLMS در حالت‌های عملیاتی [۳۵]

حالت عملیاتی	ارتباط از طریق IP
Pull	GET, SET, ACTION, ACCESS (Confirmed)
Push	DATA-NOTIFICATION (Unconfirmed)

برای استفاده از دو حالت مذکور، در کنتورها به‌صورت کلی چهار گیرنده (client) مطابق جدول ۲-۲ پشتیبانی می‌گردد.

جدول ۲-۲- انواع Client در کنتورهای فهام [۳۵]

گیرنده	فعالیت‌ها	توصیف
Public	خواندن اطلاعات عمومی دستگاه	قابل دسترسی از طریق ارتباط از راه دور و رابط محلی بدون امنیت ایجاد شده از طریق سرویس DLMS-OPEN (AARQ)
Management	مدیریت و هر تنظیم/عملیاتی در دستگاه و هم‌چنین مقادیر خواندن	از طریق ارتباط از راه دور و رابط محلی قابل دسترسی است. با احراز هویت HLS (پشتیبان LLS) است. با استفاده از سرویس DLMS-OPEN (AARQ) ایجاد می‌شود.
Pre-established	سرویس‌های لایه Unconfirmed برای Set/Action/Data Notification	فقط از طریق ارتباط از راه دور / RS485 قابل دسترسی است (رابط نوری مجاز نیست). همیشه برقرار است.
Reading	خواندن پارامترها و داده‌های انرژی	از طریق رابط محلی با امنیت قابل دسترسی است. با استفاده از سرویس DLMS-OPEN (AARQ) با Authentication HLS (پشتیبان LLS) ایجاد می‌شود.

در حالت Public، برای خواندن اطلاعات عمومی کنتور مانند نام دستگاه منطقی استفاده می‌شود و به دلیل عدم امنیت دسترسی در این نوع ارتباط، به مشترک اجازه دسترسی به اطلاعات محدودی از کنتور را می‌دهد و اجازه خواندن اطلاعات کنتور و یا تغییر در تنظیمات، داده نشده است. در حالت Management، جواز انجام هر عملیاتی در دستگاه‌ها داده شده است. حالت Pre-established، تنها شامل تبادل پیام بین سرور (کنتور) و Client (HES) بوده و این بخش

شـامل ایجاد و یا انتشـار پیام نیسـت. درنهایت حالت Reading، برای پارامترها و خواندن داده‌های انرژی در دسـترس است. نحوه قطع (بستن) ارتباط کنتور با گیرنده‌های مختلف،در جدول ۲-۳ نشان داده شده است.

جدول ۲-۳- نحوه‌ی قطع ارتباط با گیرنده در موارد خاص در کنتورهای فهام [۳۵]

گیرنده	رابط ارتباطی	نحوه قطع (بستن)
Public	محلی (HDLS[1] مبتنی بر پورت نوری) ارتباط از راه دور (GPRS)/RS485	Time-out (inactivity_time_out of HDLC Setup Object); Power-off; Time-out (inactivity_time_out of TCP-UDP/HDLC Setup Object); Power-off;
Management	محلی (HDLS مبتنی بر پورت نوری) ارتباط از راه دور (GPRS)/RS485	Time-out (inactivity_time_out of HDLC Setup Object); Power-off; Time-out (inactivity_time_out of TCP-UDP/HDLC Setup Object);
Reading	محلی (HDLS مبتنی بر پورت نوری)	Time-out (inactivity_time_out of HDLC Setup Object); Power-off;

باید به این نکته توجه داشت که در هنگام ارتباط از طریق پیام کوتاه در دستگاه‌ها، محدودیت‌هایی برقرار است:

- فقط خدمات سرویس Confirmed قابل‌استفاده است.
- از این کانال فقط می‌توان از/ به Pre-established در سمت HES استفاده کرد.
- در جهت کنتور، از کلید Broad Cast و در جهت HES از کلید Global Unicast استفاده می‌کنیم.

هم‌چنین جهت ایجاد ارتباط بین کنتورهای فهام باید موارد زیر را در نظر گرفت:

- در پورت local communication، تنها یک پیوند می‌تواند هم‌زمان باز باشد.
- در حالت ارتباط از راه دور از طریق IP، چندین ارتباط می‌تواند برقرار باشد.
- در درگاه‌های مختلف، چندین ارتباط به‌طور هم‌زمان با یک مشترک و یا مشترک‌های مختلف می‌تواند برقرار باشد.
- اگر مشترک بخواهد با چند پورت به‌صورت همزمان ارتباط برقرار کند، باید در هر پورت به‌صورت جداگانه ارتباط مدنظر را ایجاد کند.

در کنتورهای DLMS، لایه‌های دسـترسـی به بخش‌های مختلفی طبق اسـتاندارد IEC 62056-53 و DLMS UA 1000-2 Ed. 8.0 (Green Book) ا وجود دارد، به‌عنوان مثال، set لایه ارتباطی بین پایگاه داده به سمت کنتور،

[1] High-level Data Link Control

get دریافت اطلاعات از سمت کنتور به پایگاه داده و access لایه د ستر سی به داده ا ست. در جدول ۲-۴، لایه‌های دسترسی مختلف معرفی شده است.

جدول ۲-۴- لایه‌های سرویس‌های اجباری در کنتورهای فهام [۳۵]

سرویس	بیت انطباق
General-protection	(۱)
General-block-transfer	(۲)
Block-transfer-with-get	(۱۱)
Block-transfer-with-set	(۱۲)
Multiple-references	(۱۴)
Data-notification	(۱۶)
Access	(۱۷)
Get	(۱۹)
Set	(۲۰)
Selective-access	(۲۱)

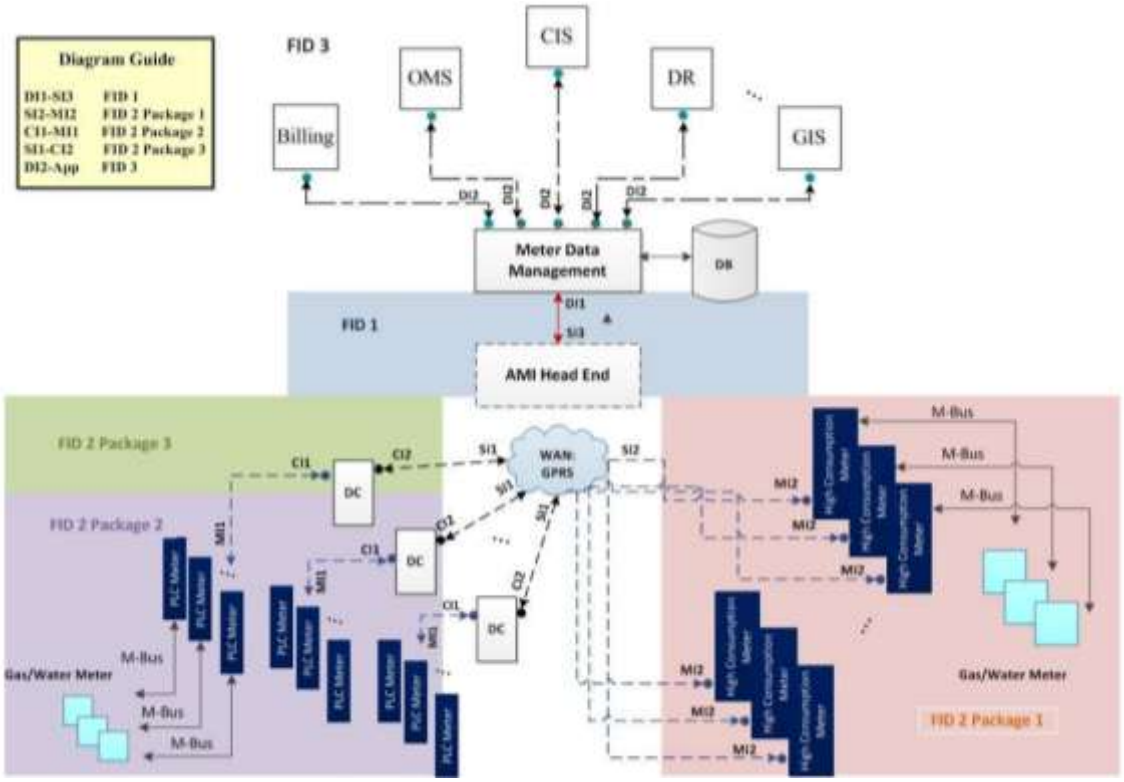
۲-۲-۳- قابلیت‌های MDM/HES

در سند FID3، به صورت کلی به پیام‌های XML[1] که جهت برقراری ارتباط منتقل می شود، اشاره شده است. در ابتدای این سند، نکات مرتبط با سنکرون کردن اطلاعات مشترک بین برنامه‌های کاربردی و MDM[2] مطرح شده است، و جهت برقراری این ارتباط، پیام‌های XML حاوی اطلاعات مشترک[3]، حذف اطلاعات و یا پاسخ به درخواست داده شده در سیستم معرفی شده است[۳۶]. نمایی از نحوه‌ی ارتباط کنتورهای فهام با سیستم مرکزی در شکل ۲-۲ نشان داده شده است.

[1] Extensible Markup Language

[2] Meter data management

[3] Customer



شکل ۲-۲- نمایی از نحوه‌ی ارتباط کنتورهای فهام با سیستم‌های مرکزی [۳۶]

هنگام قرائت کنتورها، کدهای کیفی[1] برای نشان دادن موارد خاص مربوط به داده‌ها وجود دارد، که این کدها برخی اجباری و برخی مربوط به شرایطی خاص هستند. این موارد خاص، مانند تخمین و ارسال داده‌ها و یا ویرایش و ارسال داده‌ها توسط MDM صورت می‌گیرد.

جهت تعامل بین برنامه کاربردی MDM و AHE[2]، قوانینی وجود دارد که شامل موارد زیر است.

- تمامی پیام‌های درخواستی که از Billing یا MDM ارسال می‌شود، باید ''Timeout'' از پیش تعیین‌شده را در سربرگ پیام‌های XML داشته باشد.
- هنگام رخ دادن Timeout تعیین‌شده برای درخواست MDM، داده‌هایی که AHE نتوانسته جمع‌آوری کند، به‌عنوان ''Lost data'' در نظر گرفته شده و همراه با Quality code مناسب به MDM بازمی‌گردد.
- داده‌هایی که توسط AHE جمع‌آوری‌نشده، توسط MDM تخمین زده می‌شود و با یک Quality code به‌عنوان ''estimated'' به سیستم بازگردانده می‌شود.

[1] Quality codes

[2] AMI Head End

در این سند، کلیه اطلاعاتی که در MDM ذخیره شده، باید تو سط وب سرویس قابل‌د ستر سی با شد، بنابراین در صورت عدم خواندن کنتور، داده‌هایی مثل هشدارها[1]، وقایع[2]، وضعیت کنتور[3] و ارتباطات همراه با آن منتقل می‌شود که در جدول ۲-۵ آمده است.

جدول ۲-۵- داده‌های ارزیابی مدیریتی کنتورهای فهام [۳۶]

مورد	نوع داده	شناسه عملکرد
۱	تعداد کنتورهای تحویل داده شده	۱۰۱
۲	تعداد کنتورهای متصل شده	۱۰۲
۳	تعداد کنتورهای رجیستر شده	۱۰۳
۴	درصد قرائت موفق از کنتورها	۱۰۴
۵	تعدادی خرابی کنتور	۱۰۵
۶	تعداد کنتورهای آنلاین	۱۰۶
۷	کل مصرف انرژی	۱۰۷

این داده‌ها بر اســـاس طبقه‌بندی با توجه به موقعیت‌شـــان در شـــرکت توزیع، منطقه و فیدر ارائه می‌شـــود. در جدول ۲-۶، هشدارها و وقایع ارائه شده توسط MDM بررسی شده است.

[1] Alarms

[2] Events

[3] Meter status

جدول ۲-۶- لیست هشدارهای ارائه شده توسط MDM [۳۶]

مورد	هشدارها	مورد	هشدار	مورد	لیست آلارم
۱	Clock Invalid	۱۸	Permanent Error M-bus Ch2	۳۵	Wrong Phase Sequence
۲	Battery Replace	۱۹	Permanent Error M-bus Ch3	۳۶	Unexpected Consumption
۳	Program Memory Error	۲۰	Permanent Error M-bus Ch4	۳۷	Key Exchanged
۴	RAM Error	۲۱	Battery Low on M-bus Ch1	۳۸	Bad Voltage Quality L1
۵	NV Memory Error	۲۲	Battery Low on M-bus Ch2	۳۹	Bad Voltage Quality L2
۶	Measurement System Error	۲۳	Battery Low on M-bus Ch3	۴۰	Bad Voltage Quality L3
۷	Watchdog Error	۲۴	Battery Low on M-bus Ch4	۴۱	External Alert
۸	Fraud Attempt	۲۵	Power Down	۴۲	Local Communication Attempt
۹	SIM Card Ok	۲۶	Power Up	۴۳	New M-bus Device Installed Ch1
۱۰	M-bus Communication Error Ch1	۲۷	Voltage Missing Phase L1	۴۴	New M-bus Device Installed Ch2
۱۱	M-bus Communication Error Ch2	۲۸	Voltage Missing Phase L2	۴۵	New M-bus Device Installed Ch3
۱۲	M-bus Communication Error Ch3	۲۹	Voltage Missing Phase L3	۴۶	New M-bus Device Installed Ch4
۱۳	M-bus Communication Error Ch4	۳۰	Voltage Normal Phase L1	۴۷	M-bus Valve Alarm Ch1
۱۴	M-bus Fraud Attempt Ch1	۳۱	Voltage Normal Phase L2	۴۸	M-bus Valve Alarm Ch2
۱۵	M-bus Fraud Attempt Ch2	۳۲	Voltage Normal Phase L3	۴۹	M-bus Valve Alarm Ch3
۱۶	M-bus Fraud Attempt Ch3	۳۳	Missing Neutral	۵۰	M-bus Valve Alarm Ch4
۱۷	M-bus Fraud Attempt Ch4	۳۴	Phase Asymmetry	۵۱	Disconnect/Reconnect Failure

۲-۲-۴- قرائت کنتورهای فهام

جهت قرائت کنتور، از سـرویس‌های " GET" و "Data-Notification" اسـتفاده می‌شـود و اجرای این خدمات در کنتورها اجباری ا ست. هم‌چنین در کنتورهای فهام، رجیسترهای مختلفی، مانند موارد ذکر شده در ذیل، وجود دارد که باید توسط کنتور پشتیبانی گردد:

- 15 Total Registers
- 24 Rated Registers
- 5 Interval Registers

- 5 Demand Registers
- 27 Maximum Demand Registers
- 44 Power Quality & monitored values;
- 42 Average, Max and Min values (load profile interval);
- 42 Harmonics value just for CT and CT/PT meters

در جدول ۲-۷، رزولوشن و مقیاس برای پارامترهای مختلفی که در کنتور از آن‌ها استفاده می‌شود، ذکر شده است.

جدول ۲-۷- رزولوشن اندازه‌گیری کنتورهای فهام [۳۵]

پارامتر	واحد	دقت	مقیاس
جریان	A	۰,۰۱	-۲
ولتاژ	V	۰,۱	-۱
انرژی (تک‌فاز، سه‌فاز DC و سه‌فاز CT)	Wh/VARh	۱	۰
انرژی (کنتورهای CT/PT)	Wh/VARh	۰,۱	-۱
ضریب توان	-	۰,۰۰۱	-۳
فرکانس	Hz	۰,۰۱	-۲
پارامترهای هارمونیک‌ها	%	۰,۱	-۱

۲-۲-۵- پروفایل بار

پروفایل بار[1] در فواصل زمانی مشخص پارامترهای مختلف کنتور را (که به صورت کانال تعریف می شوند) ضبط و ذخیره می‌کند. پروفایل‌های بار در نظر گرفته شده در کنتورهای فهام در جدول ۲-۸ آمده است.

[1] Load profile

جدول ۲-۸- انواع پروفایل در کنتورهای فهام [۳۵]

پروفایل	OBIS CODE
پروفایل بار ۱ (مشخصات بارگذاری ساعتی)	7,1-0:99.1.0.255
پروفایل بار ۲ (مشخصات بار روزانه)	7,1-0:99.2.0.255
پروفایل مقادیر متوسط	7,1-0:99.133.0.255
پروفایل مقادیر حداکثر	7,1-0:99.134.0.255
پروفایل مقادیر حداقل	7,1-0:99.135.0.255
پروفایل هارمونیک‌ها	7, 1-0:99.136.0.255
پروفایل بار M-Bus کانال ۱ (کنتور آب)	7,0-1:24.3.0.255
پروفایل بار M-Bus کانال ۲ (کنتور گاز)	7,0-2:24.3.0.255
پروفایل بار M-Bus کانال ۳ (رزرو شده)	7,0-3:24.3.0.255
پروفایل بار M-Bus کانال ۴ (کنتور آبیاری)	7,0-4:24.3.0.255

هم‌چنین دو پروفایل بازخوانی برای مقادیر لحظه‌ای انرژی و کیفیت توان در زمان خواندن از طریق درگاه محلی (نوری) در نظر گرفته شده است:

- مقادیر لحظه‌ای انرژی (7, 0-0:21.0.6.255)
- مقادیر لحظه‌ای کیفیت توان (7, 0-0:21.0.5.255)

۲-۲-۵-۱- ساختار پروفایل

تمام پروفایل‌های بار دارای ساختار یکسانی هستند. رجیسترهای مختلف را می‌توان توسط هر COSEM object پروفایل بار، از جمله زمان ثبت (به‌عنوان برچسب زمانی[1]) و وضعیت آن‌ها ذخیره کرد. جدول ۲-۹ نمایان‌گر ساختار یک پروفایل بار است.

[1] Time Stamp

جدول ۲-۹- ساختار پروفایل بار در کنتورهای فهام [۳۵]

Time Stamp (Clock)	Status (Profile Status)	Value 1 (Register 1)	Value 2 (Register 2)	....	Value "n" (Register "n")
1394-08-12/00:15:00	08	1234567	4567	....	34567
1394-08-12/00:30:00	08	1234589	4580	....	34590
1394-08-12/00:45:00	08	1234599	4590	....	34625
....					

۲-۲-۵-۲- دوره‌ی تناوب ذخیره‌سازی

دوره‌ی تناوب[1] ذخیره‌سازی توسط ساعت داخلی کنتور کنترل شده، و با زمان داخلی همگام‌سازی می‌شود. ذخیره‌سازی همیشه در ابتدای هر ساعت شروع می‌شود (به‌عنوان مثال دوره‌های تناوب ۱۵ دقیقه‌ای از ساعت ۱۰:۰۰، ۱۰:۱۵، ۱۰:۳۰، ۱۰:۴۵، ۱۱:۰۰، ۱۱:۱۵ و غیره شروع می‌شوند).

دوره‌ی تناوب را می‌توان بین ۰، ۶۰، ۳۰۰، ۶۰۰، ۹۰۰، ۱۸۰۰، ۳۶۰۰ یا ۸۶۴۰۰ ثانیه انتخاب کرد. اگر دوره‌ی تناوب روی صفر تنظیم شود، ذخیره‌ی منظم متوقف می شود و باید از یک منبع خارجی ا ستفاده شود. دوره‌ی تناوب ۸۶۴۰۰ ثانیه یک مورد خاص است. به‌این صورت که مقادیر پروفایل‌ها یک بار در روز به‌طور مثال در نیمه شب (به وقت محلی) ثبت می‌شوند.

زمان ثبت پیش‌فرض در پروفایل بار ۱، مقادیر متوسط، مقادیر حداقل و حداکثر و پروفایل هارمونیک ۱۵ دقیقه است. داده‌ها در این پروفایل‌ها تفکیک‌پذیری[2] بالاتری دارند. بر خلاف پروفایل‌های مذکور، پروفایل بار ۲ تفکیک پذیری کم‌تری دارد. این پروفایل بار روزانه است و زمان ذخیره پیش‌فرض آن ۲۴ ساعت است [۳۵].

۲-۲-۶- قابلیت‌های اندازه‌گیری کنتورهای فهام از منظر پارامترهای کیفیت توان

کنتور باید اطلاعات کیفیت توان را برای سیستم مرکزی ثبت و ارائه کند. این پارامترها بر اساس استاندارد EN50160 تعریف شده‌اند. پارامترهای کیفیت توان قابل‌اندازه‌گیری در کنتورهای فهام شامل موارد زیر است[۳۵].

۲-۲-۶-۱- ولتاژ متوسط

کنتورهای فهام قابلیت اندازه‌گیری ولتاژ متوسط[3] هر فاز را دارد. مقادیر متوسط ولتاژ در COSEM Objects زیر ذخیره می‌شود:

- ولتاژ متوسط فاز L1 (3, 1-0:32.24.0.255)

[1] Capture Period

[2] Resolution

[3] Average voltage

- ولتاژ متوسط فاز L2 (3, 1-0:52.24.0.255)
- ولتاژ متوسط فاز L3 (3, 1-0:72.24.0.255)

پنجره‌ی میانگین‌گیری ولتاژ متوسط، بین ۱ دقیقه تا ۶۰ دقیقه قابل‌تنظیم است، و مقدار پیش‌فرض آن ۱۰ دقیقه است. این مقدار توسط سیستم مرکزی از طریق COSEM Object (3, 1-0:0.8.2.255) تعیین می‌گردد.

۲-۲-۶-۲- افت و افزایش بیش از حد ولتاژ

کنتورهای فهام، افت و افزایش بیش از حد ولتاژ[1] را در تمام مراحل تشخیص می‌دهد. آستانه افت ولتاژ -5% V_{REF} تا -20% V_{REF} و آستانه افزایش بیش از حد ولتاژ از +5% V_{REF} تا +15% V_{REF} است. مقادیر ولتاژ آستانه در COSEM objects زیر ذخیره می‌شود، و می‌توان آن‌ها را از راه دور توسط سیستم مرکزی تنظیم کرد[۳۵].

- آستانه برای افت ولتاژ (3, 1-0:12.31.0.255)
- آستانه برای افزایش ولتاژ (3, 1-0:12.35.0.255)

افت و افزایش بیش از حد ولتاژ، در صورتی که زمان رخداد از زمان آستانه تعیین‌شده توسط سیستم مرکزی بیش‌تر شود، ثبت می شود. آ ستانه‌ی زمان برای افت و افزایش بیش از حد ولتاژ بین ۱ ثانیه تا ۱۴۴۰ ثانیه و مقدار پیش‌فرض ۱۸۰ ثانیه است. از طریق COSEM objects زیر، زمان آستانه قابل‌تنظیم است:

- آستانه زمان برای افزایش بیش از حد ولتاژ (3, 1-0:12.44.0.255)
- آستانه زمان برای افت بیش از حد ولتاژ (3, 1-0:12.43.0.255)

تعداد کل افت و افزایش بیش از حد ولتاژ، مدت زمان آخرین رخداد و اندازه آخرین ولتاژ در COSEM objects اختصاص داده شده زیر ذخیره می‌شود.

- Number of Under Voltage in Phase L1 (1, 1-0:32.32.0.255);
- Number of Under Voltage in Phase L2 (1, 1-0:52.32.0.255);
- Number of Under Voltage in Phase L3 (1, 1-0:72.32.0.255);
- Duration of Last Under Voltage in Phase L1 (3, 1-0:32.33.0.255);
- Duration of Last Under Voltage in Phase L2 (3, 1-0:52.33.0.255);
- Duration of Last Under Voltage in Phase L3 (3, 1-0:72.33.0.255);

[1] Under/Over Voltage

- Magnitude of Last Under Voltage in Phase L1 (3, 1-0:32.34.0.255);
- Magnitude of Last Under Voltage in Phase L2 (3, 1-0:52.34.0.255);
- Magnitude of Last Under Voltage in Phase L3 (3, 1-0:72.34.0.255);
- Number of Over Voltage in Phase L1 (1, 1-0:32.36.0.255);
- Number of Over Voltage in Phase L2 (1, 1-0:52.36.0.255);
- Number of Over Voltage in Phase L3 (1, 1-0:72.36.0.255);
- Duration of Last Over Voltage in Phase L1 (3, 1-0:32.37.0.255);
- Duration of Last Over Voltage in Phase L2 (3, 1-0:52.37.0.255);
- Duration of Last Over Voltage in Phase L3 (3, 1-0:72.37.0.255);
- Magnitude of Last Over Voltage in Phase L1 (3, 1-0:32.38.0.255);
- Magnitude of Last Over Voltage in Phase L2 (3, 1-0:52.38.0.255);
- Magnitude of Last Over Voltage in Phase L3 (3, 1-0:72.38.0.255);

۲-۲-۶-۳- برش ولتاژ[1] (از دست دادن ولتاژ[2])

اگر ولتاژ به زیر "آستانه‌ی کاهش ولتاژ" برسد و برای مدتی برابر با "زمان آستانه‌ی کاهش ولتاژ" ادامه یابد، وضعیت به‌عنوان از دست دادن ولتاژ در نظر گرفته می شود، و یک رویداد ثبت می شود (کد رویداد ۸۲، ۸۳ و ۸۴ برای L1، به‌ترتیب L2 و L3). آستانه‌ی قطع ولتاژ توسط سیستم مرکزی قابل‌تنظیم است. مقدار پیش‌فرض برای کنتورهای CT/PT، VREF 30%- و برای کنتورهای CT، VREF 50%- است. آستانه‌ی زمان برای قطع ولتاژ بین ۱ ثانیه تا ۳۰ ثانیه است، و مقدار پیش‌فرض ۳۰ ثانیه است. این موارد از طریق COSEM objects زیر قابل‌تنظیم است.

- Threshold for Missing Voltage (Voltage Cut) (3, 1-0:12.39.0.255);
- Time Threshold for Voltage Cut (3, 1-0:12.45.0.255);

۲-۲-۶-۴- اندازه‌گیری هارمونیک

در کنتورهای سه‌فاز CT و CT/PT، هارمونیک‌ها و THD جریان و ولتاژ سه‌فاز قابل‌اندازه‌گیری است. این کنتورها قابلیت اندازه‌گیری هارمونیک‌های فرد ۳ تا ۱۳ را دارند.

[1] Voltage cut

[2] Missing voltage

۲-۲-۶-۵- فرورفتگی و برآمدگی ولتاژ

کنتورهای فهام، همانند اندازه‌گیری افت و افزایش بیش از حد ولتاژ، قابلیت اندازه‌گیری فرورفتگی و برآمدگی ولتاژ را نیز دارند. مقادیر ولتاژ و زمان آستانه در COSEM objects زیر ثبت می‌شود و می‌توان آن‌ها را از راه دور توسط سیستم مرکزی تنظیم کرد.

- Threshold for voltage sag (1-0:12.31.0.255)
- Time threshold for voltage sag (1-0:12.43.0.255)
- Threshold for voltage swell (1-0:12.35.0.255)
- Time threshold for voltage swell (1-0:12.44.0.255)

۲-۲-۶-۶- وقفه

کنتورهای فهام باید قابلیت شناسایی و ثبت وقفه[1]/ قطع برق[2] را داشته باشند. وقفه هنگامی اتفاق می‌افتد که ولتاژ در فاز(ها) از بین برود. ولتاژ آستانه بر اساس آستانه برش ولتاژ است. سه نوع وقفه در کنتورهای فهام تعریف می‌شود:

- وقفه کوتاه‌مدت[3]
- وقفه بلندمدت[4]
- خاموشی کل[5]

وقفه کم‌تر از مدت زمان "T" ثانیه عنوان به "وقفه کوتاه‌مدت" در نظر گرفته می‌شود و بیش‌تر از آن "وقفه بلندمدت" نامیده می شود. T قابل‌تنظیم است و مقدار پیش‌فرض آن ۱۸۰ ثانیه است. این مقدار باید توسط سیستم مرکزی قابل‌تنظیم باشد. قطع برق در تمام فازها "خاموشی کل"در نظر گرفته شده است.

- Time Threshold for Long Power Failure (3, 0-0:96.7.20.255)

اطلاعات مختلفی از وقایع خاموشی در کنتورها ذخیره می‌شود. این مقادیر در COSEM objects زیر ثبت می‌شود:

- Number of Short Power Failures in All Phases (1, 0-0:96.7.0.255);
- Number of Short Power Failures in L1 (1, 0-0:96.7.1.255);
- Number of Short Power Failures in L2 (1, 0-0:96.7.2.255);
- Number of Short Power Failures in L3 (1, 0-0:96.7.3.255);
- Number of Short Power Failure in Any Phases (1, 0-0:96.7.21.255);

[1] Interruption

[2] Power Failure

[3] Short Power Failure/Interruption

[4] Long Power Failure/Interruption

[5] Power Down

- Number of Long Power Failures in All Phases (1, 0-0:96.7.5.255);
- Number of Long Power Failures in Phase L1 (1, 0-0:96.7.6.255);
- Number of Long Power Failure in Phase L2 (1, 0-0:96.7.7.255);
- Number of Long Power Failure in Phase L3 (1, 0-0:96.7.8.255);
- Number of Long Power Failure in Any Phase (1, 0-0:96.7.9.255);
- Duration of Last Long Power Failure in All Phases (3, 0-0:96.7.15.255);
- Duration of Last Long Power Failure in Phase L1 (3, 0-0:96.7.16.255);
- Duration of Last Long Power Failure in Phase L2 (3, 0-0:96.7.17.255);
- Duration of Last Long Power Failure in Phase L3 (3, 0-0:96.7.18.255);
- Duration of Last Long Power Failure in Any Phase (3, 0-0:96.7.19.255);

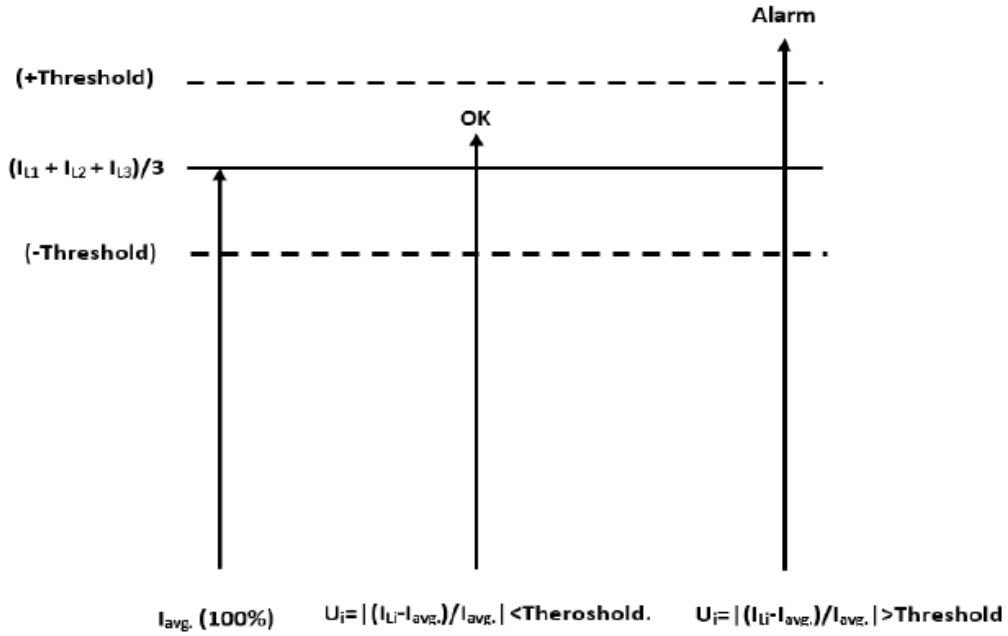
۲-۲-۶-۷- نامتعادلی جریان

عدم تعادل بار باید توسط کنتورهای فهام تشخیص داده شود. وضعیت عدم تعادل بار شرایطی است که مقدار فعلی بار در حداقل یک فاز بیشتر از حداقل مقدار جریان[1] باشد (به عنوان پیش شرط شروع فرآیند تشخیص عدم تعادل بار) و حداقل یک جریان فاز از میانگین جریان سه فاز، بیشتر از مقدار تعریف‌شده آستانه[2] منحرف شود. شکل ... شرایط نامتعادلی جریان سه‌فاز کنتور را نشان می‌دهد.

حداقل جریان در فازها (برای شروع فرایند تشخیص عدم تقارن) به آمپر و مقدار آستانه برای تشخیص عدم تقارن به درصد را می توان به عنوان پارامترهای تشخیص عدم تعادل بار تنظیم کرد. پارامترهای تنظیم در این COSEM object به شرح زیر است:

- Minimum Current (A);
- Unbalance Threshold (%);

[1] minimum current
[2] Unbalance Threshold



شکل ۲-۳- شرایط نامتعادلی جریان در کنتورهای فهام

۲-۲-۶-۸-جمع‌بندی

براساس اسناد FID2، قابلیت کنتورهای مختلف فهام برای اندازه‌گیری پارامترهای کیفیت توان به‌صورت جدول ۲-۱۰ است.

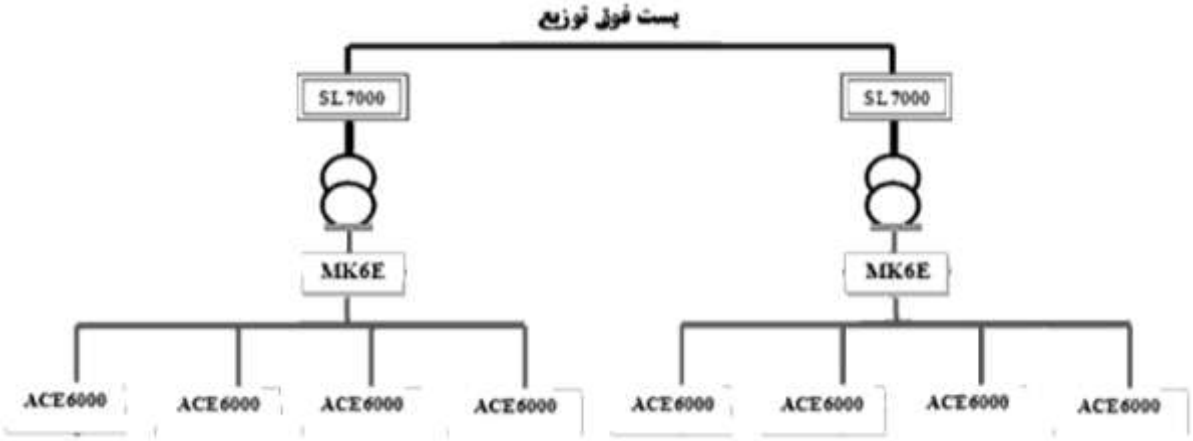
جدول ۲-۱۰- قابلیت کنتورهای مختلف فهام از منظر اندازه‌گیری پارامترهای کیفیت توان

دسته‌بندی	نوع کنتور				بازه‌ی مدت زمان آستانه (پیش‌فرض)	آستانه‌ی کمیت پدیده کیفیت توان (پیش‌فرض)
	3P-CT	3P-CT/PT	3P-DC	1P-DC		
فرورفتگی ولتاژ	✓	✓	✓	✓	بیش‌تر از ۱ ثانیه (۱۸۰ ثانیه)	قابل‌تنظیم ($-20\% V_{REF}$)
برآمدگی ولتاژ	✓	✓	✓	✓	بیش‌تر از ۱ ثانیه (۱۸۰ ثانیه)	قابل‌تنظیم ($+15\% V_{REF}$)
افت ولتاژ	✓	✓	✓	✓	بیش‌تر از ۱ ثانیه تا ۱۴۴۰ ثانیه (۱۸۰ ثانیه)	قابل‌تنظیم ($-20\% V_{REF}$)
افزایش ولتاژ	✓	✓	✓	✓	بیش‌تر از ۱ ثانیه تا ۱۴۴۰ ثانیه(۱۸۰ ثانیه)	قابل‌تنظیم ($+15\% V_{REF}$)
برش ولتاژ	✓	✓	✓	✓	۱ تا ۳۰ ثانیه (۳۰ ثانیه)	قابل تنظیم ($-30\%V_{REF}$ for CT/PT meters and $-50\%V_{REF}$ for CT Meters)
وقفه	✓	✓	✓	✓	از ۱ تا ۶۰ دقیقه (۳ دقیقه)	بر اساس آستانه‌ی برش ولتاژ
عدم‌تعادل جریان	✓	✓	✓	×	حالت پایدار	قابل تنظیم (50%)
هارمونیک	✓	✓	×	×	حالت پایدار	اندازه‌گیری مؤلفه‌های فرد ۳ تا ۱۳ هارمونیک جریان و ولتاژ
نوسانات فرکانس	✓	✓	✓	×	حالت پایدار	-

۲-۳- بررسی کنتورهای فوق‌توزیع

در حال حاضر، در اکثر پست‌های فوق‌توزیع، از کنتورهای MK6E، ACE6000، SL7000 استفاده شده است[۳۷]. در شکل ۲-۳، محل نصب کنتورهای مذکور در یک پست نمونه‌ی فوق‌توزیع آورده شده است. با توجه به اینکه کنتورهای SL7000 در بخش انتقال قرار دارند، نیازی به استفاده از اطلاعات این کنتورها برای پایش کیفیت توان شرکت‌های توزیع احساس نمی‌شود.

کنتورهای MK6E با سامانه مدیریت سنجش و پایش انرژی و بازار برق ارتباط دارند. در این راستا، می‌توان از اطلاعات به‌دست آمده از این کنتورها، اطلاعات مفیدی در رابطه با کیفیت توان فیدرهای توزیع به‌دست آورد. علاوه بر این کنتورها، کنتورهای ACE6000 که در ابتدای فیدرهای توزیع قرار گرفته‌اند، اطلاعات مفیدی در مورد کیفیت توان خطوط مختلف ارائه می‌دهد.



شکل ۲-۴- محل نصب کنتورهای بازار برق [۳۷]

۲-۳-۱- کنتور ACE6000

کنتور ACE6000 ساخت کمپانی Itron فرانسه است. این کنتور قابلیت اندازه‌گیری پارامترهای لحظه‌ای کیفیت توان و انرژی را داراست. شمای کنتور ACE6000 در شکل ۲-۴ و مشخصات اصلی آن به‌صورت خلاصه در جدول ۲-۱۱ آمده است.



شکل ۲-۵- کنتور ACE6000

جدول ۲-۱۱- مشخصات اصلی کنتور ACE6000 [۳۸]

TECHNICAL SPECIFICATIONS	DESCRIPTION
RATINGS	VOLTAGE: 3*57.7/100V UP TO 3*277/480V AUTO DIRECT CURRENT: IB 5A, IMAX 100A CT/CONNECTION: IB 1A, IMAX 10A
NETWORK TYPES	DIRECT CONNECTION: 4-WIRE METER, FULLY OPERATIONAL IN 3-WIRE CONNECTION WITHOUT NEUTRAL C/T, V/T CONNECTION: 3- AND 4-WIRE CONFIGURABLE CONNECTIONS
ACCURACY	DIRECT CONNECTED: ACTIVE ENERGY MID: CLASS B TRANSFORMER CONNECTED: ACTIVE ENERGY CLASS 0.5S & MID: CLASS B REACTIVE ENERGY: CLASS 2 OR CLASS C
FREQUENCY	50 / 60 HZ
OPERATING TEMPERATURE RANGE	-40°C TO +70°C (SPECIFIC VARIANT FOR HIGH TEMPERATURE OPERATING CONDITIONS
STANDARDS	FULL COMPLIANCE WITH MID STANDARD EN50470-1 AND EN50470-3 AND CE MARKING STANDARDS
CONNECTING TO METERS	OPTICAL HEAD CONNECTION MODEM CONNECTION

	SERIAL CONNECTION (RS232C OR RS485 DLMS-COSEM)
UTILITY SOFTWARE	ACE PILOT
LOAD PROFILES	UP TO 16 CHANNELS FOR VARIOUS BASE QUANTITIES INTO TWO INDEPENDENT PROFILES

هم‌چنین قابلیت‌های اندازه‌گیری پارامترهای کیفیت توان کنتور به‌شرح زیر است:

۲-۳-۱-۱- اضافه جریان[1]

کنتور در هر ثانیه یک‌بار مقدار جریان لحظه‌ای هر فاز را محاسبه می‌کند. بسته به نوع کنتور، در صورت عبور از مقدار آستانه، می‌توان وضعیت جریان اضافی را گزارش داد. دو پارامتر زمان آستانه‌ی اضافه جریان (بر اساس دقیقه) و آستانه‌ی اضافه جریان، توسط کاربر تنظیم می‌شود.

۲-۳-۱-۲- برش ولتاژ

در تمام کنتورها، اگر ولتاژ ورودی به زیر مقدار آستانه شروع قطع (پایین) برود، برش ولتاژ تشخیص داده می‌شود، و تا زمانی که ولتاژ بالاتر از مقدار آستانه‌ی پایان قطع برود، ادامه می‌یابد.

۲-۳-۱-۳- قطع توان[2]

کنتور هنگام برش ولتاژ هر سه‌فاز ورودی، قطعی را تشخیص می‌دهد. این پارامتر به دو صورت بلندمدت و کوتاه مدت تعریف می‌شود. زمان قطعی بلندمدت بین ۰ تا ۲۵۵ ثانیه قابل‌تنظیم است.

۲-۳-۱-۴- فرورفتگی ولتاژ

در کنتور ۴ سیم[3] که مجهز به قابلیت ارزیابی کیفیت توان است، در صورتی که ولتاژ به زیر مقدار آستانه برسد، فرورفتگی ولتاژ تشخیص داده می‌شود. زمانی که ولتاژ از مقدار آستانه‌ی پایان فرورفتگی ولتاژ بیش‌تر شود، این رخداد متوقف می‌شود [۳۸].

[1] Excess Current

[2] Power failure

[3] Four wired meter

۲-۳-۱-۵- برآمدگی ولتاژ

در کنتور ۴ سیم که مجهز به گزینه کیفیت توان است، در صورتی که ولتاژ به بالای مقدار آستانه برسد، برآمدگی ولتاژ تشخیص داده می شود. زمانی که ولتاژ از مقدار آستانه‌ی پایان برآمدگی ولتاژ کم‌تر شود، این رخداد متوقف می شود.

۲-۳-۱-۶- THD

بسته به نوع کنتور، می‌توان کنتور را برای محاسبه THD ولتاژ و جریان هر فاز پیکربندی کرد. با این حال، ویژگی THD تنها درصورتی موجود است که کنتور ۴ سیم باشد و قابلیت ارزیابی کیفیت توان در زمان تولید ایجاد شده باشد.

۲-۳-۲- کنتور MK6E

در حال حاضر، در اکثر پست‌های فوق‌توزیع، از اطلاعات به‌دست آمده از کنتور MK6E در بازار برق استفاده می‌شود. کنتورهای MK6E با سامانه‌ی مدیریت سنجش و پایش انرژی ارتباط دارند. در این راستا، می‌توان از داده‌های به‌دست آمده از این کنتورها اطلاعات مفیدی در رابطه با کیفیت توان بخش فوق‌توزیع به‌دست آورد.

کنتور MK6E ساخت کمپانی EDMI مدل ارتقاء یافته‌ی کنتور MK6 است. این کنتور برای سطوح بالای شبکه در نظر گرفته شده است. شکل ۲-۵ ساختار ظاهری کنتور MK6E را نشان می‌دهد.کاربرد این کنتور عموماً در بخش تولید، انتقال و مصرف‌کنندگان بزرگ است. MK6E یک کنتور سه‌فاز هوشمند با سطح دقت اندازه‌گیری بالا است. این کنتور اساساً انرژی سنجی است که کمیت‌های اساسی Wh، VARh و VAh را اندازه‌گیری می‌کند [۳۹]. مشخصات اصلی کنتور MK6E به‌صورت خلاصه در جدول ۲-۱۲ آمده است.



شکل ۲-۶- کنتور MK6E

جدول ۲-۱۲- مشخصات اصلی کنتور MK6E [۳۹]

مشخصه‌های اصلی	توضیحات
کلاس دقت اندازه‌گیری	CLASS 0.2S AND CLASS 0.5S بر اساس استانداردهای IEC 62052-11, 62053-22
ولتاژ نامی (فاز به زمین)	57V - 240V
فرکانس کاری	45HZ - 65HZ
ورودی - خروجی	حداکثر ۱۰ ورودی و خروجی، زمین مشترک مستقل با سطح ایزوله 4KV
نرم‌افزار اختصاصی	EZIVIEW WINDOWS® SOFTWARE
پروتکل‌های قابل پشتیبانی	EDMI COMMAND LINE MODBUS DNP3 LEVEL 2 IEC 870-5-102 DL/T 645-2007 DLMS
نوع باتری	لیتیومی 1200MAH و 3.6V

۲-۳-۲-۱- معرفی نرم‌افزار EziView

EziView یا برنامه پیکربندی کنتور، یک نرم‌افزار ۳۲ بیتی ویندوز است، که توسط EDMI نوشته شده است. EziView برنامه کاربرپسندی است که برای پیکربندی و بازیابی داده‌های کنتورهای انرژی EDMI استفاده می‌شود. این نرم‌افزار، توانایی ردیابی و مدیریت انواع کنتورهای کمپانی EDMI به‌صورت محلی و یا از راه دور را دارد. در این بخش منظور از "نرم‌افزار"، برنامه کاربری (EziView) مربوط به تنظیمات کنتورهای کمپانی EDMI است [۳۹].

از طریق نرم‌افزار کاربری، ارتباط با کنتور راحت‌تر و سریع‌تر برقرار می‌شود. نرم‌افزار امکان دسترسی به رجیسترهای کنتور را ایجاد می‌کند. این نرم‌افزار امکان مشاهده‌ی شکل موج داده‌های لحظه‌ای، تغییر تنظیمات کنتور، ایجاد پروفایل های موردنیاز بهره‌بردار، خواندن و نوشتن اطلاعات و دیگر کاربردهای مفید را دارد. قابلیت‌های مهم نرم‌افزار به شرح زیر است:

- امکان مدیریت داده‌ها به‌صورت دستی و اتوماتیک
- امکان ارسال داده‌ی مراکز ذخیره‌سازی با قالب‌های OLEDB[1]/ODBC[2]
- تنظیم آسان توابع عملیاتی معمول، مانند افزودن و تغییر سایت کنتور، خواندن فایل‌ها و برنامه‌ها
- نمایش مقادیر اندازه‌گیری‌شده مانند ولتاژ، جریان، ضریب توان، هشدارها به‌صورت زمان واقعی
- نمایش داده‌های کیفیت توان مانند شکل موج و هارمونیک‌ها به‌صورت زمان واقعی
- امکان دسترسی چندین کاربر با سطح دسترسی متفاوت و تعریف‌شده
- امکان ارتباط از طریق بسترهای TCP/IP، UDP/IP، RS485/232، PLC، GSM/GPRS

۲-۳-۲-۲- معرفی ویژگی‌های رجیستر در کنتورهای MK6E

کنتور هوشمند قادر است اطلاعات زیادی را ذخیره کند. برای یافتن اطلاعات خاصی لازم است راهی برای مراجعه به آن‌ها وجود داشته باشد. هر یک از اطلاعات موجود در کنتور در یک رجیستر ذخیره می‌شود و هر رجیستر یک شماره (آدرس) دارد. درک اساسی از کاربرد و نحوه‌ی ارتباط با رجیسترها، از آن جا که بیش‌تر کارکردهای کنتور بر اساس رجیسترها است، ضروری است[۵],[۶].

هر رجیستر، علاوه بر مقدار ذخیره شده در آن، ویژگی مختلفی نیز دارد. این ویژگی‌ها شامل نوع و واحد رجیستر و تعلق به گروه امنیتی مشخصی است. رجیسترها را می‌توان برای بازیابی مقدار فعلی آن‌ها (به‌عنوان مثال نمایش ولتاژ روی LCD) خواند، یا برای ذخیره، مقدار جدیدی بر روی آن‌ها نوشت (برای مثال تنظیم زمان).

- **شماره‌ی رجیستر**

شماره یا آدرس رجیستر به‌عنوان یک عدد در پایه‌ی ۱۶ نشان داده می شود. در حالی‌که اعداد در پایه‌ی ۱۰ از ۰ تا ۹ شمرده می‌شوند، اعداد در پایه‌ی ۱۶ از ۰ تا ۹ و سپس A تا F شمرده می‌شوند. آدرس کامل رجیستر ۸ رقم (۳۲ بیت) است. هرجا که یک عدد ۴ رقمی ذکر شده باشد، چهار رقم اول صفر فرض می شود. به‌عنوان مثال، E000 در واقع 0000E000 است. اعداد ۴ رقمی برای راحتی استفاده می‌شوند، زیرا بیش‌تر رجیسترهای رایج در این گروه قرار می‌گیرند [۴۰].

- **واحد رجیستر**

یکی از ویژگی‌های رجیسترها، واحد اطلاعات داخل رجیستر است. اگرچه بسیاری از آن‌ها هیچ واحدی ندارند. این موارد، هنگام انتخاب روی LCD کنتور نمایش داده می شوند. برای مشخص کردن واحد رجیستر، از یک حرف بزرگ انگلیسی استفاده می‌شود. جدول ۲-۱۳ نماد اختصاری هر واحد رجیستر را نشان می‌دهد.

[1] Object Linking and Embedding, Database

[2] Open Database Connectivity

جدول ۲-۱۳- نماد اختصاری واحد رجیسترهای MK6E [۴۰]

Unit Code	Displayed Unit	Measurement Unit
A	A	Amps
B	l/h	Litres per hour
D	Deg	Angle in degrees
G	m^3/h	Cubic meters per hour
H	Hz	Hertz
I	J/h	Joules per hour
J	J	Joules
L	l	Litres
M	Mins	Minutes
N		No unit
O	m^3	Cubic meters
P	%	Percent
Q	lead or lag	Power Factor
R	var	vars
S	VA	VA
T	s	Seconds
U		Unknown
V	V	Volts
W	W	Watts
X	Wh	Watt hours
Y	Wh	varh
Z	VAh	VAh

- **نوع رجیستر**

نوع رجیستر اطلاعاتی را در مورد نوع داده‌ای که می‌تواند ذخیره کند، ارائه می‌دهد. برای شناسایی آن، از حرف بزرگ انگلیسی استفاده می شود. به‌عنوان مثال، نوع C یک عدد صحیح ۸ بیتی است، که می‌تواند مقادیر ۰ تا ۲۵۵ را ذخیره کند.

- **گروه امنیتی رجیستر**

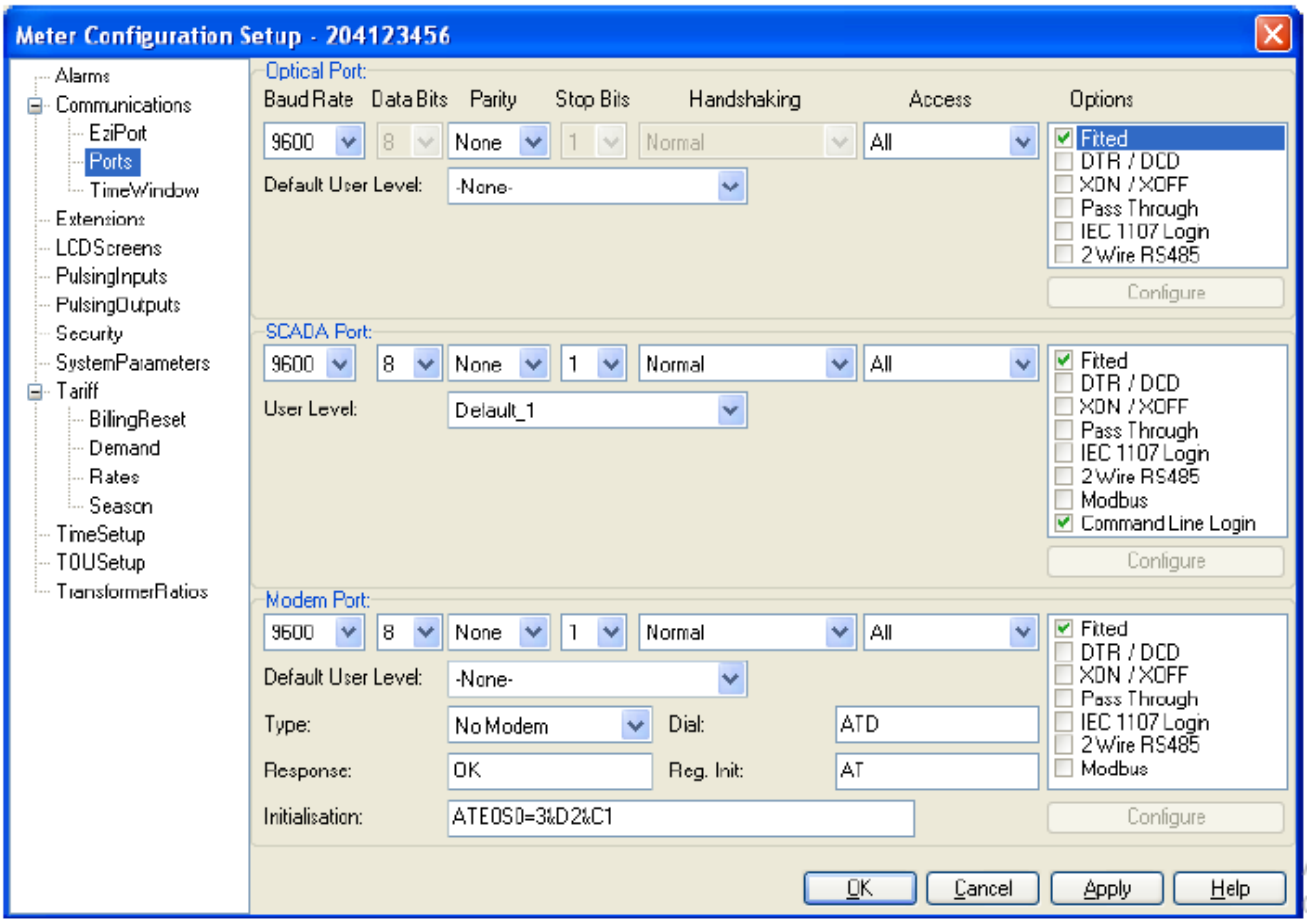
هر رجیستر به یکی از ۲۵۶ گروه امنیتی موجود تعلق دارد. دسترسی به یک رجیستر فقط درصورتی مجاز است که که کاربر برای انجام عملیات درخواستی به آن گروه دسترسی داشته باشد. علاوه براین، از طریق جامپر روی کنتور و بعضی ازکدها می‌توان رجیسترهای متعلق به گروه‌های امنیتی خاص را قفل کرد [۴۰].

۲-۳-۲-۳- درگاه‌های ارتباطی کنتور MK6E

این بخش شامل تنظیمات ارتباط سریال در کنتور است.

- **درگاه ارتباطی نوری**

درگاه ارتباطی نوری در جلوی کنتور را می‌توان با پورت ا ستاندارد FLAG یا ANSI سفارش داد. پروتکل ارتباطی در هر دو حالت EDMI اســـت، که می‌توان از طریق درگاه نوری با کامپیوتر ارتباط برقرار کرد. شـــکل ۲-۶ جزئیات تنظیمات درگاه ارتباط نوری را در نرم‌افزار EziView به نمایش می‌گذارد [۳۹].



شکل ۲-۷- صفحه‌ی مربوط به درگاه‌های ارتباطی نرم‌افزار EziView [۳۹]

- **درگاه مودم**

درگاه مودم کنتور، با پورت RS-485 و RS-232 سازگار است. برای اتصال مودم، پروتکل RS-232 استفاده شده است. با توجه به این که سیگنال دست‌دهی[1] وجود ندارد، نمی‌توان از پروتکل RS-485 بدین منظور استفاده کرد. پورت

[1] Handshaking

RS-485 به‌منظور اتصال موازی چند کنتور به‌صورت هم‌زمان استفاده می‌شود. باید توجه داشت که در اتصال مذکور، تنها می‌توان با یک کنتور در هر لحظه ارتباط برقرار کرد. استاندارد RS-485 در کنتورهای EDMI به‌صورت دو سیم و چهار سیم قابل‌استفاده هستند [۳۹].

- **درگاه اسکادا**

درگاه اسکادا[1] در Mk6E یک پورت دسترسی اضافی است، که با اضافه کردن کارت اسکادا، قابلیت ارتباط برقرار می‌شود. هنگامی که درگاه مودم به‌عنوان درگاه RS-232 نصب می‌شود (برای کنترل مودم مورد استفاده قرار می‌گیرد) می‌توان از بستر RS-485 برای درگاه اسکادا استفاده کرد.

پورت اسکادا در دو حالت مجزا کار می‌کند. اولین حالت، حالت ورود به سیستم خط فرمان[2] است که امکان دسترسی عادی به کنتور از طریق ورود کاربر را فراهم می‌کند. حالت دوم، EziPort است، که فقط انتقال داده را میسر می‌کند. مقادیر رجیسترهای از قبل برنامه‌ریزی شده به‌طور مداوم از طریق این درگاه منتقل می‌شود، تا توسط سیستم اسکادا خوانده شود [۳۹].

۲-۳-۲-۴- سیستم امنیت کنتور MK6E

سیستم‌های امنیتی کنتور و EziView امکان کنترل دقیق افرادی را که مجاز به انجام کار با کنتور هستند فراهم می‌کند. هر کاربر نام کاربری و رمز ورود مختص خود را دارد. سه نوع سطح دسترسی برای کاربران در کنتور تعریف شده است. ۱- فقط خواندن[3]، ۲-خواندن و نوشتن[4]، ۳- خواندن، نوشتن و اعمال تغییرات[5].

۲-۳-۲-۵- قابلیت‌های اندازه‌گیری MK6E از منظر پارامترهای کیفیت توان

- **اندازه‌گیری‌های لحظه‌ای**

کنتور MK6E قابلیت اندازه‌گیری کمیت‌های نظیر جریان و ولتاژ لحظه‌ای را دارد. این اندازه‌گیری با فاصله‌های زمانی مختلفی قابل‌اجرا است. جدول ۲-۱۴رجیسترهای کمیت‌های اندازه‌گیری‌شده را مشخص می‌کند. مقادیر x نشان دهنده نوع اندازه‌گیری است. مقادیر ممکن x به‌صورت زیر است [۴۰].

0: Instantaneous readings (1 second average).
1: Fast Instantaneous readings (5 cycle average).

---

[1] SCADA (Supervisory control and data acquisition)

[2] Command Line Login Mode

[3] Read only

[4] Read and write

[5] Read and write and modify

3: Average(Mean) reading over the gated interval.

جدول ۲-۱۴- رجیسترهای اندازه‌گیری‌های لحظه‌ای MK6E [۶]

Register (Hex)	Register Function
Ex00	Phase A voltage
Ex01	Phase B voltage
Ex02	Phase C voltage
Ex04	Phase A voltage offset
Ex05	Phase B voltage offset
Ex06	Phase C voltage offset
Ex10	Phase A current
Ex11	Phase B current
Ex12	Phase C current
Ex14	Phase A current offset
Ex15	Phase B current offset
Ex16	Phase C current offset
Ex20	Phase angle of A Phase (in degrees, +=lead, -=lag)
Ex21	Phase angle of B Phase (in degrees, +=lead, -=lag)
Ex22	Phase angle of C Phase (in degrees, +=lead, -=lag)
Ex26	Power factor
Ex27	Absolute angle of A Phase Current
Ex28	Absolute angle of B Phase Current
Ex29	Absolute angle of C Phase Current
Ex2A	Absolute angle of A Phase Voltage
Ex2B	Absolute angle of B Phase Voltage
Ex2C	Absolute angle of C Phase Voltage
Ex30	A phase active total power (watts)
Ex31	B phase active total power (watts)
Ex32	C phase active total power (watts)
Ex33	Total active fundamental power (watts)
Ex40	A phase reactive power (VArs)
Ex41	B phase reactive power (VArs)
Ex42	C phase reactive power (VArs)
Ex43	Total reactive power (Vars)
Ex50	A phase apparent power (VA)
Ex51	B phase apparent power (VA)
Ex52	C phase apparent power (VA)
Ex53	Total apparent power (VA)
Ex60	Frequency

- **اندازه‌گیری پارامترهای کیفیت توان**

اندازه‌گیری پارامترهای کیفیت توان در کنتورهای Mk6E و Mk6 v2.0 و بالاتر موجود اســـت. جدول ۲-۱۵ رجیسترهای پارامترهای کیفیت توان اندازه‌گیری شده را مشخص می‌کند.

جدول ۲-۱۵- رجیسترهای کیفیت توان MK6E [۴۰]

Register (Hex)	Register Function
Ex07	Phase A fundamental voltage
Ex08	Phase A fundamental voltage
Ex09	Phase A fundamental voltage
Ex0A	Phase A voltage 100*(RMS-Fund)/(Fund)
Ex0B	Phase A voltage 100*(RMS-Fund)/(Fund)
Ex0C	Phase A voltage 100*(RMS-Fund)/(Fund)
Ex0D	Voltage Zero Sequence
Ex0E	Voltage Positive Sequence
Ex0F	Voltage Negative Sequence
Ex17	Phase A fundamental current
Ex18	Phase A fundamental current
Ex19	Phase A fundamental current
Ex1A	Phase A current 100*(RMS-Fund)/(Fund)
Ex1B	Phase A current 100*(RMS-Fund)/(Fund)
Ex1C	Phase A current 100*(RMS-Fund)/(Fund)
Ex1D	Current Zero Sequence
Ex1E	Current Positive Sequence
Ex1F	Current Negative Sequence

کنتور MK6E علاوه بر جدول ۲-۱۵، قابلیت اندازه‌گیری هارمونیک های جریان و ولتاژ هر فاز را دارد. جدول ۲-۱۶ رجیسترهای مذکور را نشان می‌دهد. مقادیر نسبت داده شده به x اعداد ۰ تا ۵ هستند، که به ترتیب جریان فاز A، جریان فاز B، جریان فاز C، ولتاژ فاز A، ولتاژ فاز B و ولتاژ فاز C را نشان می‌دهند.

جدول ۲-۱۶- رجیسترهای هارمونیک جریان و ولتاژ MK6E [۴۰]

Register (Hex)	Register Function
9x00	THD (RMS of harmonics / fundamental)
9xyy	Harmonic level in percent. Values of yy from 1 to 32 indicate harmonics from 2 to 50.
9xyy	Harmonic angles in degrees. Values of yy from 81 to B2 indicate harmonics from 2 to 50.

- اندازه‌گیری برآمدگی و فرورفتگی ولتاژ

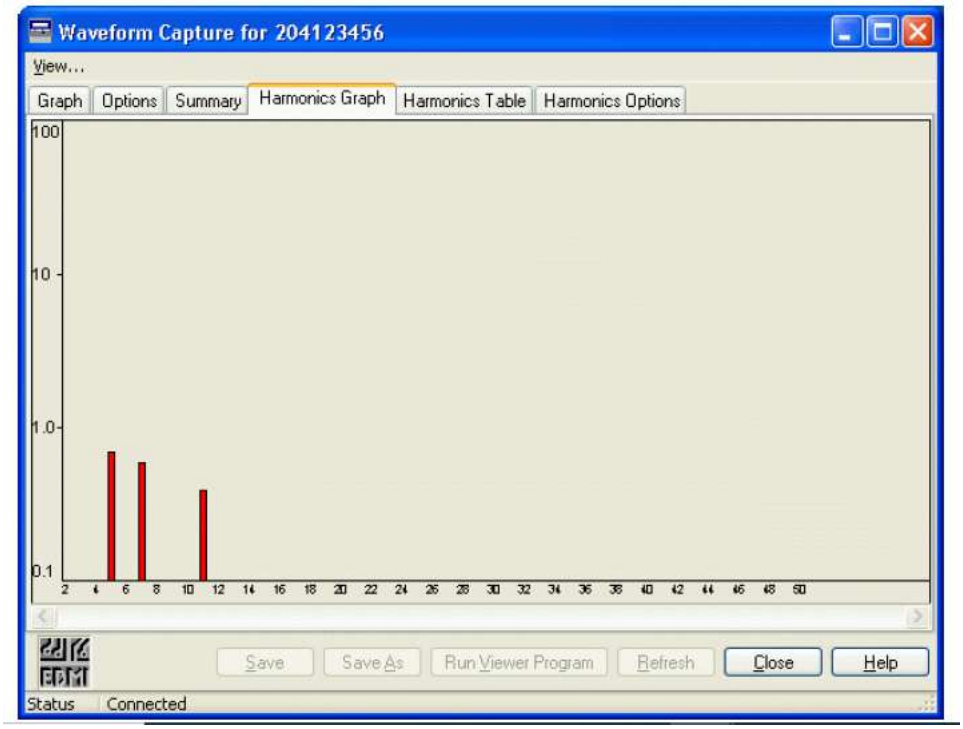
سیستم اندازه‌گیری برآمدگی و فرورفتگی ولتاژ کنتور، افت و افزایش ولتاژ بیش‌تر از مدت زمان ۵ دوره‌ی تناوب را اندازه‌گیری می‌کند. فواصل اندازه‌گیری این سیستم ۵ دوره‌ی تناوب است. در رجیسترهای این سیستم، باید ولتاژ شروع و پایان رخداد، کم‌ترین و بیش‌ترین زمان طول رخداد مشخص شوند. در جدول ۲-۱۷ رجیسترهای سیستم اندازه‌گیری فرورفتگی و برآمدگی ولتاژ آمده است.

جدول ۲-۱۷- رجیسترهای فرورفتگی و برآمدگی ولتاژ MK6E [۴۰]

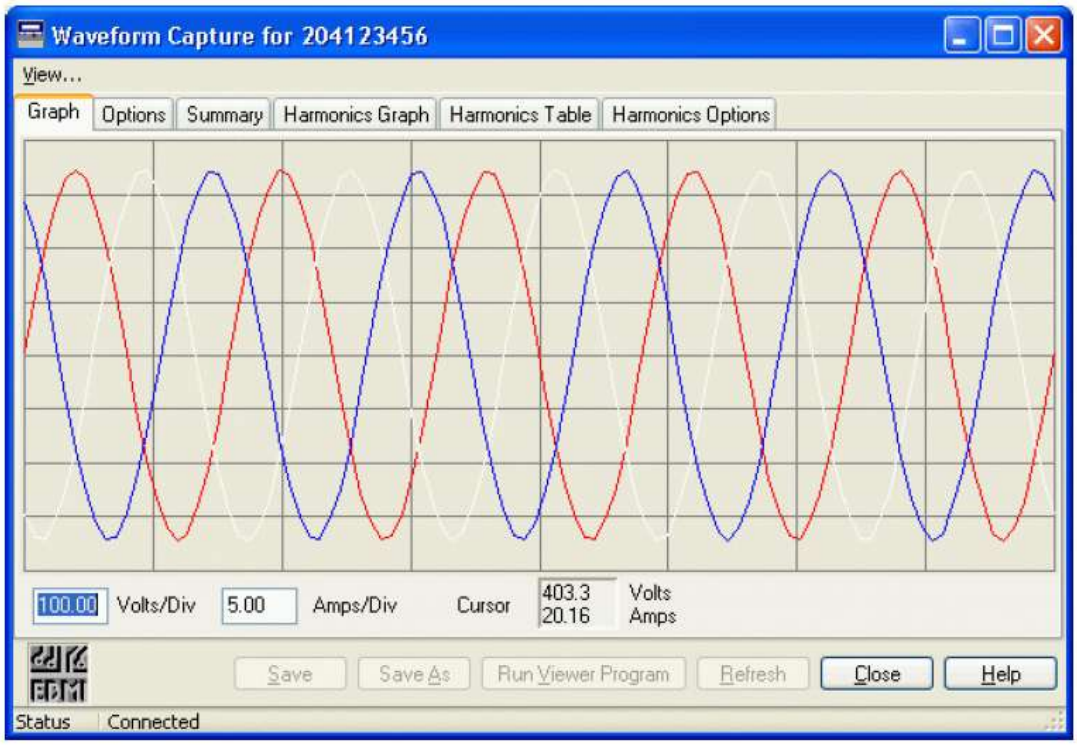
Register (Hex)	Register Function
FCC4	Type of trigger. 0 is the start of a trigger, 1 is the end of a trigger
FCC5	Phase of trigger. 0 to 2 are phases A to C.
FCC6	Worst voltage of the trigger in primary volts.
FCC9	Duration of the trigger in 5 cycle sets.
FCCA	Duration of the trigger in seconds (assuming 50Hz or 60Hz).
FCCB	Trigger set that triggered. 0 to 3. Phase A, 1 phase B, 2 phase C, 3 power outage ۰
FCCD	Start time of the event, calculated from the current time and the event duration assuming 50 or 60Hz. Only valid at the time of the event.
FD00	Start of Sag trip point
FD01	End of Sag trip point
FD02	End of Swell trip point
FD03	Start of Swell trip point
FD10	Minimum duration of trigger for trigger set 0. (in 5 cycle sets)
FD11	Maximum duration of trigger for trigger set 0. (in 5 cycle sets). Set to 0 to disable this trigger set

- شکل موج

یکی از قابلیت‌های جذاب کنتور MK6E، این ا ست که می‌تواند شکل موج اندازه‌گیری‌های لحظه‌ای را ایجاد کند. این ویژگی در نرم‌افزار EziView به‌راحتی قابل‌دسترس است. این قابلیت همانند یک اسیلوسکوپ عمل می‌کند. با ا ستفاده از این ویژگی، نیاز به تجهیزات ا ضافی برای برر سی و عیب‌یابی کنتورها احساس نمی شود. شکل ۲-۷ و ۲-۸ نمایی از نرم‌افزار شامل شکل موج و هارمونیک‌های ولتاژ لحظه‌ای را نشان می‌دهد [۳۹].



شکل ۲-۸- مؤلفه‌های هارمونیک ولتاژ لحظه‌ای در نرم‌افزار EziView



شکل ۲-۹- شکل موج ولتاژ لحظه‌ای در نرم‌افزار EziView

- **هشدارها/EFA**

کنتور انواع شرایط داخلی و خارجی را در طول زمان کنترل می‌کند. در صورت شناسایی هرگونه مشکلی، زنگ هشدار به نام هشدار خرابی تجهیزات[1] یا EFA ایجاد می‌شود. این ساختار برای شناسایی خطاهای اندازه‌گیری، تلاش برای دست‌کاری و خرابی سخت‌افزار، طراحی شده‌اند.

۱۴ هشدار خرابی تجهیزات مختلف وجود دارد. هر زنگ هشدار دارای یک حرف پرچم است که نشان‌دهنده وقوع خطا است. در جدول ۲-۱۸ انواع هشدارهای موجود در کنتور MK6E ذکر شده است.

جدول ۲-۱۸- هشدارهای کنتور MK6E [۳۹]

Flag Letter	Alarm Name
S	Asymmetric Power.
V	Voltage Tolerance Error.
F	VT Failure.
R	Incorrect Phase Rotation.
C	Clock Failure.
M	Reverse Power.
L	Calibration Data Lost.
H	Modem Failure.
X	RAM Failure or LCD Failure.
Y	Program Flash Failure.
Z	Data Flash Failure.
N	Pulsing Output Overflow.
D	Battery Failure
U	User Defined.

یک پرچم هشدار می‌تواند ۳ حالت داشته باشد. حالت غیرفعال[2] به این معنی است که زنگ هشدار فعال نیست. حالت فعال[3] به این معنی است که هشدار شناسایی شده و در حال وقوع است. حالت قفل شده[4] به معنای فعال بودن زنگ هشداری است که اکنون فعال نشده است. در صورت فعال بودن هشدارها، EFA تولید می‌شود و حروف EFA بر روی LCD نمایش داده می‌شوند.

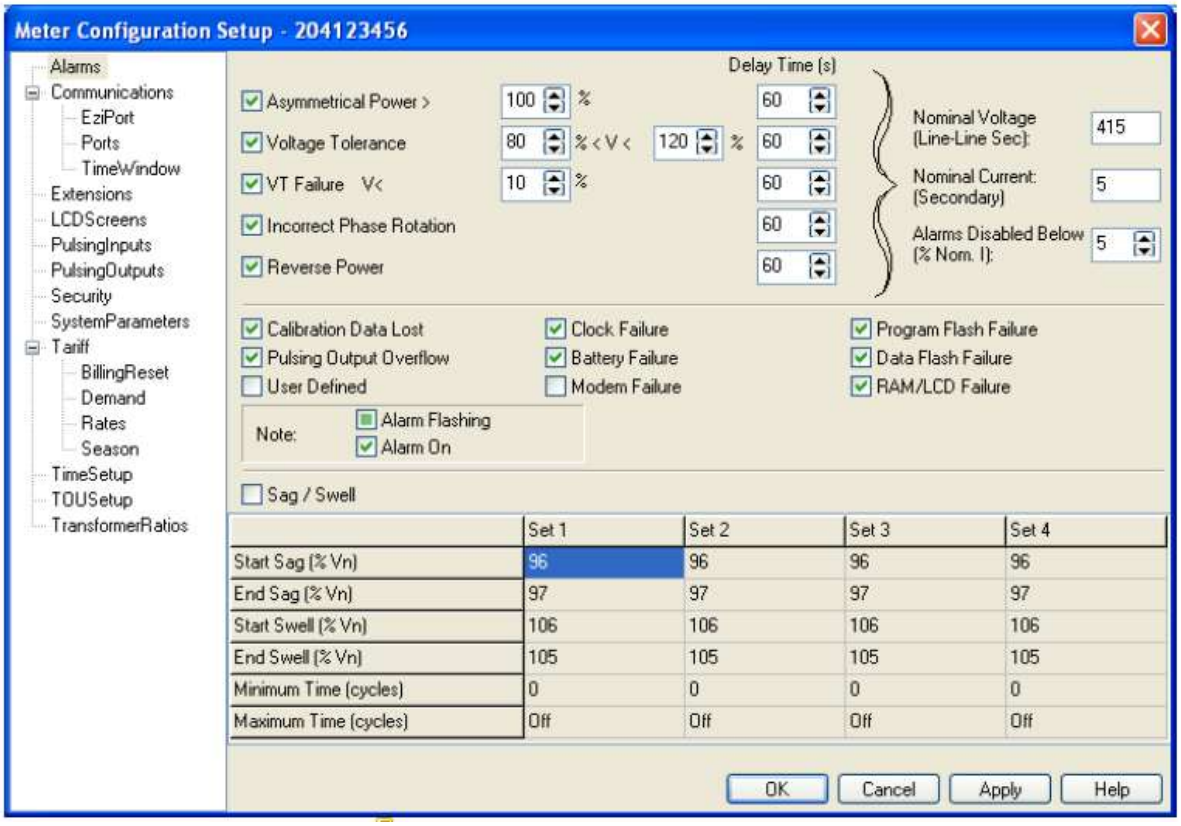
[1] Equipment Failure Alarm, EFA

[2] Inactive

[3] Active

[4] Latched

کنتور و نرم‌افزار کاربری این امکان را فراهم آورده است که تنظیمات هشدارها را تغییر دهد. هم‌چنین هشداری را به حالتی درآورند که در صورت وقوع خطا، کنتور اعلام هشدار نکند (حالت ماسک[1]). شکل ۲-۹ نمایی از تنظیمات هشدارهای کنتور در نرم‌افزار کاربری است.



شکل ۲-۱۰- صفحه‌ی تنظیمات هشدارهای MK6E

۲-۳-۲-۶- معرفی survey در MK6E

در کنتور، رجیسترهایی به‌منظور ایجاد یک پایگاه داده برای ثبت اطلاعات و اندازه‌گیری‌های رخداده، ایجاد شده است. این دسته از رجیسترها survey نامیده می‌شوند (survey در کنتورهای MK6E همان پروفایل است). یک survey شامل تعدادی رکورد است، و هر رکورد از تعدادی کانال تشکیل شده است (کانال در اصطلاح پایگاه داده، field نامیده می‌شود). هر کانال یک کمیت خاص را ذخیره می‌کند، و بنابراین هر رکورد از مجموعه‌ای از کمیت‌های مختلف در زمان تعیین شده است. به‌عنوان مثال، یک survey ممکن است کانال‌هایی برای Wh و varh داشته باشد که رکوردها در فواصل ۱۵ دقیقه‌ای است. هر survey قابلیت ذخیره‌ی حداکثر ۲۵۶ کانال را داراست. شکل ۲-۱۰ نمایی از ساختار رجیستری یک survey را نشان می‌دهد.

[1] Mask

	Channel 0 (Status)	Channel 1	Channel 2	Channel 3	…	Channel M
Record 0						
Record 1						
Record 2						
Record 3						
…						
Record N						

شکل ۲-۱۱- نمایی از یک Survey در MK6E [۳۹]

در کنتور MK6E، دو نوع survey فا صله‌ی متغیر و فا صله ثابت وجود دارد، که هر کدام برای ا ستفاده‌ی خا صی مناسب هستند. در حالت فاصله‌ی متغیر، هر رکورد با دستور رابط خط فرمان[1] در رجیستر مربوطه ذخیره می‌شود. همچینین زمان ذخیره‌ی اطلاعات نیز در رجیستری جداگانه ثبت می‌شود. این نوع survey برای مواردی مانند ثبت وقایع[2] و سابقه تنظیم مجدد صورت‌حساب[3] منا سب ا ست. برخلاف فا صله‌ی متغیر، در حالت فا صله ثابت، رکوردها با فاصله زمانی مشخصی در کانال‌ها ذخیره می‌شوند. در این حالت، با دانستن زمان شروع ثبت اطلاعات، نیازی به اختصاص دادن کانال مجزایی برای ذخیره‌ی زمان رکورد نیست. کم‌ترین فاصله زمانی ممکن بین هر رکورد، ۱ ثانیه است.

سه دسته از پروفایل‌های کنتور MK6E کاربرد بیش‌تری از منظر کیفیت توان دارند. در ادامه این بخش به ساختار این سه survey پرداخته می‌شود.

- **load survey**

ابزار load survey، امکان ثبت داده‌های کنتور را در طی یک سری فوا صل ثابت فراهم می‌کند. نام‌های دیگر این عملکرد، پروفایل بار[4] و گزارش تقاضا[5] است. کنتور امکان ایجاد ده load survey را دارد. هر load survey حداکثر تا ۳۰ کانال را می‌تواند ذخیره کند.

دو نوع کانال گسترده‌ی انرژی و لحظه‌ای در load survey وجود دارد. کانال‌های انرژی، مجموع انرژی طی هر فا صله‌ی زمانی[6] بین رکوردها را ذخیره می‌کنند و کانال‌های لحظه‌ای، امکان ذخیره‌ی بازه‌ی و سیعی از داده‌های کیفیت توان را فراهم می‌کنند. شکل ۲-۱۱ و ۲-۱۲ تنظیمات load survey را در نرم‌افزار کاربری نشان می‌دهد.

---

1 command line interface

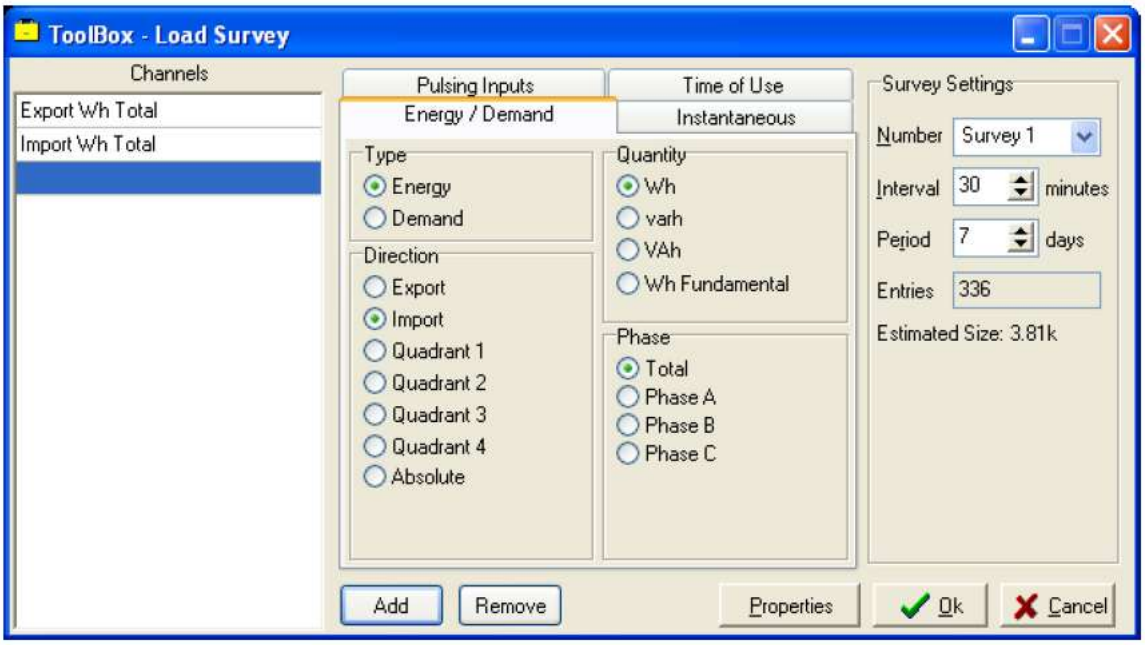
2 event logs

3 billing reset histories

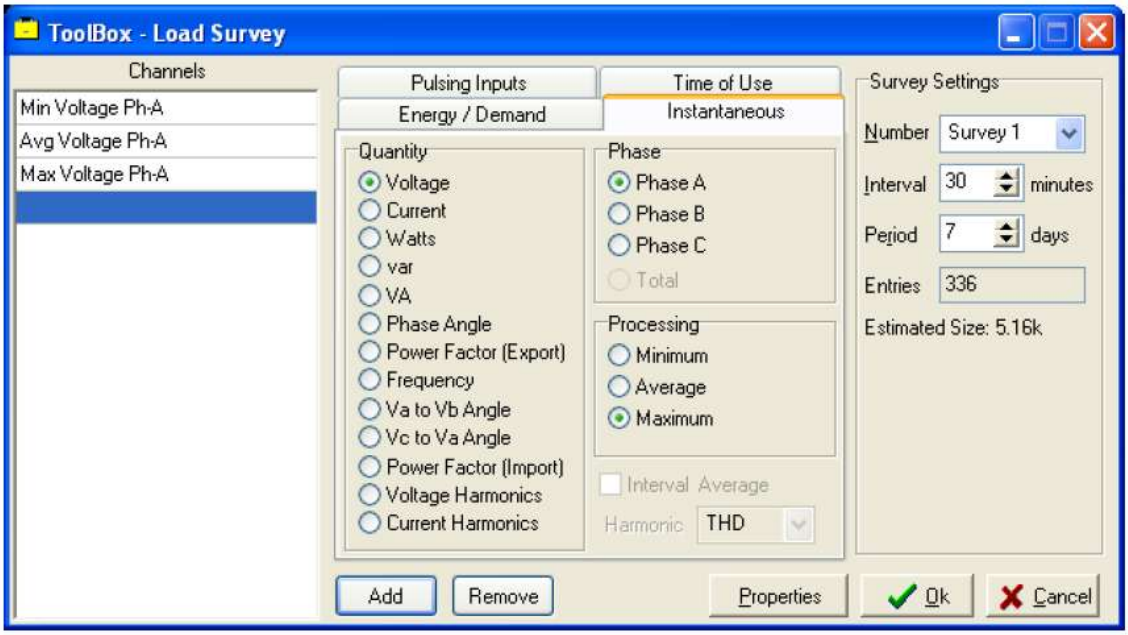
4 Load profile

5 Demand log

6 Time interval



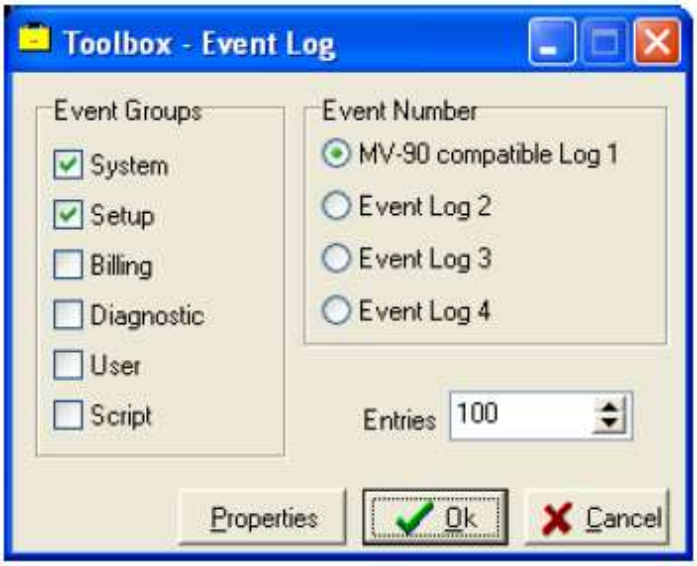
شکل ۲-۱۲- تنظیمات کانال‌های load survey مربوط به داده‌های انرژی MK6E



شکل ۲-۱۳- تنظیمات کانال‌های load survey مربوط به داده‌های اندازه‌گیری‌های لحظه‌ای MK6E

- **ثبت وقایع**

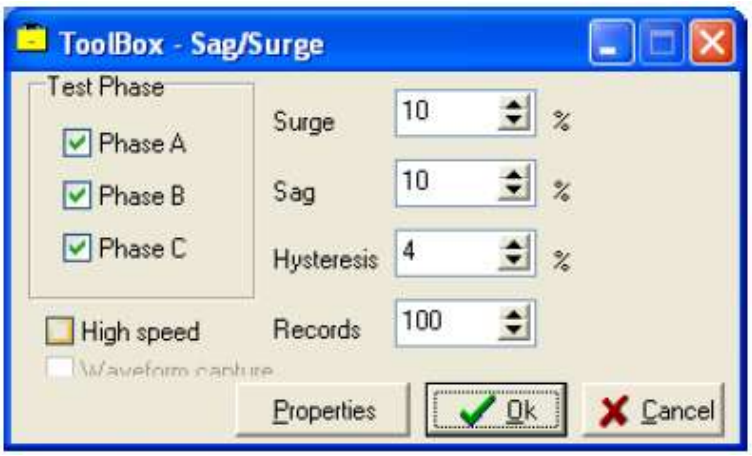
ابزار ثبت وقایع[1]، رویدادهای مختلف رخداده در کنتور را، در یک پروفایل ثبت می‌کند. این survey، زمان رویداد و شرح آن را تا حداکثر ۴۰ کاراکتر ذخیره می‌کند. شکل ۲-۱۳ ابزار ثبت وقایع را در نرم‌افزار EziView نشان می‌دهد.



شکل ۲-۱۴- ابزار ثبت وقایع در EziView

- **ابزار اندازه‌گیری فرورفتگی و برآمدگی ولتاژ**

در بخش قبل در مورد این ابزار توضیحاتی ذکر شد. شکل ۲-۱۴ نمایی از تنظیمات ابزار مذکور در نرم‌افزار EziView نشان می‌دهد.



شکل ۲-۱۵- تنظیمات فرورفتگی و برآمدگی ولتاژ در EziView

[1] Event log

۲-۳-۲-۷- جمع‌بندی

کنتور MK6E بخش گسترده‌ای از پدیده‌های کیفیت توان را اندازه‌گیری می‌کند. با توجه به جایگاه این کنتورها در شبکه، می‌توان از داده‌های به دست‌آمده توسط این کنتور، دید خوبی از وضعیت فیدرهای شرکت‌های توزیع به‌دست آورد. با توجه به موارد بیان‌شده در مورد قابلیت‌های کنتور MK6E، جدول ۲-۱۹ تنظیم شده است.

جدول ۲-۱۹- قابلیت‌های کنتورهای MK6E از منظر اندازه‌گیری پارامترهای کیفیت توان

دسته‌بندی	مدت زمان آستانه (قابلیت کنتور)	اندازه ولتاژ آستانه (پیشنهاد استاندارد)
فرورفتگی ولتاژ	بیش از ۵ دوره‌ی تناوب (اختیاری)	اختیاری (کم‌تر از0.9pu)
برآمدگی ولتاژ	بیش از ۵ دوره‌ی تناوب (اختیاری)	اختیاری (بیش‌تر از 1.1pu)
وقفه	بیش از ۵ دوره‌ی تناوب (اختیاری)	اختیاری (کم‌تر از0.1pu)
افت ولتاژ	بیش‌تر از ۱ دقیقه (اختیاری)	اختیاری (کم‌تر از 0.9pu)
افزایش بیش از حد ولتاژ	بیش‌تر از ۱ دقیقه (اختیاری)	اختیاری (بیش‌تر از 1.1pu)
عدم‌تعادل ولتاژ	ثبت اندازه‌گیری در Load Survey	اندازه‌گیری توالی مثبت، منفی، صفر
عدم‌تعادل جریان	ثبت اندازه‌گیری در Load Survey	اندازه‌گیری توالی مثبت، منفی، صفر
عدم‌تعادل توان	بیش‌تر از ۱ دقیقه (اختیاری)	به‌عنوان هشدار شناخته می‌شود
DC Offset	ثبت اندازه‌گیری در Load Survey	جریان و ولتاژ
Harmonic	ثبت اندازه‌گیری در Load Survey	مؤلفه‌های ۱ تا ۵۰ جریان و ولتاژ
نوسانات فرکانس	ثبت اندازه‌گیری در Load Survey	

۲-۴- نتیجه‌گیری

با توجه به بررسی‌های انجام شده و موارد بیان شده، قابلیت‌های اندازه‌گیری کیفیت توان کنتورهای بررسی شده در جدول ۲-۲۰ درج شده و دسته‌بندی پدیده‌های کیفیت توان بر اساس استاندارد IEEE 1159-2019 صورت گرفته است [۱۵].

جدول ۲-۲۰- مقایسه‌ی قابلیت‌های اندازه‌گیری پدیده‌های کیفیت توان در کنتورهای مختلف

Duration		PQ Phenomena	MK6E	FAHAM	ACE6000
1.0 Transients	1.1 Impulsive	1.1.1 Nanosecond	×	×	×
		1.1.2 Microsecond	×	×	×
		1.1.3 Millisecond	×	×	×
	1.2 Oscillatory	1.2.1 Low frequency	×	×	×
		1.2.2 Medium frequency	×	×	×
		1.2.3 High frequency	×	×	×
2.0 Short-duration root-mean-square (rms)	2.1 Instantaneous	2.1.1 Sag	✓	×	✓
		2.1.2 Swell	✓	×	✓
	2.2 Momentary	2.2.1 Interruption	✓	✓	✓
		2.2.2 Sag	✓	✓	✓
		2.2.3 Swell	✓	✓	✓
		2.2.4 Voltage Imbalance	×	×	×
	2.3 Temporary	2.3.1 Interruption	✓	✓	✓
		2.3.2 Sag	✓	✓	✓
		2.3.3 Swell	✓	✓	✓
		2.3.4 Voltage Imbalance	×	×	×
3.0 Long duration rms variations		3.1 Interruption, sustained	✓	✓	✓
		3.2 Undervoltages	✓	✓	×
		3.3 Overvoltages	✓	✓	×
		3.4 Current overload	✓	✓	✓
4.0 Imbalance		4.1 Voltage	✓	×	×
		4.2 Current	✓	✓	×
5.0 Waveform distortion		5.1 DC offset	✓	×	×
		5.2 Harmonics	✓	✓	✓
		5.3 Interharmonics	×	×	×
		5.4 Notching	×	×	×
		5.5 Noise	×	×	×
6.0 Voltage fluctuations[1]		6.0 Voltage fluctuations	×	×	×
7.0 Power frequency variations		7.0 Power frequency variations	✓	✓	✓

همان‌طور که از جدول ۲-۲۰ مشخص است، کنتورهای فهام قابلیت اندازه‌گیری فلیکر، نامتعادلی ولتاژ و پدیده‌های گذرا را ندارند.

[1] The term flicker is derived from the impact of the voltage fluctuation on lighting intensity. Voltage fluctuation is an electromagnetic phenomenon, and flicker is an undesirable result of that phenomenon on lighting

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این فصـــل به بررســـی قابلیت‌های کنتورهای فهام و MDM/HES از منظر اندازه‌گیری و فراخوانی پارامترهای کیفیت توان، پرداخته شده است.

در ابتدا جهت بررسی کنتورهای فهام، اسناد FID2 و FID3 مورد بررسی قرار گرفته است.

در سند FID2 به ارائه مشخصات برای کنتورهای فهام بر اسلاس استانداردها و مطابق با الزامات فهام پرداخته می شود. در واقع هدف این سند، تعریف موارد نامشخص در استانداردها و الزامات گذشته است. سند FID2 دارای سه پکیج است. در پکیج اول، کنتورهای برق به صورت مستقیم به سیستم مرکزی متصل شده و اطلاعات را به صورت مستقیم به این سیستم ارسال می‌کنند. ارسال این اطلاعات از طریق GPRS خواهد بود. در پکیج دوم، داده‌های کنتورهای برق به واحد متمرکزکننده داده ارسال می‌شود که این داده‌ها ممکن است شامل کنتورهای آب و گاز، دستگاه‌های عملیاتی و دســـتگاه های نمایشـــی در خانه باشـــد. در نهایت از طریق پکیج ســـوم، این اطلاعات، به واحد متمرکزکننده داده از طریقGPRS ارسال خواهد شد.

در سند FID3، به صورت کلی به پیام‌های XML[1] که جهت برقراری ارتباط منتقل می شود، اشاره شده است. در این سند، نکات مرتبط با سنکرون کردن اطلاعات مشترک بین برنامه‌های کاربردی و MDM مطرح شده است و جهت برقراری این ارتباط، پیام‌های XML حاوی اطلاعات در سیستم هستند.

و در انتها به بررسی کنتورهای ACE6000 و MK6E پرداخته شده است.

که در حال حا ضر، در اکثر پست‌های فوق توزیع، از اطلاعات به د ست آمده از کنتور MK6E در بازار برق ا ستفاده می‌شود. کنتورهای MK6E با سامانه‌ی مدیریت سنجش و پایش انرژی ارتباط دارند. در این راستا، می‌توان از داده‌های به دست آمده از این کنتورها، اطلاعات مفیدی در رابطه با کیفیت توان بخش فوق توزیع به دست آورد.

هم‌چنین، کنتورهای مرجع ترانس و کنتورهای MK6E که در حال حاضـر رایج هسـتند و تعداد آن‌ها رو به ازدیاد است، در حال حاضر حدود ۵۰۰هزار کنتور وجود دارد که تعداد به نسبت زیادی است و با توجه به این‌که بارهای بزرگی را نیز دارند، درصـد زیاد شـده و بنابراین در مقیاس با کل بار شـبکه میزان قابل قبولی اسـت. به ویژه با توجه به نفوذ کنتورهای MK6E در شبکه که تقریباً تمام فیدرها را شامل می شود، پو شش مورد نظر فراهم می شود و در برر سی شبکه، هنگامی که سرمنشأ را بررسی می‌کنیم، می‌توان خیلی موارد را درک کرد، در واقع کنتورهای مختلف از یکدیگر مستقل نیستند و یک شبکه به هم پیو سته بوده که کنتورهای بالاد ست و پایین د ستی مقایسه می شود. هنگامی که کنتورهای بالادستی بررسی می‌شود، عموماً چند نمونه از کنتورهای پایین دست هم وجود داشته باشد، کفایت می‌کند.

[1] Extensible Markup Language

فصل سوم: بررسی مطالعات بین‌المللی در خصوص گزارش‌دهی کیفیت توان و شاخص‌های موجود مدیریتی و ترکیبی کیفیت توان به‌منظور تعیین معیار/ ارزیابی و تجزیه و تحلیل عملکرد شرکت‌های توزیع برق

۳-۱- مقدمه

امروزه با پیشرفت فناوری، قدرت اندازه‌گیری پارامترهای کیفیت توان در سطح شبکه افزایش پیدا کرده است. در نتیجه، حجم داده‌های کیفیت توان افزایش یافته و به تبع آن شاخص‌های متنوعی تعریف شده است. تنوع و تعدد شاخص‌های کیفیت توان، تصمیم‌گیری و مدیریت شبکه را در این حوزه پیچیده می‌کند. بنابراین، ارائه‌ی شاخص‌های کلی و جامع به مدیران کمک می‌کند اطلاعات مفیدی را در مدت زمان کم به‌دست آورده و تصمیم‌گیری کنند. در این فصل از گزارش، مطالعاتی که هدف آن‌ها، ارزیابی کلی کیفیت توان در شبکه توزیع برق بوده بررسی شده است. شاخص‌های مختلف ارائه شده، دسته‌بندی شده و روش‌های مرسوم مورد بررسی قرار گرفته است.

در این فصل، در ابتدا ارزیابی کلی از کیفیت توان شبکه صورت گرفته است و سپس شاخص‌های تکی کیفیت توان معرفی شده و روابط محاسبه‌ی شاخص‌های سیستمی و یکپارچه‌سازی آن‌ها در زیربخش ۳-۳، بیان گردیده است.

پس از تعریف شاخص‌ها، شامل شاخص بیشینه، شاخص یکپارچه، شاخص میانگین و شاخص‌های تجمیعیِ پارامترهای گسسته کیفیت توان، روش‌های وزن‌دهی جهت محاسبه شاخص پیشنهادی پایش کیفیت توان که در فصل چهارم معرفی شده است، بررسی و توضیح داده شده است و این روش‌ها شامل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، روش حداقل آنتروپی، روش‌های ترکیبی و روش‌های هوشمند است.

و در انتها شاخص مبتنی بر مقایسه شکل موج واقعی و ایده‌آل و شاخص مبتنی بر اثرات اقتصادی اغتشاشات کیفیت توان معرفی شده است.

هم‌چنین، در فصل چهارم، شاخص تجمیعی یکپارچه معرفی و توضیح داده خواهد شد.

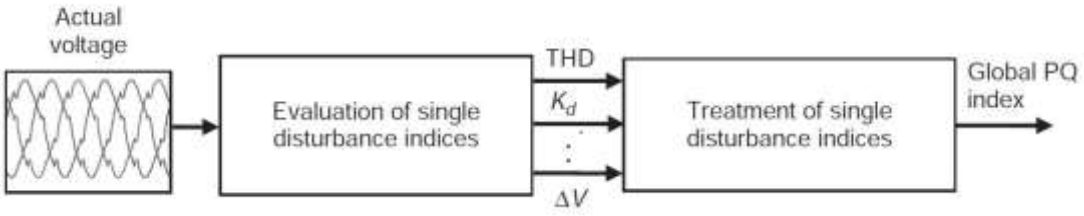
۳-۲- ارزیابی کلی کیفیت توان شبکه

شاخص‌های کیفیت توان، هر یک به تنهایی بیان‌گر وضعیت یکی از اختلالات کیفیت توان هستند. این شاخص‌ها، اغتشاشات کیفیت توان را به‌صورت مجزا تحلیل می‌کنند. این شاخص‌ها مبتنی بر اندازه‌گیری در نقطه‌ی اتصال (PCC) هستند، در صورتی که به‌منظور ارزیابی کلی کیفیت توان یک سیستم، شاخص‌های مبتنی بر PCC کافی نیستند. این ارزیابی کلی می‌تواند از طریق ارائه یک یا چند شاخص کلی و یا ارزیابی کیفی وضعیت کیفیت توان در چند سطح تعریف شده با شد [۴۱]. شاخص‌های کلی امکان مقایسه شبکه‌ها و بارهای مختلف را ارائه می‌دهد. در ادامه گزارش، روش‌های ارزیابی کیفیت توان شبکه بیان شده است. این روش‌ها شامل شاخص‌های ترکیبی و شاخص‌های مبتنی بر مقایسه‌ی شکل موج واقعی و ایده‌آل، ارزیابی مبتنی بر روش‌های هوشمند و شاخص مبتنی بر اثرات اقتصادی اغتشاشات کیفیت توان است.

۳-۳- شاخص‌های سیستمی مبتنی بر ترکیب شاخص‌های تکی کیفیت توان

یکی از راه‌های ارزیابی کلی کیفیت توان، تلفیق شاخص‌های تکی هر کدام از پدیده‌های کیفیت توان است. در این روش، شاخص‌های تکی کیفیت توان می‌توانند با روش‌های مختلفی با یکدیگر تلفیق شوند. ساده‌ترین روش، تخصیص

ضرایب وزنی به هر یک از شاخص‌هاست. برای تخصیص ضرایب مذکور روش‌های متفاوتی ارائه شده است. هم‌چنین پیش از تلفیق ضرایب به‌منظور یکپارچه کردن مقیاس شاخص‌ها، می‌توان آن‌ها را با مقادیر مرجعی مقایسه کرد [۴۱].



شکل ۳-۱- استخراج شاخص تجمیعی از شاخص‌های تکی کیفیت توان [۴۱]

برای ارائه‌ی یک شاخص تجمیعی با توجه به شاخص‌های تکی، می‌توان شاخص‌هایی که بیش‌ترین انحراف از استاندارد را دارند ملاک قرار داد و یا میانگین وضعیت کل شاخص‌ها را لحاظ کرد. شکل ۳-۱ بلوک دیاگرام استخراج شاخص تجمیعی را نشان می‌دهد. بدین ترتیب شاخص‌های متفاوتی شکل می‌گیرد که در ادامه این بخش، آمده است [۴۱].

۳-۳-۱- مراحل یکپارچه‌سازی شاخص

دست‌یابی به شاخص کلی کیفیت توان سیستم در چند مرحله حاصل می‌شود. در مرحله‌ی اول، اندازه‌گیری شاخص‌های تکی مختلف، مطابق با استانداردهای کیفیت توان انجام می‌شود. در مرحله‌ی دوم، همه‌ی شاخص‌های به‌دست آمده در مرحله‌ی اول، به‌صورت پریونیت (نرمالایزشده) بیان می‌شوند. در این مرحله می‌توان از مقدار مجاز قابل قبول برای هر شاخص و یا میانگین کل سیستم به‌عنوان مقدار پایه در پریونیت‌سازی استفاده کرد. به‌عنوان مثال، برای اعوجاج هارمونیکی داریم [۴۲]:

$$THD_n = \frac{THD_{meas}}{THD_{lim}} \qquad (۳-۱)$$

THD_n: اعوجاج هارمونیکی سایت nام

THD_{meas}: اعوجاج هارمونیکی اندازه‌گیری شده در مرحله اول

THD_{lim}: اعوجاج هارمونیکی بر اساس استاندارد (مثلاً ۵ درصد)

شاخص نرمالایزشده‌ی واحد، بیان‌گر آن است که مقدار شاخص مورد نظر دقیقا در مرز مجاز قرار دارد. مقادیر بیش‌تر از یک نیز به معنای انحراف از مقدار مجاز استاندارد است. در صورتی که برای یک اغتشاش، بیش‌تر از یک شاخص وجود داشته باشد، می‌توان به‌منظور دست‌یابی به شاخص واحد برای آن اغتشاش، مقدار بیشینه را به‌عنوان شاخص آن اغتشاش لحاظ کرد.

در مرحله‌ی سوم، شاخص‌های نرمالیزه شده مرتبط با اغتشاشات مختلف با یکدیگر تلفیق شده و یک عدد به‌دست می‌آید. برای انجام این کار، دو دیدگاه می‌تواند به کار رود. در دیدگاه اول، ابتدا برای هر سایت، یک شاخص تجمیعی

به‌دست آمده و سپس شاخص تجمیعی سایت‌های مختلف با یکدیگر تلفیق می شود. در دیدگاه دوم، ابتدا شاخص هر اغتشاش برای کل سیستم به‌دست می‌آید (به‌عنوان مثال شاخص اعوجاج هارمونیکی کل سیستم) و سپس شاخص تجمیعی کل سیستم از شاخص‌های مذکور به‌دست می‌آید. به عنوان مثال، جدول ۳-۱ مقدار مجاز شاخص‌های کیفیت توان را بر اساس استاندارد EN 50160 نشان می‌دهد [۴۲].

جدول ۳-۱- مقدار مجاز شاخص‌های کیفیت توان بر اساس استاندارد EN 50160

THD	V_3/V_n	V_5/V_n	V_7/V_n	V_9/V_n	V_{11}/V_n	V_{13}/V_n	K_d	$\tau_{\Delta V}$
8%	5%	6%	5%	1.5%	3.5%	3%	2%	±10%

۳-۳-۲- شاخص بیشینه

بزرگ‌ترین شاخص تکی کیفیت توان در یک سایت (یا سیستم)، به عنوان شاخص بیشینه (نشان‌گر کلی)، تعریف می‌شود.. به‌عنوان مثال، در صورتی که برای پارامترهای اعوجاجات هارمونیکی، عدم‌تعادل ولتاژ، تغییرات آهسته ولتاژ و فرورفتگی و برآمدگی ولتاژ یک شاخص وجود داشته باشد، شاخص بیشینه یا نشان‌گر کلی به صورت رابطه‌ی (۳-۲) تعریف می‌شود [۴۲].

$$I_G = max(I_T, I_H, I_{UNB}, I_C) \quad (۳-۲)$$

I_G: شاخص بیشینه

I_T: شاخص تغییرات آهسته‌ی ولتاژ

I_H: شاخص اعوجاجات هارمونیکی

I_{UNB}: شاخص عدم‌تعادل

I_C: شاخص مربوط به برآمدگی و فرورفتگی ولتاژ به‌صورت نرمالیزه

در محاسبه‌ی این نشان‌گر، برای هر پدیده کیفیت توان یک شاخص استفاده شده است. به‌عنوان مثال برای اعوجاجات هارمونیکی که شاخص THD و مقدار هارمونیک‌های مختلف وجود دارد، بیش‌ترین مقدار آن‌ها به‌عنوان شاخص اعوجاجات هارمونیکی معرفی شده است. این مورد در رابطه‌ی (۳-۲) نشان داده شده است.

$$I_H = max(I_{THD}, F_2, F_3, F_4, \dots) \quad (۳-۳)$$

I_{THD}: شاخص نرمالایزشده‌ی اعوجاج هارمونیکی کل

F_h: شاخص مربوط به هارمونیک h است که به‌صورت رابطه (۳-۴) محاسبه می‌شود.

$$F_H = 100.\frac{V_{h,max}}{V_{h,lim}} \quad (۳-۴)$$

$V_{h,\max}$: بیش‌ترین مقدار هارمونیک مرتبه‌ی h ولتاژ اندازه‌گیری شده

$V_{h,\lim}$: بیش‌ترین حد مجاز برای هارمونیک مرتبه‌ی h در استاندارد

پس از محا سبه‌ی شاخص بی شینه (I_G) از طریق رابطه‌ی (۳-۲)، و ضعیت کیفیت توان قابل‌تو صیف خواهد بود. مقدار I_G متناظر با ۱۰۰ و یا بیش‌تر، نشان می‌دهد که حداقل یکی از حدود رعایت نشده است. مقدار I_G کم‌تر از ۱۰۰ نیز نشان‌دهنده‌ی رعایت شدن تمامی حدود شاخص‌های تکی است.

در صورتی که شاخص I_G برای نواحی مختلف شبکه تعریف شده باشد، شاخص کلی کیفیت توان یا شاخص بازده به‌صورت رابطه‌ی (۳-۵) قابل‌تعریف است.

$$I_{G,GEI} = 100.\frac{N_{I_G<100}}{N_{tot}} \quad (۳-۵)$$

در رابطه‌ی (۳-۵)، $N_{I_G<100}$ تعداد نقاطی که شاخص کلی I_G کم‌تر از ۱۰۰ است را نشان داده و N_{tot} تعداد نقاط نواحی (نقاط) پایش‌شده را نشان می‌دهد. مقدار $I_{G,GEI}$ برابر ۱۰۰، نشان‌دهنده‌ی آن است که در همه نواحی (نقاط) پایش‌شده، تمامی حدود استاندارد رعایت شده است. مقدار کم‌تر از ۱۰۰ نیز نشان‌دهنده‌ی آن است که در یک یا چند نقطه، حدود استاندارد رعایت نشده است.

۳-۳-۳- شاخص یکپارچه

مراحل اولیه‌ی محاسبه این شاخص، مشابه حالت قبل، استخراج شاخص‌های تکی کیفیت توان، نرمالیزه کردن و در صورت نیاز یکی‌کردن شاخص‌های مربوط به یک اغتشاش کیفیت توان است. در مرحله‌ی بعدی برای تلفیق شاخص‌های نرمال شده، از مفهومی به‌عنوان "میزان انحراف" ا ستفاده می شود که به صورت رابطه‌ی (۳-۶) تعریف می‌شود [۴۳].

$$\Delta I_i = I_{i,n} - 1 \quad (۳-۶)$$

ΔI_i : میزان انحراف هر شاخص

$I_{i,n}$: شاخص نرمال شده

پس از آن که میزان انحراف برای هر یک از شاخص‌ها به‌دست آمد، شاخص کیفیت توان یکپارچه به‌صورت رابطه (۳-۷) محاسبه می‌شود.

- اگر تمامی شاخص‌های نرمال‌شده کم‌تر از واحد باشد، شاخص یکپارچه برابر با حداکثر شاخص‌های تکی درنظر گرفته می‌شود.

- اگر یکی یا تعدادی از شاخص‌های تکی مقدار بیش از واحد داشته باشند، شاخص کیفیت توان یکپارچه به‌صورت رابطه‌ی (۳-۷) محاسبه می‌شود. به‌طور خلاصه، این شاخص به‌صورت مجموع مقادیر انحراف با یک است [۴۳].

$$UPQI_C = 1 + \sum_{i=1}^{N_C} \Delta I_i \quad (۳-۷)$$

$UPQI_C$: شاخص کیفیت توان یکپارچه

ΔI_i: میزان انحراف برای هر شاخص

N_C: تعداد شاخص‌های کیفیت توان پیوسته

زیروند C: اشاره به پدیده‌های کیفیت توان پیوسته

با توجه به تعریف شاخص یکپارچه، مقدار یک، بیان‌گر حد قابل‌قبول آن است. به‌منظور درنظر گرفتن اثرات متفاوت اغتشاشات کیفیت توان بر مشترکین مختلف، می‌توان ضرایب وزن دار k_i را با توجه به اهمیت هر یک از اغتشاشات کیفیت توان برای هر مشترک معرفی کرد. بدین ترتیب، شاخص یکپارچه وزن‌دار به‌صورت رابطه‌ی (۳-۸) تعریف می‌شود [۴۱].

$$UPQI_{C,W} = 1 + \sum_{i=1}^{N_C} k_i \Delta I_i \quad (۳-۸)$$

$UPQI_C$: شاخص یکپارچه وزن‌دار

k_i: این ضریب به توافق بین مشترک و بهره‌بردار شبکه بوده و مقدار این ضریب بین صفر و یک متغیر است.

ΔI_i : میزان انحراف هر شاخص

N_C: تعداد شاخص‌های کیفیت توان پیوسته

زیروند C: اشاره به پدیده‌های کیفیت توان پیوسته

در صورتی که شاخص کلی وضعیت کیفیت توان در سیستم مدنظر باشد، می‌توان از رابطه‌ی (۳-۹) استفاده کرد [۴۱].

$$UPQI_{C,Sys} = \frac{\sum_{j=1}^{M} w_j UPQI_{Cj}}{\sum_{j=1}^{M} w_j} \quad (۳-۹)$$

$UPQI_{C,Sys}$: شاخص کلی وضعیت کیفیت توان در سیستم

$UPQI_{Cj}$: شاخص یکپارچه در باس j ام

w_j: ضریب وزنی باس j

M: تعداد باس‌های پایش‌شده

۳-۳-۴- شاخص میانگین [۴۱]

در بخش‌های ۳-۳-۳ و ۳-۳-۲، شاخص بیشینه و یکپارچه ارائه شده است. در صورتی که تنها یک شاخص تکی کیفیت توان از حد مجاز استاندارد عبور کند، شاخص بیشینه و یکپارچه، نتایج یکسانی را نشان می‌دهند. در صورتی که چند شاخص تکی از حدود مجاز عبور کنند، شاخص یکپارچه وضعیت سیستم را بهتر نشان خواهد داد. به هر حال، شاخص یکپارچه تنها اغتشاشاتی را که از حد مجاز فراتر رفته‌اند درنظر می‌گیرد. برای درنظر گرفتن اثر سایر اغتشاشات، می‌توان شاخص میانگین را به‌صورت مکمل شاخص یکپارچه مطرح کرد که مطابق با رابطه‌ی (۳-۱۰) است.

$$I_{AV} = Average\left(I_T, I_H, I_{UNB}, I_C\right) \qquad (۳-۱۰)$$

I_{AV}: شاخص میانگین

I_T: شاخص تغییرات آهسته‌ی ولتاژ

I_H: شاخص اعوجاجات هارمونیکی

I_{UNB}: شاخص عدم‌تعادل

I_C: شاخص مربوط به برآمدگی و فرورفتگی ولتاژ به‌صورت نرمالیزه

اگر یک یا چند شاخص از حدود مجاز عبور کنند، ممکن است به دلیل کوچک بودن سایر شاخص‌ها، اثر عبور از حد مجاز در شاخص دیده نشود. بنابراین باید از این شاخص در کنار سایر شاخص‌ها به‌عنوان مکمل استفاده کرد.

۳-۳-۵- شاخص‌های تجمیعی پارامترهای گسسته‌ی کیفیت توان شبکه

همان‌طور که در فصل اول گزارش اشاره شده است، پدیده‌های کیفیت توان گسسته شامل پدیده‌های گذرا، وقفه، برآمدگی و فرورفتگی ولتاژ باید در بازه‌های زمانی طولانی مدت (مثلا یک سال) مورد ارزیابی قرار گیرند. برای نمایش ارزیابی این پدیده‌ها، نمودارها، جداول و شاخص‌های مختلفی در فصل اول گزارش بیان شده است. بیش‌تر شاخص‌ها و نمودارهای اشاره شده، به‌منظور ارائه‌ی یک شاخص کلی برای سیستم، قابل‌استفاده نیست. در این بخش، چند شاخص که پدیده‌های کیفیت توان گسسته را به‌صورت پیوسته تبدیل می‌کنند، بیان شده است.

۳-۳-۵-۱- شاخص انرژی

شاخص انرژی برآمدگی و فرورفتگی ولتاژ، به‌صورت (۳-۱۱) تعریف می‌شود.

$$E_v = \int_0^T \left(1 - V^2(t)\right) dt \qquad (۳-۱۱)$$

که در رابطه‌ی (۳-۱۱)، نسبت ولتاژ حین پدیده و مقدار ولتاژ نامی بوده و دوره‌ی انتگرال‌گیری، مطابق با دوره‌ی وقوع اغتشاش است. در صورتی که تنها یک مقدار مؤثر ولتاژ (کم‌ترین برای فرورفتگی و بیش‌ترین برای برآمدگی) و زمان رخداد در دسترس باشد، انتگرال مذکور به شکل ساده‌ای به‌دست خواهد آمد. شاخص انرژی برای فرورفتگی و برآمدگی ولتاژ به‌صورت رابطه‌ی (۳-۱۲) و (۳-۱۳) تعریف می‌شود.

$$E_{vs} = \int_0^T \left[1 - \left(\frac{U(t)}{U_{nom}} \right)^2 \right] dt \qquad (۳-۱۲)$$

$$E_{vs} = \int_0^T \left[\left(\frac{U(t)}{U_{nom}} \right)^2 - 1 \right] dt \qquad (۳-۱۳)$$

که در رابطه‌ی (۳-۱۲) و (۳-۱۳)، $U(t)$ مقدار مؤثر ولتاژ در حین وقوع فرورفتگی و U_{nom} مقدار نامی ولتاژ است. همان‌طور که بیان شد، در صورتی که کم‌ترین مقدار ولتاژ و زمان رخداد در د سترس با شد، شاخص انرژی به صورت رابطه‌ی (۳-۱۴) درخواهد آمد.

$$E_{vs} = T.\left[1 - \left(\frac{U(t)}{U_{nom}} \right)^2 \right] \qquad (۳-۱۴)$$

انرژی برآمدگی و فرورفتگی ولتاژ برای سیستم سه‌فاز، به‌صورت مجموع انرژی هر فاز و طبق رابطه‌ی (۳-۱۵) محاسبه می‌شود.

$$E_{vs} = E_{vs_a} + E_{vs_b} + E_{vs_c} \qquad (۳-۱۵)$$

شاخص انرژی ولتاژ یک سایت، با جمع شاخص انرژی تمام فرورفتگی‌ها و برآمدگی‌های ولتاژ، در یک سایت طبق رابطه‌ی (۳-۱۶) به‌دست می‌آید.

$$SEI_k = \sum_{T_{obs}} E_{vs} \qquad (۳-۱۶)$$

در رابطه‌ی (۳-۱۶)، T_{obs} دوره‌ی پایش کیفیت توان است، که معمولاً یک سال درنظر گرفته می‌شود. هم‌چنین، با تقسیم شاخص فوق بر تعداد پدیده‌های رخ داده، می‌توان شاخص میانگین انرژی افتادگی ولتاژ ($ASEI_k$) را نیز محاسبه کرد.

۳-۳-۵-۲- شاخص تعداد داده‌ها

در [۴۴] راهکاری جهت پایش برخط کیفیت توان در شبکه ارائه شده است. بخشی از کار مقاله مذکور به تعریف شاخص تجمیعی کیفیت توان اختصاص یافته است. به‌منظور ارزیابی کارایی روش ارائه‌شده، اندازه‌گیری وضعیت کیفیت توان در یک شبکه با وجود منابع تولید پراکنده و بار صنعتی (معدن مس) مورد آزمون قرار گرفته است. در این مقاله، دو

شاخص تجمیعی کیفیت توان ارائه شده است. شاخص اول (ADI[1]) مربوط به پدیده‌های پیوسته و شاخص دوم (FDI[2]) مربوط به پدیده‌های گسسته است.

شاخص ADI به صورت ضریبی از شاخص پدیده‌های کیفیت توان پیوسته و به صورت رابطه‌ی (۳-۱۷) تعریف شده است. در رابطه‌ی مذکور، W_i شاخص پدیده‌های پیوسته کیفیت توان هستند، که با توجه به حد مجاز هر پارامتر، نرمالیزه شده‌اند و k_i ضریب مربوط به هر شاخص است، که با توجه به اولویت هر پارامتر، در یک سایت تعیین می‌شود.

$$ADI = \sum_i k_i W_i \qquad st: \sum_i k_i = 1 \tag{۳-۱۷}$$

شاخص FDI برابر نسبت داده‌های شامل پدیده‌های گسسته کیفیت توان (داده‌های نشان‌دار شده) به کل داده‌های اندازه‌گیری شده است. در این نسبت، داده‌های موردبررسی، داده‌های ده دقیقه‌ای هستند. تعریف شاخص در رابطه‌ی (۳-۱۸) آمده است.

$$FDI = \frac{f}{n} \times 100\% \tag{۳-۱۸}$$

که در رابطه‌ی فوق، n تعداد کل داده‌های ۱۰ دقیقه‌ای نمونه‌برداری شده و f تعداد داده‌های ۱۰ دقیقه‌ای دارای اغتشاشات گسسته است. در [۴۴]، پدیده‌های گسسته کیفیت توان شامل وقفه، فرورفتگی و برآمدگی ولتاژ است. به‌عنوان یک کاربرد از شاخص ارائه شده در [۴۵] تأثیر یک نیروگاه مجازی بر وضعیت کیفیت توان شبکه با استفاده از شاخص‌های ارائه‌شده، بررسی شده است.

۳-۳-۵-۳- شاخص شدت پدیده‌های گسسته کیفیت توان

شاخص شدت برای پدیده‌های گذرا، فرورفتگی و برآمدگی ولتاژ در [۴۶] تعریف شده است. برای این دسته از اغتشاشات دامنه (V^*) و مدت زمان (T^*) وقوع اغتشاش تعریف شده و از رابطه‌ی (۳-۱۹)، شدت اغتشاشات مذکور محاسبه می‌شود.

$$DSI(T^*, V^*) = \left| \frac{V^* - 1}{V_{CBEMA/ITIC} - 1} \right| \tag{۳-۱۹}$$

که در رابطه‌ی (۳-۱۹)، $V_{CBEMA/ITIC}$ بیان‌گر مقدار ولتاژ در منحنی CBEMA یا ITIC متناظر با زمان T^* است که به‌صورت پریونیت در رابطه قرار می‌گیرد.

[1] Aggregated Data Index

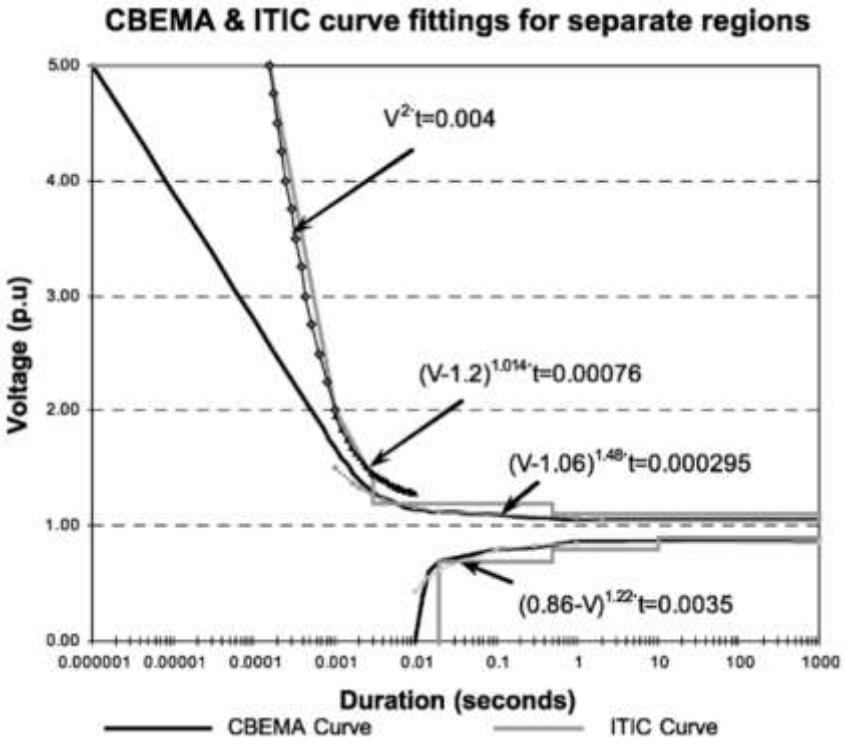
[2] Flagged Data Index

برای محاسبه شاخص DSI[1] برای پدیده‌های فرورفتگی و برآمدگی ولتاژ، از منحنی CBEMA [2] و برای پدیده‌های نوسانی گذرا از منحنی ITIC[3] استفاده می شود. برای ساده سازی محاسبات، منحنی‌های مذکور با روابط (۳-۲۰) تا (۳-۲۲) تخمین زده شده‌اند. در شکل ۳-۲ این منحنی‌ها و برازش آن‌ها نمایش داده شده است.

$$V_{CBEMA-Sag}(t) = 0.86 - \left(\frac{0.0035}{t}\right)^{\left(\frac{1}{1.22}\right)} \quad (۳-۲۰)$$

$$V_{CBEMA-Swell}(t) = 1.06 + \left(\frac{0.000295}{t}\right)^{\left(\frac{1}{1.48}\right)} \quad (۳-۲۱)$$

$$V_{ITIC-Os.Trans.}(t) = 1.2 + \left(\frac{0.00076}{t}\right)^{\left(\frac{1}{1.014}\right)} \quad (۳-۲۲)$$



شکل ۳-۲- برازش منحنی CBEMA و ITIC در نواحی مختلف [۵]

[1] Discrete severity index

[2] Computer and Business Equipment Manufacturers Association

[3] International Telecommunications and IT Consultants Group

شاخص‌های فوق برای یک پدیده فرورفتگی، برآمدگی و یا گذرا، به‌دست می‌آید. به‌منظور دست‌یابی به شاخص سایت از شاخص‌های مذکور باید مجموع شدت همه‌ی پدیده‌های گسسته را در طول دوره‌ی اندازه‌گیری به‌دست آورد. بدین ترتیب شاخص سایت از رابطه‌ی (۳-۲۳) به‌دست می‌آید.

$$DSI_{Site,DD} = \sum_{j=1}^{N_{DD}} DSI_j \qquad (۳-۲۳)$$

$DSI_{Site,DD}$: شاخص سایت

DSI_j: شاخص شدت اغتشاشات سایت مدنظر

۳-۳-۵-۴- تجمیع شاخص‌های گسسته مبتنی بر مطالعات موجود

در صورت نیاز به ارائه شاخص تجمیعی برای پدیده‌های گسسته مشابه با شاخص یکپارچه، باید شاخص‌های تکی پدیده‌های گ سسته، با معیاری مقای سه شوند. از آن‌جا که هیچ یک از ا ستانداردها، حدود مجاز این شاخص‌ها را ارائه نکرده‌اند، برخی مطالعات به‌منظور دست‌یابی به حدود مجاز شاخص‌های گسسته صورت گرفته است. در [۴۶] بر اساس اندازه‌گیری‌هایی که در ۹ کشور اروپایی در مدت سه سال انجام شده است، حدود مجاز برای فرورفتگی ولتاژ ارائه شده است. همینطور بر اساس پایش کیفیت توان در آمریکا و کانادا [۲] حدود مجاز برای پدیده‌های برآمدگی ولتاژ و نوسانات گذرا بیان شده است. مقادیر مجاز بر اساس این مطالعات در جدول ۳-۲ درج شده است.

جدول ۳-۲- حدود مجاز برای اغتشاشات گسسته [۲]

نوع اغتشاش	حد مجاز شاخص
فرورفتگی ولتاژ (مدت زمان سه سال)	۲۰۰
برآمدگی ولتاژ (۲۸ ماه)	۲۵۰
نوسانات گذرا (۲۸ ماه)	۵۰

با داشتن حدود مجاز می‌توان شاخص مربوط به هر اغتشاش را نرمالایز کرد و سپس مشابه رابطه‌ی (۳-۸) برای پارامترهای گسسته، شاخص یکپارچه ارائه کرد. بدین ترتیب شاخص یکپارچه پدیده‌های گسسته به‌صورت (۳-۲۴) قابل محاسبه است.

$$UPQI_{D,W} = 1 + \sum_{i=1}^{N_D} k_i \Delta D_i \qquad (۳-۲۴)$$

ΔD_i: بیان‌گر تفاضل شاخص گسسته‌ی نرمالیزه شده از عدد یک

k_i: این ضریب به توافق بین مشترک و بهره‌بردار شبکه بوده و مقدار این ضریب بین صفر و یک متغیر است.

۳-۴- روش‌های وزن‌دهی

همان‌طور که در بخش‌های قبل بیان شد، به‌منظور محاسبه شاخص تجمیعی از شاخص‌های تکی کیفیت توان، روش وزن‌دهی به‌کار گرفته شده است. به‌منظور محاسبه‌ی ضرایب وزنی هر شاخص، می‌توان روش‌های مختلفی به‌کار گرفت. روش‌های ذهنی و عینی[1] مختلفی برای تعیین این ضرایب وجود دارد. در بین روش‌های ذهنی، روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی[2] (AHP) و در بین روش‌های عینی، روش آنتروپی[3]، در این بخش توضیح داده شده است. این روش‌ها، بیش‌ترین کاربرد را در تعیین شاخص تجمیعی کیفیت توان داشته‌اند. هم‌چنین روش‌های ترکیبی به‌صورت بخشی مجزا ارائه شده است. مهم‌ترین روش‌های ترکیبی، استفاده از روش‌های هوشمند مانند شبکه عصبی و فازی بوده است.

۳-۴-۱- فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

در بسیاری مسائل، استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری تک‌هدفه با توجه به تعارض معیارها و اهداف، امکان‌پذیر نیست. بنابراین استفاده از روش‌های حل مسأله و تصمیم‌گیری چندهدفه ناگزیر است. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در واقع یک روش تصمیم‌گیری چندهدفه[4] است که در حوزه‌های اقتصاد، مدیریت و علوم مهندسی کاربرد فراوان دارد. در بسیاری از مسائل چندهدفه، اولویت‌بندی معیارها، منجر به ساده‌سازی و حل مسأله می‌شود. روش AHP با اولویت‌بندی معیارها به حل مشکل می‌پردازد. از مهم‌ترین مزایای این روش، سادگی، شفافیت و قابلیت انعطاف بالای آن است. اگر چه معایبی مانند درنظر نگرفتن وابستگی معیارها و اهداف و نیز دشواری‌های تشکیل ماتریس قضاوت نیز می‌توان برای آن درنظر گرفت.

به‌طور ساده، روش AHP بر مبنای مقایسه میان زوج معیارها استوار است. بر مبنای مقایسه‌ی صورت‌گرفته، ماتریس قضاوت برای مسأله تشکیل می شود. سپس مقادیر ویژه بیشینه ماتریس قضاوت محاسبه شده و به‌عنوان ضرایب وزنی هر معیار درنظر گرفته می‌شود.

در [۴۷]، برای ارائه‌ی یک شاخص تجمیعی کیفیت توان، از روش AHP استفاده شده است. شاخص تجمیعی مذکور پارامترهای اعوجاج هارمونیکی ولتاژ و جریان، انحراف فرکانسی، ضریب قدرت و فرورفتگی ولتاژ را در نظر گرفته است. به‌منظور بررسی کارایی شاخص ارائه شده، یک شبکه ۴ باسه با حضور منابع تولید پراکنده درنظر گرفته شده است. در شرایط بهره‌برداری مختلف، شاخص ارائه‌شده، وضعیت کیفیت توان شبکه را به‌خوبی توصیف کرده است. الگوریتم به‌کار رفته در [۴۷] برای محاسبه شاخص تجمیعی از روش AHP در شکل ۳-۳ نمایش داده شده است.

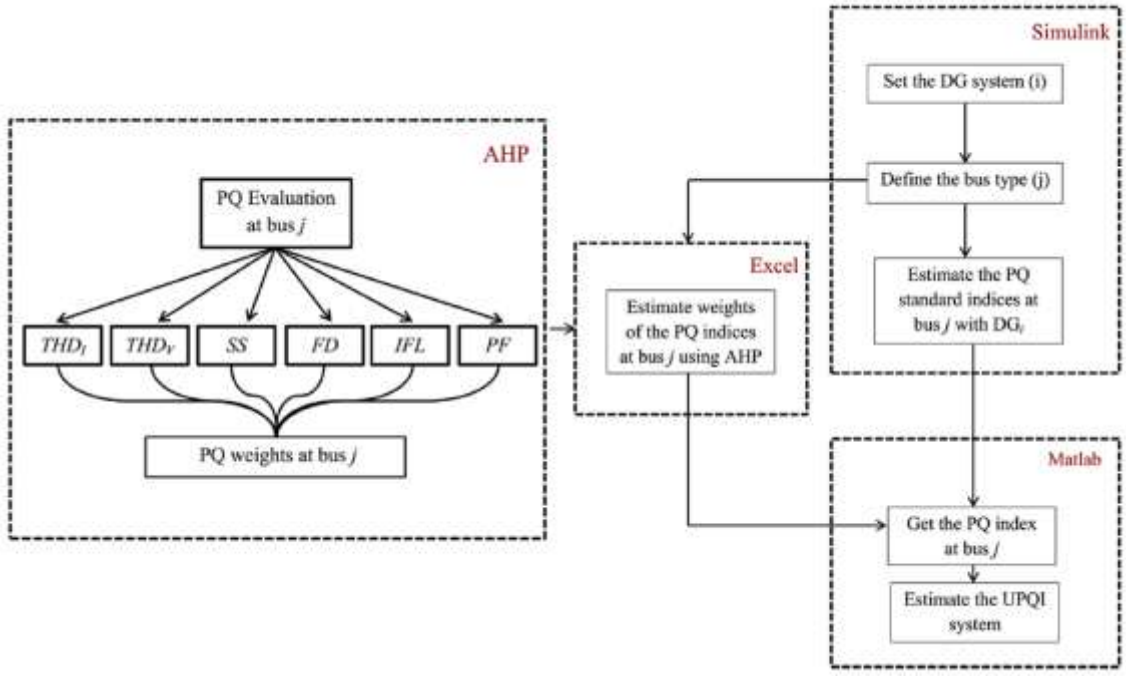
---

[1] Subjective and objective method

[2] Analytical Hierarchy process

[3] Entropy

[4] Multi-objective decision making



شکل ۳-۳- مراحل استخراج شاخص تجمیعی کیفیت توان از روش AHP [۴۷]

در [۴۸] یک شاخص تجمیعی به‌منظور ارزیابی کیفیت توان در طول زمان و در سایت‌های مختلف ارائه شده است. مطالعه‌ی موردی این مقاله بر روی نتایج ۶۴ هفته اندازه‌گیری و پایش کیفیت توان در هشت سایت شبکه‌ی فشار ضعیف در آلمان است. در گام ابتدایی شاخص‌های مختلف، بر اساس مقدار مجاز آن‌ها در استاندارد نرمال شده‌اند. رابطه ی (۳-۲۵) بدین منظور به‌کار رفته است.

$$q_{i,n,t} = (1 - \frac{m_{i,n,t}}{g_n}) \times 100\% \qquad (۳-۲۵)$$

که در رابطه‌ی (۳-۲۵)، i شماره‌ی سایت موردنظر، n شماره‌ی شاخص کیفیت توان مدنظر و t شماره‌ی هفته داده‌برداری است. هم‌چنین q شاخص نرمال‌شده، m مقدار اندازه‌گیری‌شده‌ی پارامتر کیفیت توان و g حد مجاز اغتشاش اندازه‌گیری‌شده بر اساس استاندارد است.

در مرحله‌ی بعد، دو شاخص تجمیعی بر اساس شاخص‌های کیفیت توان تکی و نرمال شده ارائه شده است، که در روابط (۳-۲۶) و (۳-۲۷) آمده است. ضرایب وزنی در مورد CBPQI بر اساس روش AHP به‌دست می‌آید. بدین منظور سایت موردنظر با یک سایت مرجع مقایسه شده و امتیاز هر پارامتر سایت موردنظر به‌دست می‌آید.

$$APQI_{i,t,avg} = \frac{\sum_{n=1}^{N} \left[w_{i,n,t} . q_{i,n,t} \right]}{\sum_{n=1}^{N} w_{i,n,t}} \qquad (۳-۲۶)$$

$$CBPQI_i = \frac{\sum_{n=1}^{N} score_{i,n} . p_n}{\sum_{n=1}^{N} score_{ref,n} . p_n} \quad (۳-۲۷)$$

در رابطه‌ی (۳-۲۶)، APQI[1] در طول زمان تعریف می‌شود.

زیروند i: شماره سایت

زیروند t: شماره هفته

زیروند avg: میانگین وزن‌دار

زیروند n: شماره پارامتر کیفیت توان

به عنوان مثال، اگر ضریبی صفر در نظر گرفته شود، یعنی پارامتر مدنظر حذف شده است (اگر $w_{i,n,t}$ صفر باشد، یعنی پارامتر nام در هفته tام و در سایت iام در محاسبه شاخص تجمیعی در نظر گرفته نشده است). در صورتی که تمامی ضرایب ۱ در نظر گرفته شود، یعنی به تمامی پارامترها یک وزن مساوی داده شده است. اما هدف از رابطه (۳-۲۶) در نظر گرفتن ضریب برای پارامترهای کیفیت توان است.

هم‌چنین در رابطه‌ی (۳-۲۷)، CBPQI[2] یک شاخص پریونیت بوده و از صفر شروع می‌شود. هرچه مقدار این شاخص از ۱ بزرگ‌تر باشد، به معنای فاصله گرفتن از شرایط ایده‌آل است.

پارامترهای موجود در رابطه (۳-۲۷) شامل موارد زیر است.

p_n: مقدار پارامتر کیفیت توان، مثل THD، عدم تعادل ولتاژ و ...

score: میزان فاصله از حد مجاز پارامتر

زیروند i: شماره سایت

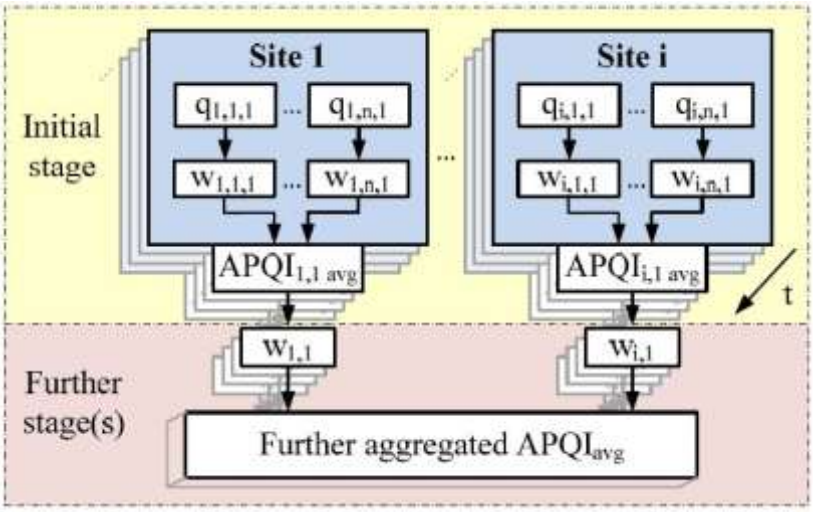
زیروند n: شماره پارامتر کیفیت توان

نحوه‌ی به‌دست آوردن شاخص تجمیعی APQI در شکل ۳-۴ به اختصار نمایش داده شده است. هم‌چنین روش AHP به‌کار رفته برای محاسبه CBPQI[3] در شکل ۳-۵ نمایش داده شده است.

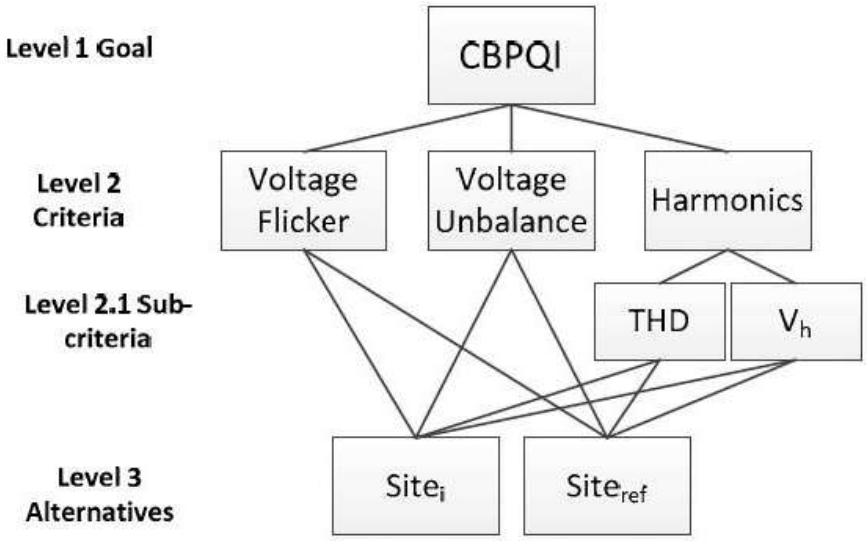
[1] Aggregated power quality index

[2] Compound Bus PQ Index

[3] Compound Bus PQ Index

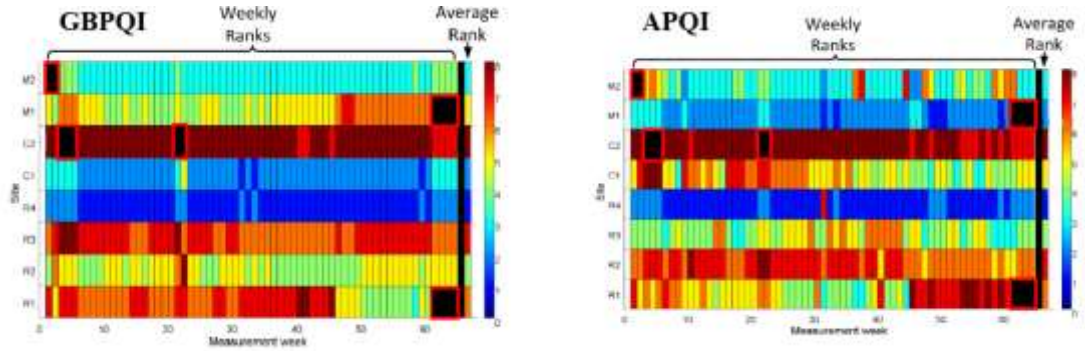


شکل ۳-۴- مراحل استخراج شاخص تجمیعی کیفیت توان از شاخص‌های تکی هر سایت [۸]



شکل ۳-۵- مراحل استخراج شاخص تجمیعی کیفیت توان از شاخص‌های تکی هر سایت بر اساس روش AHP [۴۸]

بر اساس شاخص‌های بیان‌شده، وضعیت کیفیت توان در سایت‌های پایش‌شده، در طول ۶۴ هفته بررسی شده است. شکل ۳-۶ وضعیت سایت‌ها را بر اساس شاخص‌های مذکور نمایش می‌دهد.



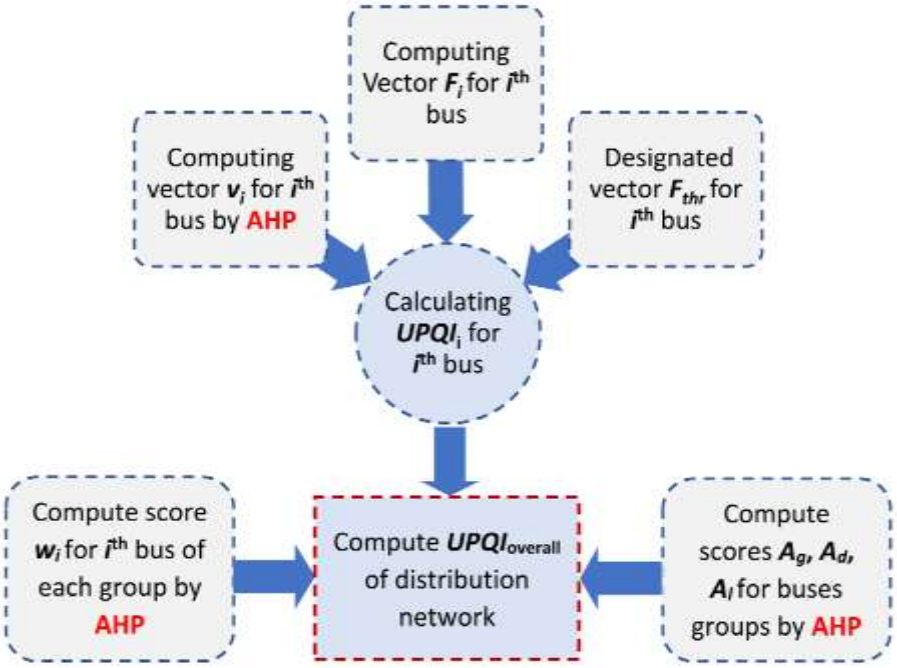
شکل ۳-۶- وضعیت سایت‌های پایش‌شده بر اساس شاخص‌های تجمیعی پیشنهادی [۴۸]

در [۴۹]، یک شاخص تجمیعی کیفیت توان بر ا ساس روش AHP به‌منظور ارزیابی کلی و ضعیت کیفیت توان یک سی ستم ۴ با سه با وجود منابع تولید پراکنده ارائه شده ا ست. بدین منظور، ماتریس ق ضاوت بر ا ساس مقای سه زوجی شاخص‌ها تشکیل شده است. درایه‌های ماتریس قضاوت (a_{jk}) به‌صورت جدول ۳-۳ به‌دست می‌آید.

جدول ۳-۳- عناصر ماتریس قضاوت در روش AHP برای تشکیل شاخص تجمیعی کیفیت توان [۴۹]

Value of a_{jk}	Interpretation
1	j is as important as k
3	j is somewhat more important in comparison to k
5	j is more important than k
7	j is strappingly more important than k
9	j is absolutely more important than k

نحوه‌ی به‌دست آوردن ضرایب وزنی در روش AHP ارائه‌شده در شکل ۳-۷ نمایش داده شده است.



شکل ۳-۷- روش AHP و مراحل تشکیل شاخص تجمیعی کیفیت توان [۴۹]

۳-۴-۲- روش حداقل آنتروپی

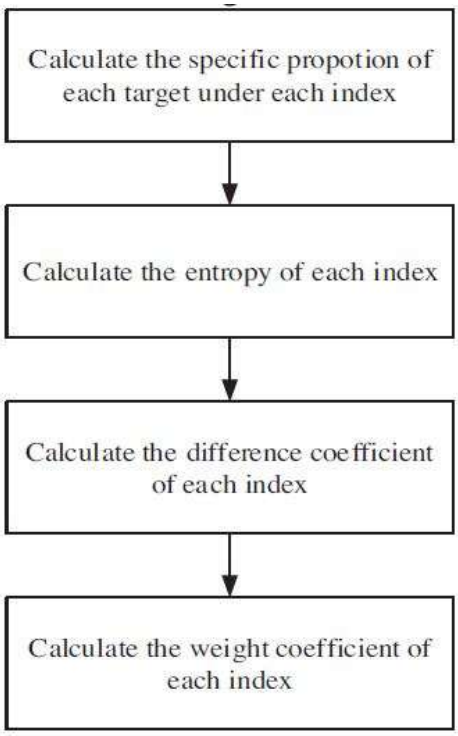
روش وزن‌دهی آنتروپی[1] یک روش تعیین ضرایب وزنی مبتنی بر میزان اطلاعات منتقل شده توسط هر شاخص است. مفهوم آنتروپی ابتدا در ترمودینامیک مطرح شده و اولین بار آقای شانون از آن در نظریه اطلاعات[2] استفاده کرده است. بر اساس نظریه‌ی اطلاعات، آنتروپی اطلاعات، بیانگر درجه‌ی بی‌نظمی اطلاعات است. هر چه این مقدار کوچک‌تر باشد، ارزش کاربردی اطلاعات بالاتر است.

ایده‌ی اصلی روش وزن‌دهی آنتروپی، این است که اگر مقدار آنتروپی شاخص مشخصی کوچک باشد، سطح تغییرات داده‌های مربوط به آن شاخص بیش‌تر است. بنابراین در ارزیابی کلی (شاخص کلی) کیفیت توان باید به آن شاخص توجه بیش‌تری نمود و در نتیجه وزن بالاتری باید اختصاص داد. روش آنتروپی، یک روشِ داده‌محور است.

به‌منظور به‌دست آوردن ضرایب وزنی از طریق روش آنتروپی، ابتدا نسبت داده‌های مربوط به هر شاخص نسبت به مجموع داده‌های شاخص مذکور، به‌دست آمده، سپس آنتروپی داده‌های حاصل محاسبه می شود و بر اساس آنتروپی، ضرایب هر شاخص مشخص می‌شوند. در [۵۰] از روش آنتروپی برای تجمیع شاخص‌های کیفیت توان و قابلیت اطمینان استفاده شده است. مراحل محاسبه ضرایب به اختصار در شکل ۳-۸ نمایش داده شده است.

[1] Entropy

[2] Information Theory



شکل ۳-۸- مراحل محاسبه‌ی ضرایب وزنی از روش آنتروپی [۵۰]

۳-۴-۳- روش‌های ترکیبی

روش‌های وزن‌دهی بیان‌شده در بخش‌های قبل، در برخی از مطالعات، همراه با یکدیگر استفاده شده است. در این بخش به مرور برخی مطالعاتی که روش‌های ترکیبی به‌کار گرفته‌اند، پرداخته شده است.

در [۵۱] نحوه استفاده از روش خوشه‌بندی خاکستری و وزن‌دهی آنتروپی برای محاسبه شاخص واحدی از کیفیت توان نشان داده شده است. برای انجام این کار لازم است پارامترهای کیفیت توان معرفی‌شده، شامل میزان اعوجاج هارمونیکی در ولتاژ و جریان، فرورفتگی ولتاژ، انحراف فرکانس الکتریکی، فلیکر و ضریب توان در ۴ باس مهم اندازه‌گیری شوند. در این کار، بر اساس دیدگاه سیستمی، ابتدا برای هر شاخص در سطح سیستم، تجمیع صورت گرفته است و سپس شاخص‌های سیستمی مختلف برای تشکیل شاخص تجمیعی کل تلفیق شده‌اند. در نهایت با استفاده از (۳-۲۸) شاخص کل کیفیت توان برای هر شاخص به‌دست می‌آید.

$$PQI = \begin{bmatrix} THD_V \\ THD_I \\ SS \\ FD \\ IFL \\ PF \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 & w_2 & w_3 & w_4 \end{bmatrix} \qquad (۳-۲۸)$$

در رابطه‌ی (۳-۲۸)، ضـرایب از روش تلفیقی آنتروپی و خوشـه‌بندی خاکسـتری (GC&EW) به‌دسـت آمده ا ست. سپس شاخص یکپارچه (UPQI) از میانگین شاخص‌های به‌د ست آمده، به صورت رابطه‌ی (۳-۲۹) حا صل می شود. نتایج این روش برای سی ستم چهار با سه با روش AHP متداول، مقای سه شده ا ست. در جدول ۳-۴ نتایج مقایسه درج شده است.

$$UPQI = (PQI_{THD_V} + PQI_{THD_I} + PQI_{SS} + PQI_{FD} + PQI_{IFL} + PQI_{PF}) / 6 \qquad (۳-۲۹)$$

جدول ۳-۴- عناصر ماتریس قضاوت در روش AHP برای تشکیل شاخص تجمیعی کیفیت توان [۵۱]

	UPQI-GC&EW	UPQI-AHP [4]	Error
hybrid wind/PV/FC -Without Compensation	0.93	0.91	0.02
hybrid wind/PV/FC -With Compensation	0.79	0.74	0.05
combined wind/PV system-Without Compensation	0.99	0.95	0.04
combined wind/PV system-With Compensation	0.90	0.84	0.06
distributed wind system-Without Compensation	1.70	1.41	**0.29**
distributed wind system-With Compensation	1.50	1.20	**0.3**

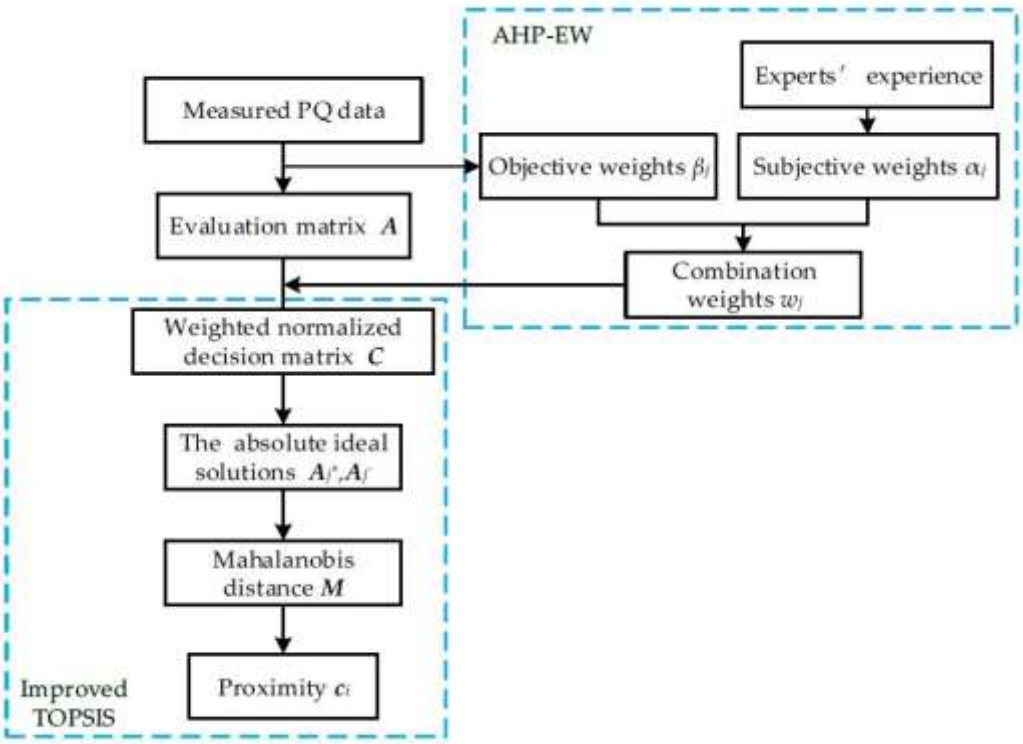
در [۵۲] یک ارزیابی کلی و نسبتاً جامع از وضعیت کیفیت توان با یک روش تلفیقی ارائه شده ا ست. شاخص تجمیعی ارائه شده با ا ستفاده از روش TOPSIS (تکنیک اولویت‌بندی ترجیحی بر ا ساس ت شابه به پا سخ‌های ایده‌آل[1]) حا صل شده است. در این کار، از هر دو روش ذهنی و عینی وزن‌دهی استفاده شده است. روش AHP به‌عنوان روش ذهنی به کار گرفته شـده اسـت و روش آنتروپی به‌عنوان روش عینی و داده‌محور به‌کار رفته اسـت. جدول ۳-۵ نحوه تشـکیل عناصـر ماتریس قضـاوت در روش AHP را نشـان می‌دهد. هم‌چنین روابط و مراحل اسـتخراج ضـرایب وزنی از روش آنتروپی در مقاله مذکور به تفصیل بیان شده است.

جدول ۳-۵- عناصر ماتریس قضاوت در روش AHP برای وزن‌دهی [۵۲]

Scale Values b_j	Scale Definition
1	A and B are equally important
1.2	A is slightly more important than B
1.4	A is obviously more important than B
1.6	A is strongly more important than B
1.8	A is extremely more important than B
1.1, 1.3, 1.5, 1.7	Intermediate values of the above-mentioned judgment.

[1] Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution

در مقالات بررسی شده، همبستگی شاخص‌های کیفیت توان با یکدیگر درنظر گرفته نشده است. در روش ارائه شده در [۵۲]، سعی شده این همبستگی در ارائه شاخص تجمیعی درنظر گرفته شود. در شکل ۳-۹ مراحل ارزیابی کلی کیفیت توان در مقاله مذکور، نمایش داده شده است. در روش‌های معمول TOPSIS معمولاً برای حل مسأله از فاصله اقلیدوسی پاسخ بهینه استفاده می‌شود. همان‌طور که در شکل ۳-۹ مشاهده می‌شود، در روش TOPSIS بهبودیافته که در این کار ارائه شده، فاصله‌ی ماهالانوبیس[1] با فاصله اقلیدوسی جایگزین شده است تا بتوان همبستگی شاخص‌ها را نیز درنظر گرفت.



شکل ۳-۹- مراحل ارزیابی کلی کیفیت توان از روش TOPSIS بهبودیافته [۵۲]

۳-۴-۴- روش‌های هوشمند

در بین روش‌های بررسی کیفیت توان، برخی مقالات به ارزیابی کلی کیفیت توان با استفاده از روش‌های هوشمند ترکیبی پرداخته‌اند. عمده‌ترین روش‌های به‌کار رفته بدین منظور شامل منطق فازی و شبکه‌ی عصبی است، که در این بخش، برخی از بررسی‌های مرتبط ارائه شده است.

[1] Mahalanobis distance

در [۵۳] با استفاده از روش فازی، یک روش ارزیابی کلی کیفیت توان ارائه شده است. هدف این مقاله ارائه‌ی یک متدلوژی بر اساس منطق فازی و تئوری تصمیم‌گیری چند معیاره[1] است که می‌تواند برای ارزیابی همه‌ی انحرافات و مسائل مربوط به کیفیت توانکه در شبکه اتفاق می‌افتد، موردا ستفاده قرار گیرد؛ در این رویکرد، ارزیابی ترکیبی کیفیت توان با استفاده از یک مدل سیستم خبره فازی[2] انجام می‌گیرد. برای این منظور از یک شاخص کیفیت توان کلی فازی[3] برای هر نقطه در شبکه استفاده می‌گردد. این شاخص برای یک نقطه‌ی مشخص از شبکه شامل اطلاعاتی در مورد سطح کیفیت توان آن نقطه و همچنین شامل اطلاعات متمرکز و یکپارچه در مورد سطح کیفت توان کلی شبکه است، و می‌تواند برای ارزیابی گره‌های یک شبکه‌ی نمونه مورداستفاده قرار گیرد. هم‌چنین این ابزار، به مدیر شبکه[4] کمک می‌کند تا بتواند با استفاده از یک ابزار مشخص و یک روش علمی قابل‌اعتماد، کیفیت توان کل شبکه یا کیفیت توان نقاط مشخصی از شبکه را به راحتی بررسی نموده و از این طریق امکان انجام تمهیدات لازم برای بهبود عملکرد شبکه فراهم شود. اطلاعات موردنیاز برای این رویکرد از استانداردها، نظرات متخصصین و اندازه‌گیری‌های میدانی در هر گره شبکه استخراج می‌گردد.

استانداردها معمولاً میزان تغییرات قابل‌قبول برای هر اختلال را تعریف می‌کنند، ولی پاسخ مشخصی مبنی بر شدت اثرگذاری انحراف اختلالات از آن بازه‌ی مشخص، خیلی مورد بررسی قرار نگرفته است. هدف رویکرد ارائه‌شده در [۵۳]، مرتبط‌سازی اختلالات با مسائل ایجادشده توسط آن‌ها بر روی شبکه است. مدل پیشرفته‌ی فازی مورداستفاده در این مقاله از گام‌های زیر تشکیل می‌گردد:

* تعیین متغیرهای فازی
* تعریف توابع عضویت برای هر متغیر فازی
* محاسبه‌ی سطح کیفیت توان ترکیبی
* محاسبه‌ی شاخص کیفیت توان ترکیبی برای هر نقطه از شبکه‌ی مورد بررسی

متغیرهای فازی برای هر نقطه از شبکه‌ی تحت‌بررسی، همان اختلالات ایجادشده در شبکه نظیر قطعی (interruption)، قطعی موقت (momentary interruption)، تغییر فرکانس، هارمونیک‌ها و میان‌هارمونیک‌ها، افت ولتاژ (voltage dip)، فلیکر (flicker) و اضافه ولتاژ یا افت ولتاژ (under voltage/over voltage) درنظر گرفته شده و برای این متغیرهای فازی به‌صورت ابتکاری[5]، ۵ دسته متغیر زبانی[6] یا کلامی[7] همان‌طور که در جدول ۳-۶ به صورت نمونه برای متغیر قطعی (Interruption) نشان داده شده است، درنظر گرفته می شود. برای هر متغیر، این

[1] Multi Criteria Decision Making
[2] Fuzzy Expert System Model
[3] Fuzzy Total Power Quality Index (FTPQI)
[4] System Administrator
[5] heuristically
[6] Linguistic
[7] Verbal

بازه‌ها به‌وسیله‌ی توابع عضویت[1] توصیف شده، که این توابع در واقع درجه‌ی عضویت هر متغیر فازی در بازه‌ی موردنظر را نشان می‌دهد.

[1] Membership Functions

جدول ۳-۶- متغیرهای زبانی به کار رفته در روش فازی [۵۲]

Linguistic Variable	I (interruption)
VL (very low)	[0.0, 0.2]
L (low)	[0.2, 0.4]
M (Medium)	[0.4,0.6]
H (high)	[0.6,0.8]
VH (very high)	[0.8,1.0]

بنابراین مدل فازی موردنظر نیازمند سه پارامتر پایه[1] خواهد بود:

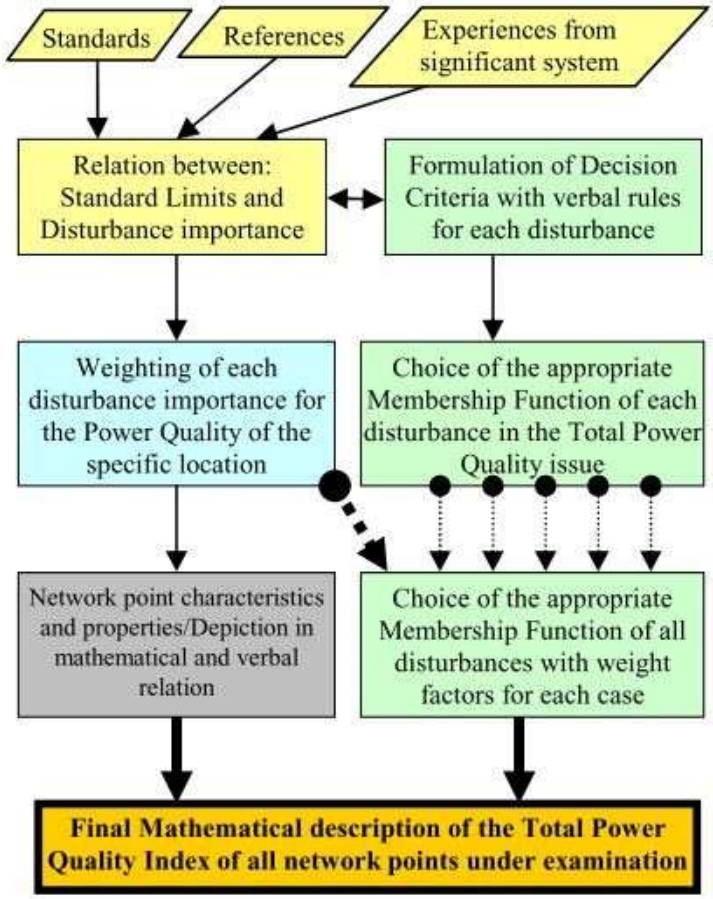
الف) تعیین بازه‌ی موردقبول برای میزان تغییرات هر اختلال

ب) تعیین ارتباط بین تعداد دفعات ظاهرشدن هر اختلال و اثرات آن

ج) تعیین اهمیت هر اختلال برای کیفیت توان کلی

بازه‌های قابل قبول تغییرات برای هر اختلال، از طریق استانداردهای موجود استخراج شده و بر اساس تجربه‌ی پرسنل و متخصصین شبکه‌ی قدرت موردتأیید قرار می‌گیرد. مرحله‌ی بعدی، ایجاد قوانین کلامی و تبدیل آن‌ها به معادلات ریاضی است. این معادلات بایستی کلیه‌ی تغییرات اختلال موردنظر نسبت به بازه‌ی مشخص‌شده در مرحله‌ی قبل را پوشش داده و اهمیت این تغییرات را متناسب با مدت زمان تداوم و اثرات آن‌ها توصیف کند. زمانی که تمام قوانین کلامی به معادلات ریاضی تبدیل گردید، ضریب اهمیت (وزن) هر اختلال در کیفیت توان کلی مشخص خواهد گردید. شکل ۳-۱۰ الگوریتم کلی پیاده‌سازی این روش جهت استخراج شاخص کلی موردنظر را نشان می‌دهد.

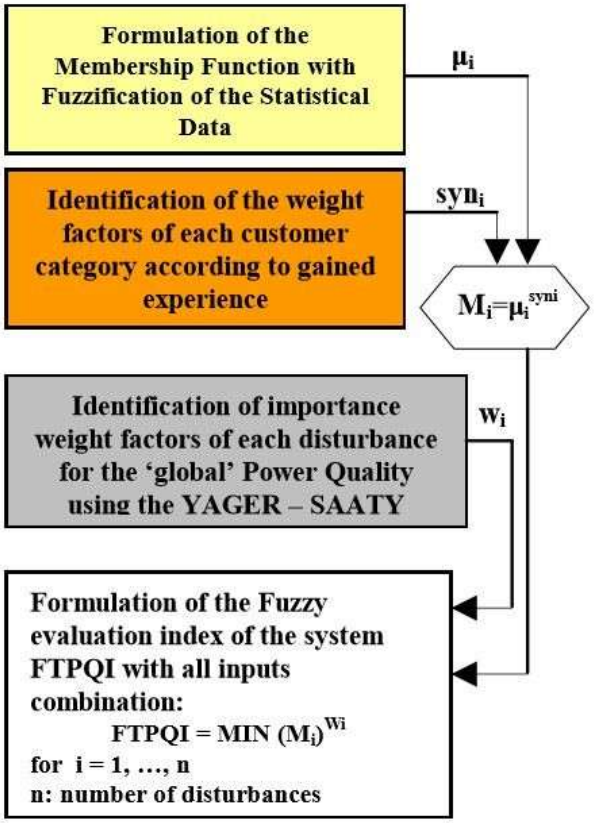
[1] Basic



شکل ۳-۱۰- الگوریتم کلی پیاده‌سازی شده جهت استخراج شاخص کل از روش فازی در [۵۳]

لازم به ذکر است که ترکیب نهایی اثرات همه‌ی اختلالات موردنظر به‌منظور استخراج شاخص کلی کیفیت توان برای هر نقطه از شبکه، همان‌طور که در شکل ۳-۱۱ مشاهده می شود، بر اساس یک مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره[1] انجام گرفته و شاخص کیفیت توان کلی فازی بر اساس آن به‌دست می‌آید.

[1] Multi Criteria Model



شکل ۳-۱۱- الگوریتم کلی استخراج ضرایب شاخص تجمیعی از روش فازی [۵۳]

با توجه به اینکه هر یک از مصرف‌کنندگان انرژی، حساسیت‌های متفاوتی نسبت به مسائل ایجادشده برای کیفیت توان نظیر هارمونیک‌ها، افت ولتاژ، فلیکر و ... دارند، در نتیجه موضوع کیفیت توان می‌تواند به‌صورت مؤثری قیمت انرژی را در بازارهای برق تحت‌تأثیر قرار دهد؛ و از همین رو کیفیت توان تبدیل به یکی از مسائل مهم سیستم‌های قدرت در محیط رقابتی بازارهای برق شده است.

دو روش رایج برای ارزیابی کیفیت توان در محیط مقررات‌زدایی‌شده[1] وجود دارد که یکی از آن‌ها بر اساس ریاضیات آمار و احتمالی بوده و دیگری بر اساس تئوری فازی عمل می‌نماید. در [۵۳]، با ترکیب این دو روش، یک رویکرد جدید برای ارزیابی کیفیت توان ارائه شده است که مزیت‌های هر دو روش مزبور را شامل می‌گردد. برای این منظور ابتدا به معرفی اجمالی این دو روش پرداخته می‌شود.

الف) روش آمار واحتمال ریاضی[2] :

در روش ارائه‌شده در [۵۷] مشخصه‌ی اصلی هر شاخص کیفیت توان استخراج شده و با استفاده از آرایه جبری[3] فرآیند نرمالایز کردن شاخص‌های متفاوت انجام می‌گیرد. مزیت این روش، وجود محاسبات ریاضی مستحکم بوده و در آن فاکتورهای فازی شاخص‌های کیفیت توان نیز به‌صورت کمی موردبررسی قرار می‌گیرند.

1 Deregulated Environment
2 Probability And Mathematical Statistics
3 Vector Algebra

ب) روش ریاضیات فازی[1] :

تعدادی از شاخص‌های کیفیت توان نظیر انحراف ولتاژ، مشخصه‌ی فازی داشته و معمولاً توصیف آن‌ها با تعریف معادلات کمی، بسیار دشوار بوده و به جای آن با مفاهیم خوب، عالی و ... توصیف می‌گردند. در این حالت ریاضیات فازی می‌تواند برای مسئله‌ی فازی فوق به‌طور مؤثری مورداستفاده قرار گیرد. اما گام‌های کلیدی این روش متأثر از فاکتورهای مختلفی خواهند بود. به‌عنوان مثال، به دلیل محدودیت در شناسایی مسائل کیفیت توان مصرف‌کنندگان، توابع عضویت مورداستفاده در این روش نمی‌تواند به‌صورت خیلی دقیقی ایجاد گردند، و همین موضوع ارزیابی دقیق کیفیت توان را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

با درنظر گرفتن مزایا و معایب روش‌های فوق، در رویکرد جدید ارائه‌شده در این مقاله از مزایای هر دو روش مذکور استفاده گردیده و یک روش مطمئن برای ارزیابی کیفیت توان در محیط رقابتی بازارهای برق به نام ارزیابی کمی مصنوعی کیفیت توان[2] ارائه شده است. در این روش، با استفاده از روش آمار و احتمال ریاضی در مدیریت داده‌ها، مشخصه‌ی اصلی هر یک از شاخص‌ها به خوبی ترسیم شده و در عین حال، ارزیابی دقیق این فرآیند نیز تضمین می‌گردد. در مرحله‌ی ارزیابی نیز از روش فازی مصنوعی و متوسط وزنی استفاده می‌گردد، که می‌تواند به خوبی عملکرد فازی شاخص‌های کیفیت توان را در فرآیند ارزیابی منعکس نماید. نتیجه‌ی حاصل از این روش، یک ارزیابی کمی از کیفیت توان بوده که می‌تواند در بازارهای رقابتی برق به‌عنوان یک شاخص کمی کیفیت توان، مورد استفاده قرار گیرد.

برای پیاده‌سازی این روش، ابتدا بر اساس استانداردهای ملی مشخص، برای هر یک از مسائل کیفیت توان نظیر انحراف ولتاژ، انحراف فرکانس، نامتعادلی سه‌فاز، نوسان و فلیکر و ... شاخص مجزایی درنظر گرفته شده و بازه‌های مشخص‌شده توسط استانداردهای کلی مسائل کیفت توان برای هر شاخص، به قسمت‌های مختلفی با گام‌های ۳-۳۰ تقسیم‌بندی می‌گردد:

$$\Delta q = \frac{x}{m} \qquad (۳-۳۰)$$

Δq : گام هر قطعه

x : بازه‌ی مشخص‌شده برای هر شاخص

m : تعداد قطعه‌ها

بازه‌ی تغییرات k امین قطعه برابر خواهد بود با :

$$\Delta q_k \in \{\frac{x}{m}k - \frac{x}{m}, \frac{x}{m}\} \qquad (۳-۳۱)$$

[1] Fuzzy Mathematics

[2] Synthetic Quantitative Assessment Of Power Quality

در نهایت، توزیع احتمال قطعه k ام هر شاخص مطابق رابطه‌ی (۳-۳۲) محاسبه شده و ماتریس توزیع احتمال کل قطعه‌های مورد نظر برای هر شاخص مطابق رابطه‌ی(۳-۳۳) تشکیل می‌گردد:

$$P_k = \frac{\tau(k)}{T} \quad (۳۲-۳)$$

$\tau(k)$: زمان تست اطلاعات در قطعه‌ی k ام

T : زمان کل ارزیابی

$$R' = [p_1, p_2, p_3, \dots, p_m] \quad (۳۳-۳)$$

سپس ماتریس مربوط به توزیع احتمال شاخص‌های کیفیت توان مورد بررسی به‌صورت (۳-۳۴) درنظر گرفته خواهد شد:

$$R = [R_Z, R_T, R_V, R_X, R_V, R_S, R_B]^T \quad (۳۴-۳)$$

که در آن، $R_Z, R_T, R_V, R_X, R_V, R_S, R_B$ به ترتیب از چپ به راست بیان‌گر توزیع‌های احتمال شاخص‌های افت ولتاژ، نامتعادلی سه‌فاز، انحراف ولتاژ، هارمونیک ولتاژ، انحراف فرکانس، فلیکر و نوسان می‌باشند.

در گام بعدی با توجه به حساسیت بارها به هر یک از مسائل کیفیت توان، برای هر یک از شاخص‌های کیفیت توان موردبررسی، ضرایب وزنی مطابق (۳-۳۵) درنظر گرفته می‌شود، که بیان‌گر اهمیت هر شاخص خواهد بود. به‌عنوان مثال، چنان‌چه حساسیت بارها به مسئله‌ی هارمونیک بیش‌تر باشد، ضریب وزنی مربوط به این شاخص نسبت به سایر شاخص‌ها، مقدار بیش‌تری خواهد داشت.

$$A = [A_Z, A_T, A_V, A_X, A_V, A_S, A_B]^T \quad (۳۵-۳)$$

سپس مطابق (۳-۳۶)، دو ماتریس توزیع احتمال و ماتریس ضرایب هر شاخص در هم ضرب شده و در انتها نتیجه‌ی نهایی ارزیابی کمی کیفیت توان، با استفاده از روش متوسط وزنی مطابق رابطه‌ی (۳-۳۷) به‌دست می‌آید:

$$V = A \times R \quad (۳۶-۳)$$

$$V' = \sum_{k=1}^{m} kV_k \Big/ \sum_{k=1}^{m} V_k \quad (۳۷-۳)$$

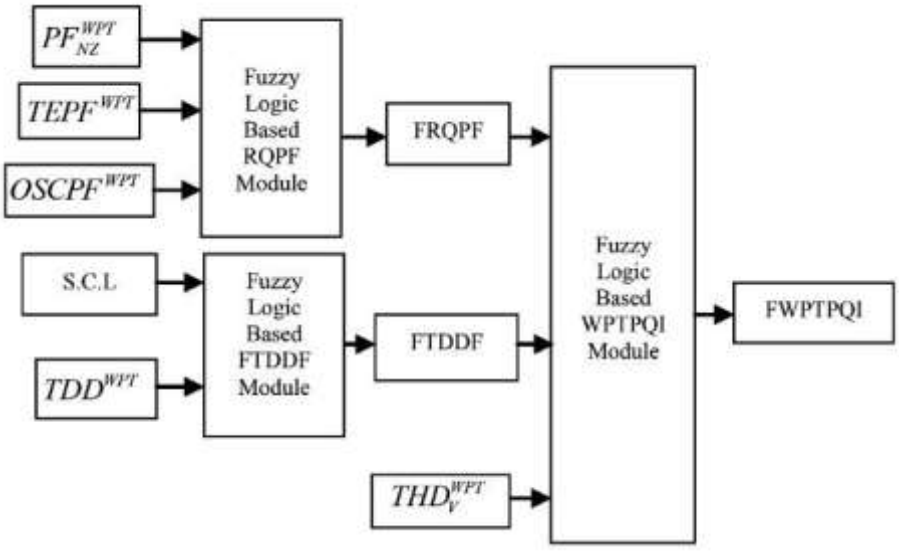
در محیط مقررات‌زدایی شده، داشتن شاخص‌های کیفیت توان با مقادیر متفاوت اهمیتی خاصی پیدا نمی‌کند؛ بلکه ترکیب این شاخص‌ها با یکدیگر و رسیدن به یک شاخص کلی که مجموع اثرات آن شاخص‌ها را منعکس کند، اهمیت

ویژه‌ای خواهد داشت. ضریب توان جابجایی[1]، ضریب توان کارآیی انتقال[2]، ضریب توان نوسانی[3] و اعوجاج هارمونیکی ولتاژ و جریان از جمله شاخص‌های کیفیت توانی هستند که برای ارزیابی کیفیت توان در این حوزه مورد استفاده قرار می‌گیرند [۵۴].

با توجه به این‌که به ازای شرایط عملکردی مختلف در سیستم قدرت، برای هر یک از این شاخص‌ها مقادیر متفاوتی به‌دست می‌آید، در نتیجه، بدون استفاده از یک شاخص منحصربه‌فرد و یکتا که نشان‌دهنده‌ی مجموع اثرات این شاخص‌ها باشد، فرآیند ارزیابی کیفیت توان دچار ابهام و گنگی خواهد شد. از این رو در مقالات مختلف، یک شاخص جدید فازی برای نشان دادن سه شاخص ضریب توان فوق و یک شاخص فازی برای اعوجاج کلی تقاضا[4] درنظر گرفته شده است. اما ماژول‌های فازی توسعه‌یافته در این مقالات صرفا با اعوجاج‌های ثابت و یکنواخت سازگار بوده و برای سازگاری با اعوجاج‌های غیریکنواخت نیاز به اصلاح خواهند داشت [۵۴].

از همین رو در [۵۵] یک ماژول فازی توسعه‌یافته، ارائه شده است که در آن علاوه بر شاخص‌های کیفیت توان ذکرشده در قسمت قبل، اعوجاج هارمونیکی کل ولتاژ را در نظر گرفته و خروجی آن یک شاخص کلی منحصر به فرد (FWPTPQI) بوده که برای ارزیابی کیفیت توان مورداستفاده قرار می‌گیرد.

شکل ۳-۱۲ دیاگرام شماتیک استخراج این شاخص با استفاده از ماژول‌های مختلف را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌گردد، خروجی این ماژول‌ها یک شاخص کلی یکتا به نام شاخص کیفیت توان تبدیل بسته‌ی موجک فازی[5] می‌باشد که مقدار آن نیز بین صفر تا ۱ خواهد بود؛ که مقدار صفر این شاخص، بیان‌گر ضعیف بودن کیفیت توان و مقدار یک، کیفیت توان مناسب و مطلوب را نشان می‌دهد.



[1] Displacement Power Factor

[2] Transmission Efficiency Power Factor

[3] Oscillation Power Factor

[4] Total Demand Distortion

[5] Fuzzy Wavelet Packet Transform Power Quality Index (FWPTPQI)

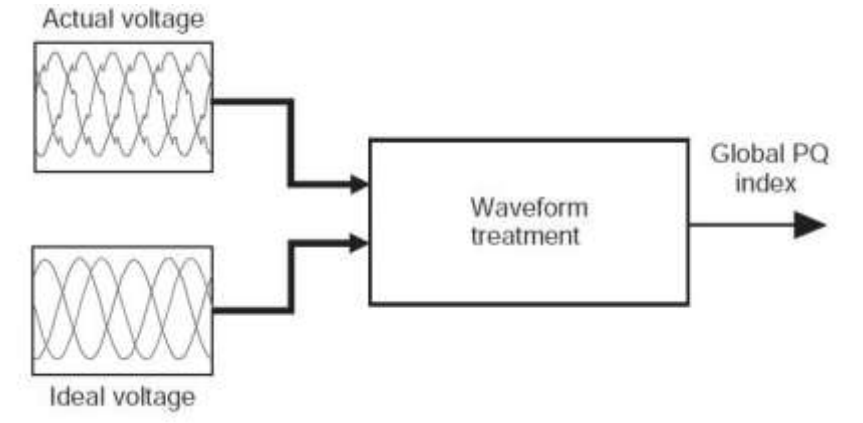
شکل ۳-۱۲- الگوریتم استخراج شاخص تجمیعی از روش فازی با استفاده از ماژول‌های مختلف [۵۵]

اما برای استخراج این شاخص همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌گردد، ابتدا ۳ شاخص کیفیت توان مربوط به ضریب توان شامل ضریب توان جابجایی، ضریب توان کارآیی انتقال و ضریب توان نوسانی با یک فرمول‌بندی جدید در حوزه‌ی WPT[1] به‌دست می‌آیند؛ به عبارت دیگر در این مرحله، هر یک از شاخص‌های کیفیت توان موردنظر به شاخص‌های کیفیت توان بر مبنای WPT تبدیل می‌شوند تا با شرایط عملکردی غیریکنواخت (اعوجاج‌های غیریکنواخت) نیز، سازگاری داشته باشند. این سه شاخص به‌عنوان ورودی ماژول فازی RQPF درنظر گرفته شده و خروجی فازی FRQPF استخراج می‌گردد. در سمت دیگر، شاخص کیفیت توان اعوجاج هارمونیکی کل نیز با یک فرمول‌بندی جدید در حوزه‌ی WPT به‌دست آمده و به‌عنوان ورودی ماژول فازی FTDDF درنظر گرفته می‌شود تا خروجی فازی FTDDF استخراج گردد.

در گام بعدی، پارامترهای FRQPF، FTDDF و اعوجاج هارمونیکی ولتاژ[2] در حوزه‌ی WPT به‌عنوان ورودی فازی ماژول WPTPQI درنظر گرفته می‌شوند، که در این ماژول از توابع عضویت مثلثی شکل[3] برای استخراج شاخص نهایی مسئله استفاده می‌گردد. برای این منظور برای این شاخص، ۷ متغیر زبانی (بین مفاهیم بسیار بالا تا بسیار پایین) درنظر گرفته شده و با استفاده از تشکیل قوانین منطقی میان سه پارامتر FRQPF، FTDDF و THD_V، مقدار فازی شاخص نهایی مسئله استخراج می‌گردد.

۳-۵- شاخص مبتنی بر مقایسه شکل موج واقعی و ایده‌آل

این شاخص‌های کیفیت توان، مستقیماً اختلاف میان شکل موج واقعی و شکل موج ایده‌آل ولتاژ تغذیه شبکه را مشخص می‌کنند. منظور از ولتاژ تغذیه ایده‌آل، ولتاژی است که فاقد هر نوع اغتشاش کیفیت توان باشد. شکل ۳-۱۳ به صورت شماتیک نحوه‌ی به‌دست آوردن شاخص کلی کیفیت توان بر اساس مقایسه شکل موج واقعی و ایده‌آل را نشان می‌دهد [۴۱].



[1] wavelet packet transform

[2] Total Harmonic Distortion of Voltages (THD_V)

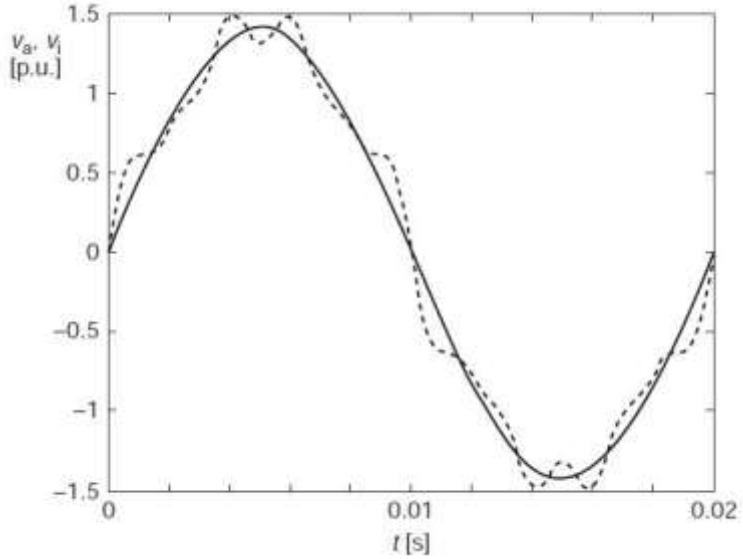
[3] Triangular Membership Functions

شکل ۳-۱۳- محاسبه‌ی شاخص تجمیعی از مقایسه‌ی شکل موج واقعی و ایده‌آل [۴۲]

این شاخص به سه صورت قابل‌ارائه است که در ادامه این بخش تعریف شده است.

۳-۵-۱- خطای مقدار مؤثر نرمالیزه شده

به‌منظور محاسبه‌ی این شاخص، دو شکل موج واقعی و ایده‌آل که در شکل ۳-۱۴ نمایش داده شده‌اند، با یکدیگر مقایسه می‌شوند.



شکل ۳-۱۴- شکل موج‌های اندازه‌گیری شده و ایده‌آل [۴۲]

در شکل ۳-۱۴، $v_a(t)$ شکل موج اندازه‌گیری‌شده و $v_i(t)$ شکل موج سینوسی با مقادیر مشخص دامنه و فرکانس از پیش‌تعریف شده بوده که به‌عنوان شکل موج ایده‌آل درنظر گرفته شده است. مقدار مؤثر اختلاف بین دو شکل موج مذکور به‌عنوان مقدار مؤثر خطا نامیده شده و از (۳-۳۸) به‌دست می‌آید.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T \left[v_a(t) - v_i(t)\right]^2 dt} \qquad (۳۸-۳)$$

که در رابطه‌ی (۳-۳۸)، T دوره‌ی تناوب سیستم قدرت است. با درنظر گرفتن شکل موج نمونه‌برداری شده، می‌توان شاخص خطای تعریف شده را به‌صورت (۳-۳۹) بازنویسی کرد.

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\dfrac{\sum_{n=1}^{N}\left[v_a(nT_s) - v_i(nT_s)\right]^2}{N}}}{V_1} \qquad (۳۹-۳)$$

که در رابطه‌ی (۳-۳۹)، $v_a(nT_s)$ و $v_i(nT_s)$ به‌ترتیب مقادیر نمونه‌ی n ام ولتاژهای واقعی و ایده‌آل، N تعداد نمونه‌ها در یک دوره‌ی تناوب و Ts دوره تناوبی نمونه‌برداری است. با توجه به اینکه شاخص تعریف شده به دامنه ولتاژ بستگی دارد، برای اصلاح این مورد، شاخص خطا به V_1 (دامنه مؤلفه اصلی ولتاژ اندازه‌گیری شده) تقسیم شده است. به این ترتیب شاخص خطای نرمالیزه‌شده، به‌دست آمده است. شاخص NRMSE یک شاخص بسیار مفید در توصیف وضعیت کیفیت توان کلی شبکه است؛ زیرا این شاخص همه‌ی اغتشاشات کیفیت توان اعم از پیوسته و گسسته را دربرمی‌گیرد. در صورتی که مقدار این شاخص کم باشد، نیاز به بررسی بیش‌تر نیست؛ در غیر این صورت باید وضعیت کیفیت توان ارزیابی شده و علل وقوع اغتشاشات بررسی شود.

یکی از مشکلات اصلی در محاسبه شاخص NRMSE این است که شکل موج ایده‌آل باید شناخته شده باشد. فرض می‌شود که این ولتاژ ایده‌آل، یک موج سینوسی با فرکانس شبکه بوده، و دامنه و فاز آن نیز به ترتیب برابر با دامنه و فاز مؤلفه اصلی سیستم درنظر گرفته می‌شود. در صورت وقوع یک رخداد کیفیت توانی، برای مثال در افت ولتاژ، ولتاژ ایده‌آل برابر مؤلفه اصلی ولتاژ پیش از وقوع رخداد، درنظر گرفته می‌شود. اگرچه دامنه‌ی ولتاژ را می‌توان با الگوریتم‌هایی تخمین زد.

۳-۵-۲- شاخص کلی سه‌فاز نرمالیزه‌شده

شاخص کلی سه‌فاز نرمالیزه شده، بر خلاف شاخص پیشین، وضعیت کیفیت توان در باس‌بارهای سه‌فاز را تعیین می‌کند. این شاخص از (۳-۴۰) به‌دست می‌آید.

$$NGI_{3\varphi}=\frac{\sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T\frac{1}{3}\sum_{p=a,b,c}\left[v_{a,p}(t)-\sqrt{2}V_{nf}\sin(\omega_{nom}t+\varphi-\alpha_p)\right]^2dt}}{V_{nf}} \qquad (۳-۴۰)$$

که در رابطه‌ی (۳-۴۰)، p مربوط به نام فاز، $v_{a,p}(t)$ ولتاژ اندازه‌گیری‌شده فاز p، V_{nf} دامنه ولتاژ و ω_{nom} فرکانس زاویه‌ای است. هم‌چنین φ فاز اولیه‌ی ولتاژ فاز اول و α_p نیز برای فازهای p=a,b,c به ترتیب برابر 0، $\frac{2\pi}{3}$ و $\frac{4\pi}{3}$ است. به‌منظور نرمالیزه‌شدن شاخص ارائه‌شده، صورت کسر که میزان انحراف سه‌فاز است بر دامنه‌ی ولتاژ نامی تقسیم شده است. با درنظر گرفتن شکل موج نمونه‌برداری شده، رابطه‌ی (۳-۴۰) به‌صورت رابطه‌ی (۳-۴۱) بازنویسی می‌شود:

$$NGI_{3\varphi}=\frac{\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}\frac{1}{3}\sum_{p=a,b,c}\left[v_{a,p}(nT_s)-\sqrt{2}V_{nf}\sin(\omega_{nom}nT_s+\varphi-\alpha_p)\right]^2}}{V_{nf}} \qquad (۳-۴۱)$$

در رابطه‌ی (۳-۴۱)، $v_{a,p}(nT_s)$، n امین نمونه از ولتاژ فاز p است. شاخص $NGI_{3\varphi}$ نشان می‌دهد که ولتاژهای سه‌فاز در سیستم چه مقدار از حالت ایده‌آل فاصله دارند.

۳-۵-۳- معیار انحراف کیفیت ولتاژ

میزان انحراف کیفیت ولتاژ، یک شاخص کیفیت توان کلی است که به‌صورت نسبت اختلاف تابع انرژی شکل موج‌های ولتاژ اندازه‌گیری‌شده و ایده‌آل بر انرژی شکل موج ایده‌آل و از رابطه‌ی (۳-۴۲) به‌دست می‌آید.

$$VQDF(t,t+T)=\frac{\int_{t}^{t+T}\sum_{p=a,b,c}\left|v^2{}_{a,p}(t)-v^2{}_{i,p}(t)\right|dt}{\int_{t}^{t+T}\sum_{p=a,b,c}v^2{}_{i,p}(t)dt} \qquad (۳-۴۲)$$

در رابطه‌ی (۳-۴۲)، p نام فاز، $v_{a,p}(t)$ ولتاژ اندازه‌گیری‌شده‌ی فاز p و $v_{i,p}$ ولتاژ ایده‌آل فاز p است. همان‌طور که از رابطه‌ی (۳-۴۲) پیداست، مقادیر شاخص VQDF همواره مثبت یا صفر است که حالت صفر به معنای عدم اختلاف حالت اندازه‌گیری‌شده از ایده‌آل است. هم‌چنین افزایش این شاخص نشان‌دهنده کاهش کیفیت ولتاژ است. این شاخص هم‌چنین در بررسی تأثیر اقتصادی اغتشاشات کیفیت توان به‌کار گرفته می‌شود.

۳-۶- شاخص مبتنی بر اثرات اقتصادی اغتشاشات کیفیت توان

شاخص‌های پیشین به صورت مستقیم به هزینه‌های اغتشاشات مربوط نشده است. شاخص کیفیت سرویس یا SQI[1] که نخستین بار در [۵۶] معرفی شده است، می‌تواند به‌منظور توصیف و ضعیت کیفیت ولتاژ سیستم به‌کار رود. شاخص کیفیت سرویس، بر مبنای مفهوم تأثیر اقتصادی انواع اغتشاشات کیفیت توان بر مشترکین بیان شده و به‌صورت یک شاخص کلی تعریف می‌شود. اگر هزینه‌ی قطعی‌های برق در سیستم مشخص شود، هزینه‌ی اغتشاشات کوچک‌تر ولتاژ و وقایعی مانند افت ولتاژ نیز قابل‌تشخیص است. در واقع می‌توان هزینه‌ی اغتشاشات را به‌صورت در صدی از هزینه قطعی درنظر گرفت که برای هر پدیده در صد مشخصی خواهد بود. شاخص کلی کیفیت سرویس مرتبط با یک مشترک به‌صورت (۳-۴۳) تعریف می‌شود.

$$SQI=P_{kw}\sum_{i=1}^{N}PQ_i cu_i \qquad (۳-۴۳)$$

در رابطه‌ی (۳-۴۳)، P_{kw} میزان تقاضای توان حقیقی مشترک، PQ_i شاخص کیفیت توان مربوط به اغتشاش i ام، cu_i هزینه‌ی مرتبط با اغتشاش i ام به ازای یک کیلووات و N تعداد کل اغتشاشات است. تأثیر اقتصادی برای مشترک

[1] Service Quality Index

زمانی لحاظ می‌شود که اغتشاش موردنظر از حد مجازش فراتر رفته باشد. هم‌چنین شاخص SQI برای هر نوع مشترک متفاوت است، و باید برای هر نوع مصرف‌کننده خانگی، صنعتی و تجاری به‌صورت جداگانه تعریف شود.

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

این فصل به بررسی مطالعات بین‌المللی در خصوص گزارش‌دهی کیفیت توان و شاخص‌های موجود مدیریتی و ترکیبی کیفیت توان به منظور تعیین معیار/ارزیابی و تجزیه و تحلیل عملکرد شرکت‌های توزیع برق، پرداخته شده است.

شاخص‌های کیفیت توان، هر یک به تنهایی بیان‌گر وضعیت یکی از اختلالات کیفیت توان هستند. این شاخص‌ها، اغتشاشات کیفیت توان را به صورت مجزا تحلیل می‌کنند. این شاخص‌ها، مبتنی بر اندازه‌گیری در نقطه‌ی اتصال (PCC) هستند، در صورتی که به منظور ارزیابی کلی کیفیت توان یک سیستم، شاخص‌های مبتنی بر PCC کافی نیستند. این ارزیابی کلی می‌تواند از طریق ارائه یک یا چند شاخص کلی و یا ارزیابی کیفی وضعیت کیفیت توان در چند سلطح تعریف شده باشد.

یکی از راه‌های ارزیابی کلی کیفیت توان، تلفیق شاخص‌های تکی هر کدام از پدیده‌های کیفیت توان ا ست. در این روش، شاخص‌های تکی کیفیت توان می‌توانند با روش‌های مختلفی با یکدیگر تلفیق شوند. ساده‌ترین روش، تخصیص ضرایب وزنی به هر یک از شاخص‌هاست. برای تخصیص ضرایب مذکور روش‌های متفاوتی ارائه شده است. هم‌چنین پیش از تلفیق ضرایب به منظور یکپارچه کردن مقیاس شاخص‌ها، می‌توان آن‌ها را با مقادیر مرجعی مقایسه کرد.

دست‌یابی به شاخص کلی کیفیت توان سیستم در چند مرحله حاصل می‌شود. در مرحله‌ی اول، اندازه‌گیری شاخص های تکی مختلف، مطابق با ا ستانداردهای کیفیت توان انجام می شود. در مرحله‌ی دوم، همه‌ی شاخص‌های به‌د ست آمده در مرحله‌ی اول، به صورت پریونیت (نرمالایز شده) بیان می شوند. در مرحله‌ی سوم، شاخص‌های نرمالیزه شده مرتبط با اغتشاشات مختلف با یکدیگر تلفیق شده و یک عدد به دست می‌آید.

هم‌چنین، به منظور محا سبه شاخص تجمیعی از شاخص‌های تکی کیفیت توان، روش وزن‌دهی به کار گرفته شده است. به منظور محاسبه‌ی ضرایب وزنی هر شاخص، می‌توان روش‌های مختلفی به کار گرفت. روش‌های ذهنی و عینی مختلفی برای تعیین این ضرایب وجود دارد. در بین روش‌های ذهنی، روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و در بین روش‌های عینی روش آنتروپی در این بخش توضیح داده شده است. این روش‌ها، بیش‌ترین کاربرد را در تعیین شاخص تجمیعی کیفیت توان دا شته‌اند. هم‌چنین روش‌های ترکیبی به صورت بخشی مجزا ارائه شده است. مهم‌ترین روش‌های ترکیبی، استفاده از روش‌های هوشمند مانند شبکه عصبی و فازی بوده است.

فصل چهارم: پیشنهاد شاخص‌های مدیریتی و ترکیبی کیفیت توان در دو سطح شرکت توزیع برق و شرکت توانیر با تأکید بر قابلیت کنتورهای هوشمند در کشور (گزارش‌دهی کیفیت توان)

۴-۱- مقدمه

ارائه‌ی شاخص‌های کلی و سیستمی کیفیت توان شبکه، به مدیر و بهره‌بردار شبکه در برنامه‌ریزی و بهره‌برداری از شبکه کمک می‌کند. به‌منظور ارائه‌ی شاخص کلی کیفیت توان اهداف متفاوتی می‌تواند دنبال شود. با توجه به اهداف، نحوه‌ی محاسبه‌ی شاخص کلی سیستم متفاوت خواهد بود. در فرآیند ارائه‌ی شاخص کلی سیستم، تعیین سایت‌های پایش کیفیت توان و نحوه‌ی تلفیق اطلاعات حاصل از پایش سایت‌های مذکور اهمیت دارد. همان‌طور که در فصل اول گزارش بیان شد، برای انتخاب محل نصب تجهیزات پایش، پارامترهای زیر تأثیرگذار است [۱]:

- سطح ولتاژ محل پایش (فشارقوی، فشارمتوسط و یا فشارضعیف)
- نصب در محل یک المان سیستم قدرت مانند پست، فیدر و یا محل اتصال مشترک به شبکه
- دسترسی به ترانسفورماتور اندازه‌گیری مناسب

در عمل، روش‌های مختلفی برای تعیین محل پایش کیفیت توان در نظر گرفته شده است. به‌عنوان مثال، برخی از روش‌های رایج برای انتخاب سایت به شرح زیر است [۱]:

- انتخاب تصادفی نقاط پایش توان
- انتخاب سایت‌های تعیین‌شده توسط رگولاتور
- انتخاب سایت‌هایی که از نظر آماری نماینده‌ی خوبی از کل منطقه هستند
- انتخاب محل پایش بر اساس گزارش‌ها و شکایات مشترکین
- انتخاب محل اتصال بارهای مهم و مشترکین حساس
- پایش کیفیت توان در محل‌هایی با بیش‌ترین احتمال وقوع مشکلات کیفیت توان در آن‌ها
- انتخاب سایت‌ها و نقاطی که از نظر بهره‌برداری اهمیت دارند

هر روش به‌کار رفته، به‌منظور تعیین محل پایش کیفیت توان شبکه با اهداف مشخصی دنبال می شود. در شرایط فعلی که محل سایت‌های پایش کیفیت توان از قبل تعیین‌شده (محل کنتورهای هوشمند)، عملاً از روش تصادفی برای تعیین محل سایت‌های پایش کیفیت توان استفاده شده است. با این شرایط، بسته به هدف یا اهداف پایش کیفیت توان، نحوه‌ی استفاده از داده‌های حاصل از پایش، متفاوت است. در این فصل، ابتدا تأثیر اهداف پایش کیفیت توان در ارائه‌ی شاخص‌های کلی کیفیت توان توضیح داده شده و سپس متناسب با بضاعت موجود، اهداف مناسب جهت پایش کیفیت توان تعیین شده است. در بخش انتهایی این فصل نیز شاخص تجمیعی کیفیت توان پیشنهادی ارائه شده است.

۴-۲- دیدگاه کلی در ارائه‌ی شاخص تجمیعی کیفیت توان

ارائه‌ی شاخص‌های کلی و سیستمی به مدیران شبکه کمک می‌کند تا اطلاعات مفیدی از شبکه را در مدت زمان کمی به‌دست آورند و در نتیجه، فرآیند تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی ساده‌تر و سریع‌تر می‌شود. همان‌طور که در فصل قبل به تفصیل بیان شد، شاخص‌های کیفیت توان، هر یک به تنهایی بیان‌گر وضعیت یکی از اختلالات کیفیت توان بوده و

مبتنی بر اندازه‌گیری در نقطه‌ی اتصال (PCC) هستند. با این حال، به‌منظور ارزیابی کلی کیفیت توان یک سیستم، شاخص‌های مبتنی بر PCC کافی نیستند. ارزیابی کلی می‌تواند بر اساس تجمیع شاخص‌های کیفیت توان تکی صورت گیرد. فرآیند تجمیع شاخص‌ها شدیداً به اهداف پایش کیفیت توان بستگی دارد.

هر یک از اغتشاشات کیفیت توان، اثرات نامطلوب متفاوتی بر شبکه و مشترکین دارد. بنابراین، پایش کیفیت توان می‌تواند با اهداف متفاوتی صورت پذیرد. با فرض استفاده از روش وزن‌دهی برای تعیین شاخص کلی کیفیت توان سیستم، نحوه‌ی استخراج و اعمال ضرایب به‌صورت مرحله به مرحله انجام خواهد گرفت.

مرحله‌ی اول: در ابتدا هدف از پایش کیفیت توان تعیین می‌گردد که در این پروژه، با توجه به بضاعت موجود، چهار هدف: ۱. تطابق با الزامات ۲. ارزیابی عملکرد / تجزیه و تحلیل و ۳. عیب‌یابی ۴. توصیف سایت مدنظر است.

مرحله‌ی دوم: در این مرحله، ادوات اندازه‌گیری هوشمند با هدف برداشت پارامترهای کیفیت توان، مورد بررسی قرار می‌گیرند. ادوات اندازه‌گیری هوشمند، شامل کنتورهای فهام و کنتورهای MK6E هستند که توانایی برداشت و ثبت اطلاعات مرتبط با کیفیت توان را دارند. این کنتورها اطلاعات مرتبط با کیفیت توان را از طریق MDM به سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان ارسال می‌کنند.

مرحله‌ی سوم: در این مرحله، اسناد موجود درمورد ادوات اندازه‌گیری هوشمند مانند سند FID2 مورد مطالعه قرار گرفته و پارامترهای پایش کیفیت توان که توسط این ادوات ثبت و به MDM ارسال شده است، بررسی می‌شوند. از پارامترهای کیفیت توان که توسط کنتورهای فهام و MK6E برداشت می‌شوند، برای محاسبه‌ی شاخص تجمیعی کیفیت توان استفاده خواهد شد.

مرحله‌ی چهارم: نرمالیزه‌کردن پارامترهای کیفیت توان

در این مرحله، پارامترهای کیفیت توان استخراج شده با مقادیر مرجعی مقایسه شده و نرمالیزه می‌شوند. مقادیر مرجع پیشنهادی در این مرحله، تا حد امکان، محدوده‌ی مجاز در استاندارد است.

مرحله‌ی پنجم: تعیین ویژگی‌های سایت پایش

در این مرحله، ویژگی‌های مربوط به سایت‌های پایش کیفیت توان تا حد امکان استخراج می‌شود. ویژگی‌های مذکور می‌تواند مربوط به بارهای متصل‌شده، آرایش شبکه و ... باشد.

مرحله‌ی ششم: تعیین تابع هدف پایش کیفیت توان

تابع هدف پایش کیفیت توان بر میزان تأثیر هر اغتشاش کیفیت توان و ویژگی‌های مؤثر هر سایت اثرگذار است. به‌عنوان مثال، در صورتی‌که کاهش تلفات شبکه مدنظر باشد، تأثیر اعوجاج هارمونیکی کل بر شاخص تجمیعی بیش‌تر خواهد بود.

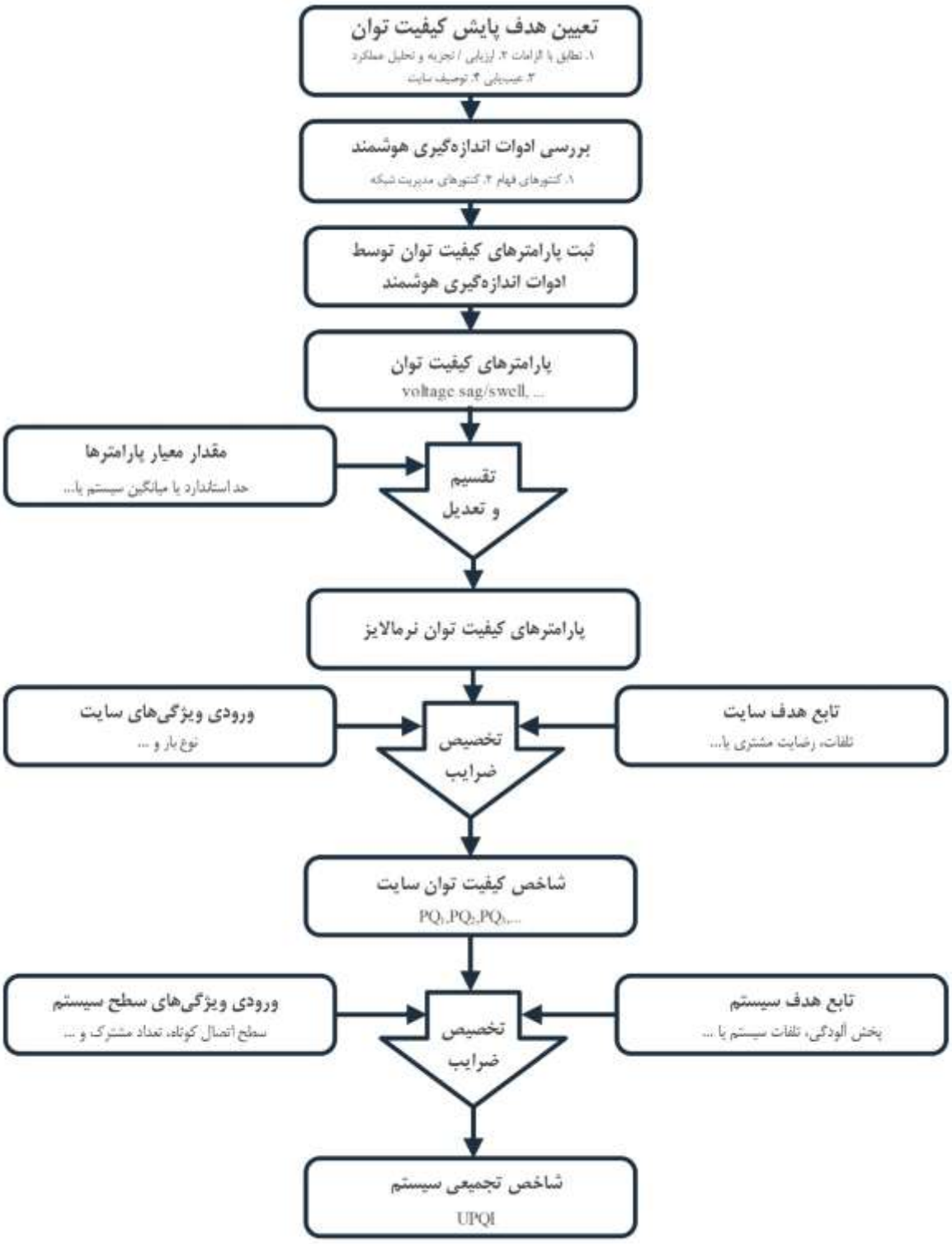
مرحله‌ی هفتم: تعیین شاخص تجمیعی سایت با تخصیص ضرایب وزنی هر یک از پارامترهای کیفیت توان

در این مرحله، به‌منظور تعیین شاخص کلی کیفیت توان در هر سایت، ضرایب وزنی هر یک از ویژگی‌های سایت بر اساس تابع هدف اتخاذ شده، تعیین می‌شود.

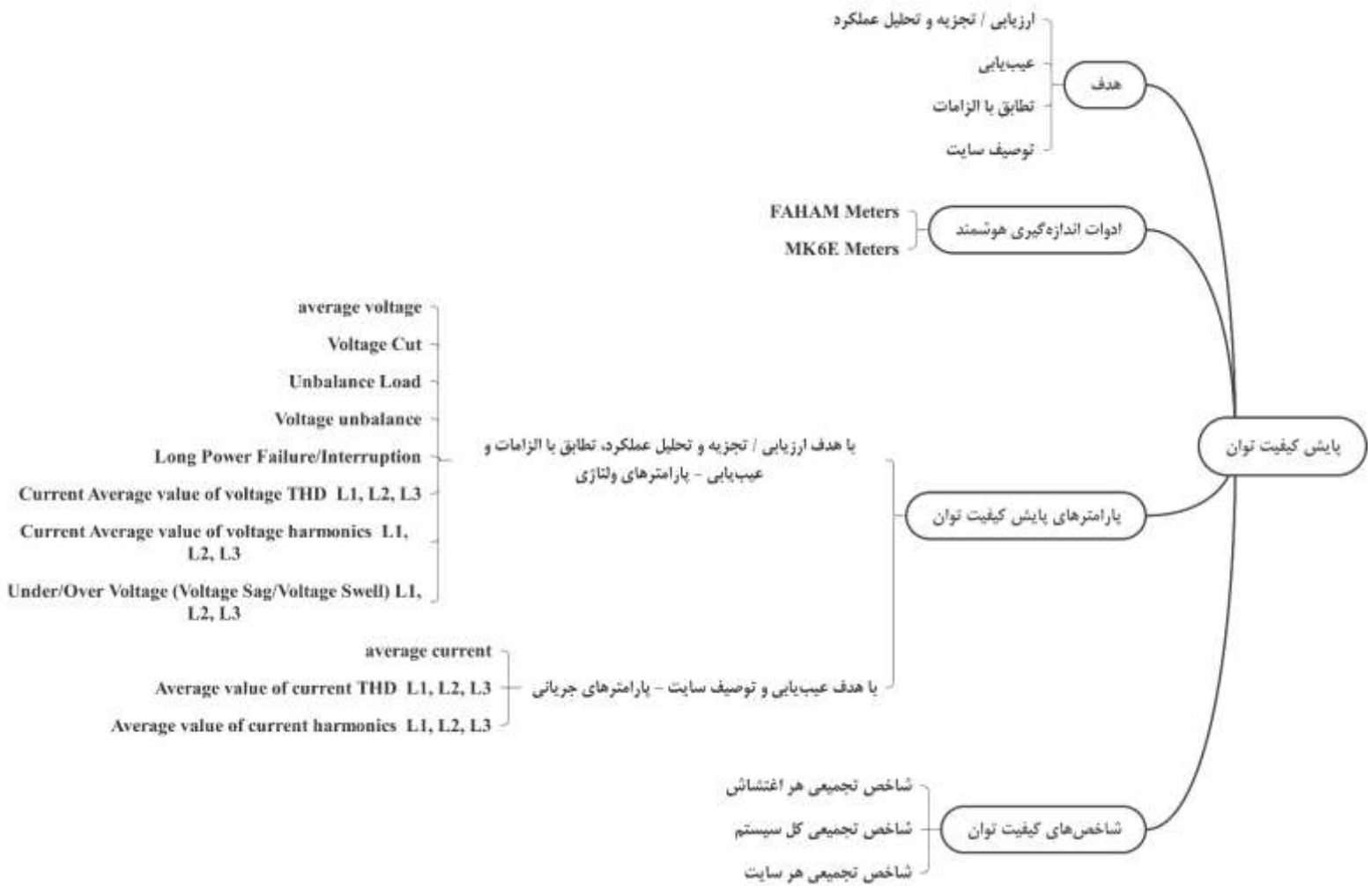
مرحله‌ی هشتم: تعیین شاخص تجمیعی سیستم با تخصیص ضرایب وزنی هر یک از ویژگی‌های سایت

در این مرحله، به‌منظور تعیین شاخص کلی کیفیت توان در سطح سیستم، ضرایب وزنی هر یک از ویژگی‌های سایت تعیین می‌شود و بر اساس ضرایب وزنی مختلف به‌دست آمده، شاخص کلی در سطح سیستم ارائه می‌شود.

شکل ۴-۱ روند بیان‌شده را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱- ساختار کلی ارائه‌شده به‌منظور تعیین شاخص تجمیعی کیفیت توان



شکل ۴-۲- اهداف، ادوات اندازه‌گیری، پارامترهای پایش و شاخص‌های سامانه‌ی پایش کیفیت توان

۴-۲-۱- توابع هدف ارائه‌ی شاخص یکپارچه

همان‌طور که در بخش قبل بیان شد، اهداف مختلفی به منظور پایش کیفیت در نظر گرفته می‌شود. این اهداف باید در روابط مربوط به محا سبه‌ی شاخص‌های تجمیعی سایت و سی ستم مدنظر قرار گیرند. به عنوان مثال در [۵۷]، یک روش مبتنی بر ارزش برای ارزیابی یکپارچه‌ی قابلیت اطمینان و عملکرد کیفیت توان یک سیستم قدرت ارائه شده است. در این پژوهش، رویدادهای کیفیت توان و قابلیت اطمینان در سه کلاس سوءعملکرد، کاهش طول عمر تجهیزات (افزایش سن تجهیزات) و تلفات د سته‌بندی شده ا ست. در مورد سوءعملکرد، هزینه‌ای که پدیده‌های مختلف کیفیت توان ایجاد می‌کنند محاسبه شده است. در مورد سن، فقط شاخص هارمونیک باعث افزایش سن تجهیزات می‌شود و در مورد تلفات، هارمونیک و انحراف ولتاژ تلفات را افزایش می‌دهند. با ارائه‌ی تابع هزینه برای هر یک از شاخص‌ها در زیربخش‌ها و جمع این توابع هزینه، شاخص کل به صورت یک تابع هزینه به‌د ست می‌آید. همان‌طور که در بخش قبل بیان شد، در دو سطح سایت و سی ستم، تابع هدف می‌تواند بر تجمیع شاخص‌ها تأثیرگذار با شد که در ادامه، تو ضیح بیش‌تری در این خصوص ارائه می‌شود.

در سطح سایت، برای تجمیع شاخص‌های تکی اغتشاشات کیفیت توان باید ضرایب وزنی هر شاخص را اختصاص داد. بدین منظور، تعیین میزان اهمیت هر شاخص بستگی به هدف بررسی کیفیت توان در سایت مورد نظر دارد. به‌عنوان مثال، اگر در یک سایت هدف رضایت مشترک با شد، ضرایب هر شاخص بستگی به نوع بار دارد؛ توضیح آن که برای بارهای خانگی، عدم‌تعادل ولتاژ اهمیت کم‌تری دارد؛ درحالی که در بارهای صنعتی اهمیت عدم‌تعادل بیش‌تر ا ست. هم‌چنین، در مورد فلیکر نیز در بارهایی که رو شنایی برای آن‌ها اهمیت دارد، یک اولویت ا ست و در سایر بارها اولویت پایین‌تری دارد. بنابراین، برای تجمیع شاخص‌ها در سطح یک سایت، باید هدف از برر سی پارامترهای کیفیت توان م شخص با شد و بر ا ساس آن شاخص‌ها رتبه‌بندی شوند. تو ضیح دقیق‌تر این ا ست که بر ا ساس هدف پایش کیفیت توان، اولویت معیارهای رتبه‌بندی شاخص‌های کیفیت توان مشخص می‌شود. به عنوان مثال، در صورتی که رضایت مشترک هدف با شد، احتمالاً سطح بار مصرفی مشترک تأثیری در رتبه‌بندی شاخص‌های کیفیت توان نخواهد داشت.

در سطح سی ستم، برای تجمیع شاخص‌های کیفیت توان تمام سایت‌ها، ضرایب مربوط به پارامترهای ولتاژی و جریانی هر سایت بر ا ساس هدف سی ستم پایش کیفیت توان اخت صاص می‌یابد. به‌عنوان مثال، در صورتی که هدف پایش کیفیت توان، کاهش تلفات سیستم باشد، اهمیت کیفیت توان در سایت‌هایی که در انتهای خطوط بلند شبکه قرار دارند بیش‌تر است؛ در حالی‌که اگر هدف، میزان انتشار آلودگی (جریانی) کیفیت توان باشد، آلودگی مربوط به سایت‌هایی که سطح ات صال کوتاه پایین‌تری دارند، اهمیت بیش‌تری خواهند دا شت. تو ضیح دقیق‌تر آن که بر ا ساس هدف پایش کیفیت توان، معیار ق ضاوت یا ویژگی‌های با اهمیت هر سایت م شخص شده و اولویت‌بندی می شود؛ سپس، بر مبنای اولویت ویژگی‌ها، ضرایب وزنی هر سایت محاسبه می‌شود.

۴-۲-۲- ویژگی‌های سایت پایش کیفیت توان

در بخش قبل بیان شد که به‌منظور وزن‌دهی شاخص‌ها، ویژگی‌های مختلفی از سایت‌های پایش کیفیت توان می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. ویژگی‌های مدنظر شامل موارد زیر است. این ویژگی‌ها به ویژه در مراحل ایجاد یک سیستم پایش کیفیت توان به منظور بهینه‌کردن سایت‌های منتخب، موردتوجه قرار می‌گیرد. به‌عنوان نمونه در [۵۸] عوامل و ویژگی‌های مؤثر برای انتخاب سایت‌های پایش کیفیت توان به تفصیل موردبررسی قرار گرفته است. در ادامه، برخی از مهم‌ترین ویژگی‌ها به‌اختصار بیان شده است.

۴-۲-۲-۱- سطح اتصال کوتاه:

هر یک از سایت‌های پایش کیفیت توان با توجه به موقعیت قرار گرفتن در سیستم قدرت، سطح اتصال کوتاه مشخصی بر حسب MVA دارند. سطح اتصال کوتاه از این جهت حائز اهمیت است که به نوعی میزان گسترش آلودگی‌های کیفیت توان در سطح شبکه را نشان می‌دهد. بنابراین سطح اتصال کوتاه به‌عنوان یک ویژگی مهم در ارائه‌ی شاخص سیستمی کیفیت توان باید مورد توجه واقع شود.

۴-۲-۲-۲- نوع بار:

سایت‌های پایش کیفیت توان می‌توانند شامل بارهای صنعتی، تجاری، خانگی و یا ترکیبی از آن‌ها باشند. نوع بار بر میزان اهمیت پارامترهای کیفیت توان و اولویت آن‌ها تأثیرگذار است.

۴-۲-۲-۳- میزان بار مصرفی:

سایت‌های پایش کیفیت توان، بسته به این که در مناطق با چگالی بار بالا (مثلاً مناطق شهری) و یا چگالی بار پایین (مانند مناطق رو ستایی) قرار گرفته‌اند، ضریب اهمیت متفاوتی دارند. در صورتی که اغت شا شات کیفیت توان در سایت با میزان بار مصرفی بالا بیش‌تر باشد، نشان‌دهنده‌ی درگیری حجم زیادی از مشترکین با پدیده‌های کیفیت توان است؛ در صورتی که سایت‌های بار میزان بار مصرفی پایین، اهمیت کم‌تری دارند.

۴-۲-۲-۴- تعداد مشترکین:

می‌توان در مواردی برای ارائه‌ی شاخص تجمیعی کیفیت توان، وزن هر سایت را بر اساس تعداد مشترکین متصل در سایت پایش کیفیت توان درنظر گرفت. تعداد مشترکین، به‌ویژه در مواردی که هدف پایش کیفیت توان افزایش رضایت مشترک باشد، اهمیت بالایی دارد.

بنابر اهداف پایش کیفیت توان، می‌توان ویژگی‌های دیگری نیز برای سایت‌های پایش درنظر گرفت. به‌عنوان مثال، طول خطوط نیز می‌تواند در برخی اهداف پایش کیفیت توان مانند کاهش تلفات مؤثر باشد. علاوه بر موارد مذکور، می‌توان ویژگی‌هایی را به‌صورت ترکیبی نیز تعریف کرد. به‌عنوان مثال، نسبت میزان بار مصرفی بر سطح اتصال کوتاه

سایت پایش کیفیت توان که معمولاً "نسبت بار" خوانده می‌شود نیز قابل‌تعریف است. در [۴] تأثیر برخی از ویژگی‌های سایت پایش کیفیت توان بر وضعیت کلی کیفیت توان بررسی شده است.

۴-۳- شاخص تجمیعی با هدف رؤیت‌پذیری وضعیت کیفیت توان شبکه

یکی از اهداف مهم پایش اغتشاشات کیفیت توان، دست‌یابی به حداکثر رؤیت‌پذیری وضعیت کلی کیفیت توان شبکه است. بدین منظور، باید سایت‌های پایش کیفیت توان به‌گونه‌ای انتخاب شوند که نماینده‌ی کل شبکه باشند. بنابراین، در مرحله‌ی نصب تجهیزات پایش، سعی می‌شود که تعداد سایت‌های نمونه‌ی منتخب از جهات مختلف با توزیع آماری کل سایت‌های سیستم، هم‌خوانی داشته باشد. به‌عنوان مثال در صورتی که در کل سیستم ٪۳۰ بارها از نوع صنعتی هستند، سعی می شود در بین سایت‌های نمونه‌برداری شده، حدود ٪۳۰ مربوط به بارهای صنعتی باشند. هم‌چنین از نظر توزیع جغرافیایی نیز سعی می‌شود این مهم رعایت شود.

با توجه به این که سایت‌های پایش کیفیت توان در پروژه‌ی فعلی، همان کنتورهای فهام و بازار برق در شبکه هستند و نیازی به رعایت موارد فوق در تعیین محل نصب کنتورها نبوده، به‌منظور دست‌یابی به حداکثر رؤیت‌پذیری در شرایط فعلی (از پیش ثابت بودن محل سایت‌های پایش) باید شاخص تجمیعی به‌گونه‌ای درنظر گرفته شود که این مورد تا حدودی جبران شود. بدین منظور، ضرایب وزنی و ویژگی‌هایی از سایت‌های پایش کیفیت توان، مطابق آن‌چه در ادامه آورده شده، در فرآیند ارزیابی شاخص کیفیت توان لحاظ می‌شود.

۴-۳-۱- ویژگی‌های مؤثر هر سایت

به منظور دست‌یابی به حداکثر رؤیت‌پذیری وضعیت کیفیت توان شبکه، باید ویژگی‌هایی از سایت‌های پایش کیفیت توان شبکه درنظر گرفته شود که منعکس‌کننده‌ی میزان تراکم بار و مشترک در آن سایت بوده و توپوگرافی شبکه را نیز تا حدی نشان دهد. میزان بار هر سایت از نظر تعداد مشترکین درگیر با اغتشاشات کیفیت توان اهمیت دارد و توپوگرافی شبکه نیز نشان دهنده‌ی قابلیت انتشار آلودگی کیفیت توان توسط منشأ (سایت مورد نظر) در شبکه است. هم‌چنین، همان‌طور که در بخش قبل ذکر شد، انطباق درصد هر نوع بار (مثلاً خانگی، تجاری یا ...) در سایت‌های نمونه با کل سیستم باید وجود داشته باشد. تعیین این ویژگی (نوع بار) برای سایت‌های پایش موجود (کنتورهای هوشمند)، به سادگی امکان‌پذیر نیست. از طرفی با توجه به فراوانی[۱] و پراکندگی[۲] سایت‌های پایش (کنتورها) در کل سیستم، این موضوع تا حد زیادی برآورده می‌شود.

حال ممکن است این شائبه وجود داشته باشد که آیا تعداد کنتورهای هوشمند در شبکه جهت برآورد صحیح کیفیت توان کافی است یا خیر؟ در حال حاضر حدود ۳۰ میلیون مشترک در شبکه وجود دارد که از این تعداد، حدود ۵۰۰ هزار مشترک به کنتورهای هوشمند مجهز هستند. با در نظر گرفتن این‌که بار تمام مشترکین دیماندی از طریق کنتورهای

[۱] زیاد بودن

[۲] توزیع جغرافیایی مناسب

هوشمند تأمین می‌شود، بخش عمده‌ای از بار شبکه قابل پایش از طریق کنتورهای هوشمند خواهد بود. در کنار این موضوع، باید توجه داشت که کنتورهای MK6E، تقریباً تمام فیدرهای شبکه‌ی توزیع را پوشش می‌دهند و لذا، می‌توانند دید مناسبی از وضعیت شبکه فراهم آورند. با در نظر گرفتن جمیع این موارد و هم‌چنین با توجه به محاسبه‌ی آماری صورت گرفته با استفاده از ابزار [۵۹]، با confidence level برابر با ۹۵٪ و Confidence interval برابر با ۰,۲، برای جمعیت ۳۰ میلیون مشترک، تعداد نمونه مورد نیاز برابر با ۲۳۸۱۹۴ خواهد بود؛ در حالی که در شبکه‌ی برق کشور، ۵۰۰ هزار مشترک مجهز به کنتور هوشمند وجود دارد و در نتیجه، تعداد کنتورهای هوشمند جهت برآورد وضعیت کیفیت توان شبکه کافی به نظر می‌رسد.

به‌طور کلی ویژگی‌های زیر در ارائه‌ی شاخص سیستمی کیفیت توان در سایت‌های پایش شده، در نظر گرفته می شود:

- **میزان بار مصرفی**

میزان بار مصرفی در یک سایت پایش کیفیت توان، از این جهت اهمیت دارد که حجم بارهای درگیر با اغتشاشات کیفیت توان را نشان می‌دهد. میزان بار مصرفی به صورت مطلق برای کیفیت توان اهمیت کمی دارد. آن‌چه برای پایش کیفیت توان اهمیت دارد، میزان بار نسبی هر سایت پایش کیفیت توان است. بدین معنی که سایت‌هایی که بار مصرفی بالاتری دارند، اهمیت بیش‌تر و سایت‌های کم‌مصرف اهمیت کم‌تری در ارزیابی وضعیت کلی کیفیت توان دارند. بنابراین می‌توان نسبت بار مصرفی سایت به کل بار مصرفی شبکه را به عنوان ویژگی هر سایت تعریف کرد. به این ترتیب، کیفیت توان مناطقی که چگالی بار بیش‌تری دارند، اهمیت بیش‌تری پیدا می‌کند.

- **سطح اتصال کوتاه**

شناسایی اغتشاشات کیفیت توان (ولتاژی و همچنین جریانی) در همه‌ی نقاط شبکه (حتی نقاط با چگالی بار مشابه) اهمیت یکسانی ندارد و نیاز است با توجه به سطح اتصال کوتاه سایت‌های شبکه، نسبت به ترکیب کردن اندازه‌گیری‌های صورت گرفته در مورد کیفیت توان اقدام نمود. جهت محاسبه‌ی شاخص کیفیت توان سیستم (یعنی برآوردی از سطح متوسط پارامترهای ولتاژی کیفیت توان در سایت‌های یک سیستم) و در واقع، توسعه‌ی اندازه‌گیری‌های محدود در تعدادی از سایت‌های مشخص به کل سیستم، ضرایب پارامترهای ولتاژی و جریانی باید به شکل مناسب انتخاب شوند.

به منظور بررسی ارتباط آلودگی کیفیت توان ولتاژی و جریانی در یک سایت، رابطه‌ی ۴-۱ بر اساس اصل برهم‌نهی[1] نوشته شده است. در این رابطه، N تعداد سایت‌های دارای اندازه‌گیری (کنتور هوشمند) در شبکه، VP_i آلودگی کیفیت توان ولتاژی اندازه‌گیری شده در سایت i، IP_i آلودگی کیفیت توان جریانی اندازه‌گیری شده در سایت i،

[1] Superposition principle

Z_{ii} امپدانس معادل شبکه از دید سایت i (با توجه به بر واحد (per unit) بودن متغیرها، معادل عکس سطح اتصال کوتاه در سایت i که در ادامه با Isc_i نمایش داده خواهد شد است)، $f_i(\overrightarrow{IP_m})$ اثر سایر منابع آلوده‌کننده (به جز بار خود سایت i) بر سایت i و $\overrightarrow{IP_m}$ بردار آلودگی سایت‌های مختلف مورد سنجش است. با توجه به این که تمامی مشترکین دیماندی مجهز به کنتور هوشمند هستند، فرض شده است که تمامی سایت‌های آلوده‌کننده دارای اندازه‌گیری هستند و لذا، f_i تنها تابعی از $\overrightarrow{IP_m}$ است.

$$VP_i = Z_{ii}IP_i + f_i(\overrightarrow{IP_m}) \qquad 0 < i \leq N \qquad (۴-۱)$$

با استفاده از رابطه‌ی ۴-۱، اثر سایر منابع آلوده‌کننده (به جز بار خود سایت i) بر سایت i یعنی $f_i(\overrightarrow{IP_m})$ مطابق با رابطه‌ی ۴-۲ بدست می‌آید. در این رابطه به جای Z_{ii}، معکوس Isc_i قرار گرفته است.

$$f_i(\overrightarrow{IP_m}) = VP_i - IP_i/Isc_i \qquad (۴-۲)$$

با استفاده از رابطه‌ی ۴-۲ و داشتن f_i برای هر یک از سایت‌های مجهز به اندازه‌گیری، می‌توان میزان متوسط آلودگی ناشی از شبکه بر روی هر سایت را مطابق با رابطه‌ی ۴-۳ تقریب زد. در این رابطه، به منظور این که مثبت و منفی بودن آلودگی روی سایت‌های مختلف با هم خنثی نشوند، از اندازه‌ی $f_i(\overrightarrow{IP_m})$ استفاده شده است.

$$\bar{f} = \frac{\sum_{i=1}^{i=N}|f_i(\overrightarrow{IP_m})|}{N} \qquad (۴-۳)$$

با داشتن برآوردی از میزان متوسط آلودگی ناشی از شبکه بر روی هر سایت یعنی $\bar{f}$ مطابق با رابطه‌ی ۴-۳، می‌توان نسبت به تخمین میزان آلودگی بر روی سایر سایت‌های شبکه و نهایتاً، تخمین میزان متوسط آلودگی ولتاژی شبکه که با $\overline{|VP|}$ نمایش داده می‌شود، مطابق با رابطه‌ی ۴-۴ اقدام نمود. در این رابطه، N_s تعداد سایت‌های سیستم است. توجه شود که در رابطه‌ی ۴-۴، از این فرض استفاده شده است که منشأ آلودگی کیفیت توان شبکه تنها بر روی سایت‌هایی قرار گرفته است که دارای اندازه‌گیری (کنتور هوشمند) هستند[۱].

$$\overline{|VP|} = \frac{\sum_{i=1}^{i=N}|VP_i| + (N_s - N) \times \bar{f}}{N_s} \qquad (۴-۴)$$

با توجه به این که تجهیز اندازه‌گیری موجود در سایت‌ها، به طور معمول آلودگی‌های ولتاژی و جریانی را به صورت برداری اندازه‌گیری نمی‌کنند و فاز Isc_i نیز معمولاً مشخص نیست، $|f_i(\overrightarrow{IP_m})|$ از رابطه‌ی ۴-۲ با در نظر گرفتن بدترین حالت، مطابق با رابطه‌ی ۴-۵ قابل محاسبه خواهد بود.

$$|f_i(\overrightarrow{IP_m})| = |VP_i| + |IP_i|/|Isc_i| \qquad (۴-۵)$$

[۱] با توجه به این که در طرح فهام، تمامی مشترکین دیماندی به کنتورهای هوشمند مجهز شده‌اند و منشأ آلودگی در شبکه عمدتاً این مشترکین هستند، این فرض قابل قبول است.

با ساده‌سازی رابطه‌ی ۴-۴ و با استفاده از رابطه‌ی ۴-۵، رابطه‌ی ۴-۶ حاصل می‌شود. ϑ در این رابطه، برابر با نسبت سایت‌های مجهز به کنتور هوشمند به کل سایت‌ها در شبکه تعریف می‌شود.

$$\overline{|\boldsymbol{VP}|} = \frac{\sum_{\boldsymbol{i=1}}^{\boldsymbol{i=N}} |\boldsymbol{VP_i}| + (\boldsymbol{N_s} - \boldsymbol{N}) \times \bar{\boldsymbol{f}}}{\boldsymbol{N_s}} = \frac{\boldsymbol{N} \times \overline{|\boldsymbol{VP_i}|} + (\boldsymbol{N_s} - \boldsymbol{N}) \times \bar{\boldsymbol{f}}}{\boldsymbol{N_s}}$$

$$= \boldsymbol{\vartheta} \times \overline{|\boldsymbol{VP_i}|} + (\boldsymbol{1} - \boldsymbol{\vartheta}) \times \frac{\sum_{\boldsymbol{i=1}}^{\boldsymbol{i=N}} (|\boldsymbol{VP_i}| + |\boldsymbol{IP_i}|/|\boldsymbol{Isc_i}|)}{\boldsymbol{N}}$$

$$= \vartheta \times \overline{|VP_i|} + (1 - \vartheta) \times (\overline{|VP_i|} + \overline{|IP_i|/|Isc_i|}) \Rightarrow$$

$$\overline{|VP|} = \overline{|VP_i|} + (1 - \vartheta) \times (\overline{|IP_i|/|Isc_i|}) \qquad (۴-۶)$$

مطابق رابطه‌ی ۴-۶ اندازه‌گیری‌های ولتاژی آلودگی کیفیت توان با ضریب واحد و اندازه‌گیری های جریانی‌ها آلودگی کیفیت توان، پس از تقسیم بر جریان اتصال کوتاه سایت مربوطه، با ضریب $\vartheta - 1$ باید در محاسبه‌ی شاخص ولتاژی کیفیت توان شبکه لحاظ شوند.

- **تعداد مشترکین**

تعداد م شترکین تغذیه شده در یک سایت پایش کیفیت توان، به‌منظور تعیین اهمیت سایت مذکور از نظر و ضعیت کیفیت توان مورد توجه قرار می‌گیرد. به شکل خاص، در مورد پارامترهای گسسته‌ی فرورفتگی، برآمدگی و وقفه، تعداد مشترکین درگیر در محاسبه‌ی شاخص تجمیعی متناسب با مشترکین تحت تأثیر در نظر گرفته می‌شوند.

۴-۳-۲- روش وزن‌دهی

یکی از روش‌های قابل‌استفاده به‌منظور دست‌یابی به شاخص سیستمی کیفیت توان، وزن‌دهی به شاخص‌های تکی کیفیت توان در هر سایت بوده و یکی از روش‌های تعیین ضرایب وزنی به شاخص‌های تکی، استفاده از ویژگی‌های سایت پایش کیفیت توان است، که ویژگی‌های موردنظر، در بخش قبل بیان شده است.

۴-۴- شاخص پیشنهادی

با توجه به مواردی که در بخش‌های قبل بیان شد، به‌منظور محاسبه‌ی شاخص تجمیعی در سطح سیستم، از ویژگی های مربوط به سایت‌های پایش کیفیت توان به‌منظور وزن‌دهی به شاخص‌های تکی پایش شده ا ستفاده می شود. روند کلی به‌دست آوردن شاخص کلی کیفیت توان سیستم به‌صورت زیر خلاصه شده است:

۱- اندازه‌گیری و تعیین شاخص‌های تکی کیفیت توان در یک سایت

۲- نرمالایز کردن شاخص‌های تکی و تشکیل ماتریس شاخص‌های تکی کیفیت توان

- تعیین معیار برای نرمالایز کردن
- نرمالایز کردن شاخص‌ها و تشکیل ماتریس شاخص‌های تکی کیفیت توان

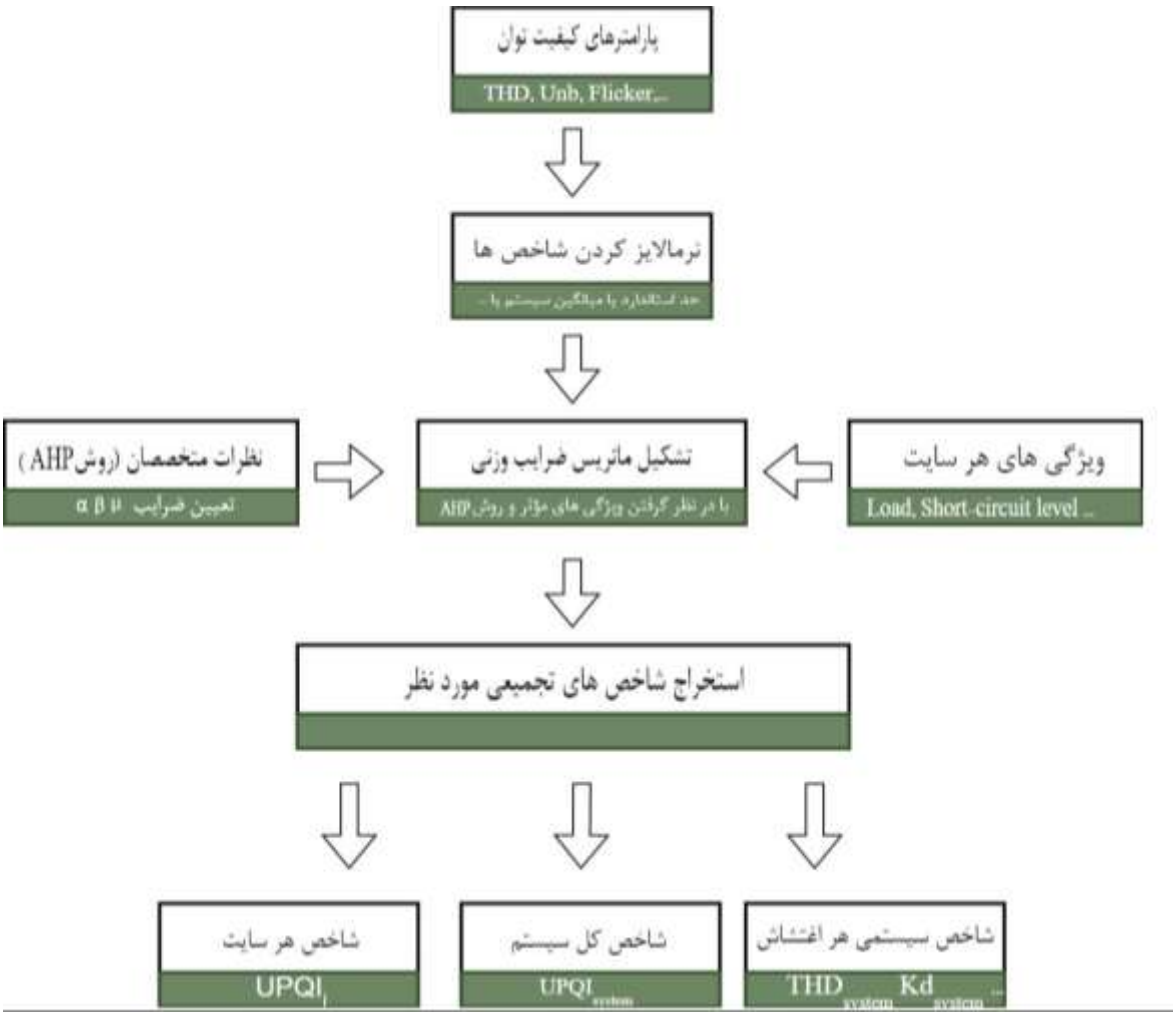
۳- تعیین ماتریس ضرایب وزنی شاخص‌ها در سایت‌های مختلف

- تعیین ویژگی‌های مؤثر هر سایت
- تعیین ماتریس ضرایب وزنی به ازای هر ویژگی
- رتبه‌بندی ویژگی‌های سایت برای هر اغتشاش کیفیت توان
- تعیین ماتریس قضاوت برای هر اغتشاش و مقادیر ویژه‌ی آن
- محاسبه‌ی ستون‌های ماتریس ضرایب وزنی با استفاده از مقادیر ویژه‌ی به‌دست آمده و بردار ضرایب وزنی

۴- محاسبه‌ی شاخص تجمیعی

- تعیین حاصل‌ضرب درایه به درایه در ماتریس شاخص‌های تکی کیفیت توان و ماتریس ضرایب وزنی
- تعیین شاخص تجمیعی هر سایت از مجموع سطرهای ماتریس حاصل‌ضرب
- تعیین شاخص تجمیعی هر اغتشاش برای کل سیستم از مجموع ستون‌های ماتریس حاصل‌ضرب
- تعیین شاخص کلی سیستم از مجموع همه‌ی درایه‌های ماتریس حاصل‌ضرب

مراحل مذکور به‌صورت خلاصه و شماتیک در شکل ۴-۲ بیان شده است.



شکل ۴-۲- مراحل تعیین شاخص تجمیعی پیشنهادی

۴-۴-۱- شاخص‌های تکی کیفیت توان

اگر تمام شاخص‌های کیفیت توان تکی ولتاژی و جریانی پایش‌شده در یک سایت را در برداری قرار دهیم و آن را $\bar{P}$ بنامیم، بردار شاخص‌های تکی کیفیت توان در سایت پایش‌شده j ام به‌صورت ۴-۷ خواهد بود.

$$\bar{P}_j = \left[THD_{V,j} \quad K_{d,j} \quad H_{3,j} \quad H_{5,j} \quad \dots \quad DSI_{sag,j} \quad DSI_{swell,j} \right] \qquad (۴-۷)$$

در بردارهای موجود در ۴-۷، اندیس j مربوط به شماره‌ی سایت پایش شده است. همان‌طور که مشاهده می شود، بردار مذکور شامل پدیده‌های گسسته و پیوسته‌ی کیفیت توان اندازه‌گیری شده است. هدف، دست یافتن به شاخص کلی کیفیت توان از مجموعه بردارهای اندازه‌گیری شده در تمام سایت‌های پایش کیفیت توان است. در مرحله‌ی اول، شاخص‌های کیفیت توان اندازه‌گیری شده با استفاده از مقادیر مجاز هر پارامتر در استاندارد نرمالایز می‌گردد. به این ترتیب، بردار شاخص‌های تکی نرمالایز شده به صورت ۴-۸ خواهد بود.

$$\bar{I}_j = \bar{P}_j \div \bar{P}_{\text{limit}} = \left[I_{1,j} \quad I_{2,j} \quad I_{3,j} \quad \dots \quad I_{M,j} \right]$$
$$\left[\frac{THD_{V,j}}{THD_{V,\text{limit}}} \quad \frac{K_{d,j}}{K_{d,\text{limit}}} \quad \frac{H_{3,j}}{H_{3,\text{limit}}} \quad \frac{H_{5,j}}{H_{5,\text{limit}}} \quad \dots \quad \frac{DSI_{sag,j}}{DSI_{sag,\text{limit}}} \quad \frac{DSI_{swell,j}}{DSI_{swell,\text{limit}}} \right] \qquad (۴-۸)$$

که در رابطه‌ی فوق $\bar{I}_j$ بردار شاخص‌های تکی نرمالایز شده در سایت j ام، $\bar{P}_{\text{limit}}$ بردار شامل مقادیر مجاز پارامترهای کیفیت توان و $I_{M,j}$ شاخص نرمالایز شده M ام از سایت j ام است. قابل ذکر است که در نرمالیزه کردن مقادیر جریانی کیفیت توان، باید از مقدار مجاز استاندارد مربوط به پارامتر جریانی مربوطه مطابق با IEC 61000-3 یا IEEE519 استفاده کرد.

به منظور ساده‌سازی نمایش روابط، مجموعه‌ی شاخص‌های تکی نرمالایز شده در یک ماتریس تجمیع شده است؛ به‌طوری که هر سطر ماتریس مذکور شاخص‌های مربوط به یک سایت را شامل می‌شود. شکل کلی ماتریس مذکور در ۴-۹ آمده است.

$$U = \begin{bmatrix} \bar{I}_1 \\ \bar{I}_2 \\ \dots \\ \bar{I}_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{1,1} & I_{2,1} & \dots & I_{M,1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ I_{1,N} & I_{2,N} & \dots & I_{M,N} \end{bmatrix} \qquad (۴-۹)$$

در ماتریس فوق، $I_{M,N}$، شاخص تکی نرمالایزشده‌ی مربوط به پارامتر M ام از سایت N ام است.

۴-۴-۲- محاسبه‌ی بردار شاخص تجمیعی

به منظور محاسبه‌ی شاخص تجمیعی، روش ضرایب وزنی قابل‌استفاده است. ضرایب وزنی مذکور به صورت ماتریس W که در ۴-۱۰ نمایش داده شده، درنظر گرفته می شود. ماتریس حاصل ضرب شاخص‌ها و ضرایب وزنی مطابق رابطه‌ی ۴-۱۱ محاسبه می‌شود.

$$W = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \dots & w_{1M} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_{N1} & w_{N2} & \dots & w_{NM} \end{bmatrix} \qquad (۴-۱۰)$$

$$T = W.U = \begin{bmatrix} w_{11}I_{1,1} & w_{12}I_{2,1} & \dots & w_{1M}I_{M,1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_{N1}I_{1,N} & w_{N2}I_{2,N} & \dots & w_{NM}I_{M,N} \end{bmatrix} \qquad (۴-۱۱)$$

به منظور استخراج شاخص‌های تجمیعی سایت و سیستم، می‌توان میانگین وزنی سطرها و ستون‌های ماتریس T را محاسبه کرد. در صورتی که میانگین درایه‌های هر ستون محاسبه شود، شاخص کیفیت توان یک اغتشاش برای سیستم به دست می‌آید و در صورتی که میانگین درایه‌های هر سطر محاسبه شود، شاخص یکپارچه برای هر سایت به دست

می‌آید. میانگین کل درایه‌های ماتریس نیز، یک شاخص تجمیعی واحد برای کل سیستم به دست می‌دهد. بنابراین، بردار شاخص‌های تکی سیستمی به صورت رابطه‌ی ۴-۱۲ به‌دست می‌آید.

$$\bar{I}_{sys}=\begin{bmatrix} I_1 & I_2 & \dots & I_M \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} \dfrac{\sum_{j=1}^{N} w_{j1} I_{1,j}}{\sum_{j=1}^{N} w_{j1}} & \dfrac{\sum_{j=1}^{N} w_{j2} I_{2,j}}{\sum_{j=1}^{N} w_{j2}} & \dots & \dfrac{\sum_{j=1}^{N} w_{jM} I_{M,j}}{\sum_{j=1}^{N} w_{jM}} \end{bmatrix} \quad (۴-۱۲)$$

که در ۴-۱۲، I_M شاخص تکی اغتشاش کیفیت توانِ M ام برای کل سیستم به‌صورت نرمالایز است. همان‌طور که در ۴-۱۲ پیداست، این شاخص از میانگین وزن‌دار اغتشاش M ام در سایت‌های مختلف به‌دست می‌آید. به‌عنوان مثال در صورتی که THD ولتاژ شاخص کیفیت توان اولی در بردار $\bar{I}_{sys}$ باشد، شاخص THD ولتاژ سیستم به‌صورت نرمالایزشده I_1 به‌صورت رابطه‌ی ۴-۱۳ به‌دست می‌آید.

$$I_1=\frac{\sum_{j=1}^{N} w_{j1} I_{1,j}}{\sum_{j=1}^{N} w_{j1}} \quad (۴-۱۳)$$

به‌طور مشابه، در صورتی که شاخص واحدی برای هر سایت موردنیاز باشد، مجموع درایه‌های روی هر سطر محاسبه خواهد شد. بنابراین بردار شاخص تجمیعی در سایت‌های پایش‌شده ($\overline{UPQI}$) به‌صورت رابطه‌ی ۴-۱۴ به دست می‌آید.

$$\overline{UPQI}=\begin{bmatrix} UPQI_1 \\ UPQI_2 \\ \dots \\ UPQI_N \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} \dfrac{\sum_{k=1}^{M} w_{1k} I_{k,1}}{\sum_{k=1}^{M} w_{1k}} \\ \dfrac{\sum_{k=1}^{M} w_{2k} I_{k,2}}{\sum_{k=1}^{M} w_{2k}} \\ \dots \\ \dfrac{\sum_{k=1}^{M} w_{Nk} I_{k,N}}{\sum_{k=1}^{M} w_{Nk}} \end{bmatrix} \quad (۴-۱۴)$$

در رابطه‌ی ۴-۱۴، $UPQI_N$ شاخص یکپارچه در سایت N ام است. همان‌طور که در ۴-۱۴ پیداست، شاخص یکپارچه در هر سایت از میانگین وزن‌دار شاخص‌های تکی در آن سایت به دست می‌آید.

هم‌چنین، شاخص تجمیعی کل سیستم برای همه پارامترها و سایت‌های پایش شده به صورت رابطه‌ی ۴-۱۵ به دست می‌آید.

$$UPQI_{System} = \frac{\sum_{j=1}^{N}\sum_{k=1}^{M} w_{jk} I_{k,j}}{\sum_{j=1}^{N}\sum_{k=1}^{M} w_{jk}} \qquad (۴-۱۵)$$

در رابطه‌ی ۴-۱۵، $UPQI_{System}$ شاخص کیفیت توان کل سیستم است.

۴-۴-۳- تشکیل ماتریس ضرایب وزنی

به منظور تشکیل ماتریس ضرایب وزنی W به صورت مرحله‌ای عمل می‌شود. ابتدا بردارهای مربوط به ویژگی‌های سایت پایش کیفیت توان به دست می‌آید و سپس برای هر اغتشاش کیفیت توان، ترکیب خطی از بردارهای مذکور در نظر گرفته می‌شود و در ستون‌های ماتریس ضرایب وزنی قرار می‌گیرد.

اولین گام برای تشکیل ماتریس ضرایب وزنی، ایجاد ضرایبی برای هر سایت با توجه به ویژگی‌های سایت است. ویژگی‌های موردنظر سایت در شاخص ارائه شده، میزان بار مصرفی، سطح اتصال کوتاه و تعداد مشترکین است. برای تشکیل ضرایب سایت مربوط به سطح اتصال کوتاه از رابطه‌ی ۴-۱۶ استفاده می‌شود.

$$W_{SCL} = \begin{bmatrix} \ddot{W}_{SCL,1} \\ \ddot{W}_{SCL,2} \\ \dots \\ \ddot{W}_{SCL,N} \end{bmatrix} \qquad (۴-۱۶)$$

در رابطه‌ی ۴-۱۶، W_{SCL} ماتریس بردار ضرایب وزنی مربوط به سطح اتصال کوتاه سایت‌ها است. در این رابطه، $\ddot{W}_{SCL,i}$ برداری سطری متناسب با سایت i است که درایه‌ی j ام آن در صورتی که پارامتر کیفیت توان ولتاژی باشد برابر ۱ بوده و در صورتی که پارامتر مذکور جریانی باشد، بر اساس رابطه‌ی ۴-۶ برابر با $(1-\vartheta)/|Isc_i|$ خواهد بود.

جهت در نظر گرفتن ویژگی میزان بار مصرفی هر سایت، ماتریس ضرایب مربوطه از رابطه‌ی ۴-۱۷ محاسبه می‌شود.

$$W_L = \begin{bmatrix} \ddot{W}_{L,1} \\ \ddot{W}_{L,2} \\ \dots \\ \ddot{W}_{L,N} \end{bmatrix} \qquad (۴-۱۷)$$

در رابطه‌ی ۴-۱۷، W_L ماتریس بردار ضرایب وزنی مربوط به میزان بار مصرفی سایت‌ها بوده $\ddot{W}_{SCL,i}$ برداری سطری است که هر یک از درایه‌های آن برابر با $L_i/(\sum_{i=1}^{N} L_i)$ می‌باشد. در این رابطه، L_i میزان بار مصرفی در سایت i ام است.

به‌طور مشابه، برای ویژگی تعداد مشترکین هر سایت نیز می‌توان ضرایب وزنی مربوط به تعداد مشترکین را از رابطه‌ی ۴-۱۸ به دست آورد.

$$W_{NC} = \begin{bmatrix} \ddot{W}_{NC,1} \\ \ddot{W}_{NC,2} \\ \cdots \\ \ddot{W}_{NC,N} \end{bmatrix} \qquad (۴-۱۸)$$

در رابطه‌ی ۴-۱۸، W_{NC} ماتریس بردار ضرایب وزنی مربوط به تعداد مشترکین سایت‌ها است. در این ماتریس $\ddot{W}_{NC,i}$ برای پارامترهای فرورفتگی، برآمدگی و وقفه، برداری سطری است که هر یک از درایه‌های آن برابر با $NC_i/(\sum_{i=1}^{N} NC_i)$می‌باشد. در این رابطه، NC_iتعداد مشترکین در سایت i ام است. $\ddot{W}_{NC,i}$ برای سایر پارامترها به شکلی است که تمام درایه‌ها برابر با هم بوده و جمع درایه‌ها برابر ۱ باشد.

با ترکیب خطی سه ماتریس W_{SCL}، W_Lو W_{NC}، ماتریس W مطابق با رابطه‌ی ۴-۱۹ ایجاد می‌شود.

$$W = [[x * \alpha_1 W_{SCL}(1) + y * \beta_1 W_L(1) + z * \mu_1 W_{NC}(1)]_{N\times 1} \quad \dots \quad [x * \alpha_M W_{SCL}(M) + y * \beta_M W_L(M) + z * \mu_M W_{NC}(M)]_{N\times 1}]_{N\times M} \qquad (۴-۱۹)$$

در رابطه‌ی ۴-۱۹ منظور از $W_{SCL}(j)$، $W_L(j)$ و $W_{NC}(j)$ ستون j ام ماتریس‌های وزندهی مربوطه است. همان‌طور که در رابطه‌ی ۴-۱۹ مشاهده می‌شود، هر ستون ماتریس ضرایب وزنی، ترکیب خطی از بردارهای مربوط به ویژگی‌های سایت است. بنابراین، به ازای هر اغتشاش کیفیت توان، با استفاده از ضرایب α، βو μ، وزن هر ویژگی تعیین می‌شود. ضرایب مذکور از AHP به‌دست می‌آید که جزئیات آن در بخش بعدی توضیح داده شده است.

۴-۴-۴- محاسبه‌ی ضرایب وزنی معیارها از روش AHP

در بخش قبل بیان شد که به منظور تجمیع شاخص‌ها بر اساس معیارهای سایت پایش از روش AHP استفاده می شود. بدین منظور برای هر اغتشاش کیفیت توان در سیستم، ابتدا ماتریس قضاوت تشکیل می شود. تشکیل ماتریس قضاوت بر اساس نظر متخصصان کیفیت توان و با مقایسه زوجی معیارها صورت می‌گیرد. سپس، مقادیر ویژه‌ی ماتریس قضاوت شکل گرفته که همان ضرایب معیارها (ضرایب α، βو μ) در بخش قبل هستند.

به‌عنوان مثال، اگر اولین اغتشاش اندازه‌گیری‌شده در بردار P، اعوجاج هارمونیکی کل (THD یا I_1) ولتاژ باشد، تأثیر هر معیار به‌صورت زوجی با یکدیگر مقایسه می‌شود و ماتریس قضاوت A_1 به‌صورت رابطه‌ی ۴-۲۰ به دست می آید.

$$A_1 = \begin{matrix} \\ L \\ SCL \\ NC \end{matrix} \begin{matrix} \begin{matrix} L & SCL & NC \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} 1 & a_{L,SCL} & a_{L,NC} \\ \frac{1}{a_{L,SCL}} & 1 & a_{SCL,NC} \\ \frac{1}{a_{L,NC}} & \frac{1}{a_{SCL,NC}} & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \qquad (۴-۲۰)$$

در رابطه‌ی ۴-۲۰، $a_{L,SCL}$ مقدار به‌دست آمده از مقایسه‌ی زوجی سطح اتصال کوتاه (SCL) و مقدار بار مصرفی (L) است. برای این مقادیر ترجیحی می‌توان از جدول ۴-۱ استفاده کرد.

جدول ۴-۱- عناصر ماتریس قضاوت در روش AHP برای تشکیل شاخص تجمیعی کیفیت توان [۵]

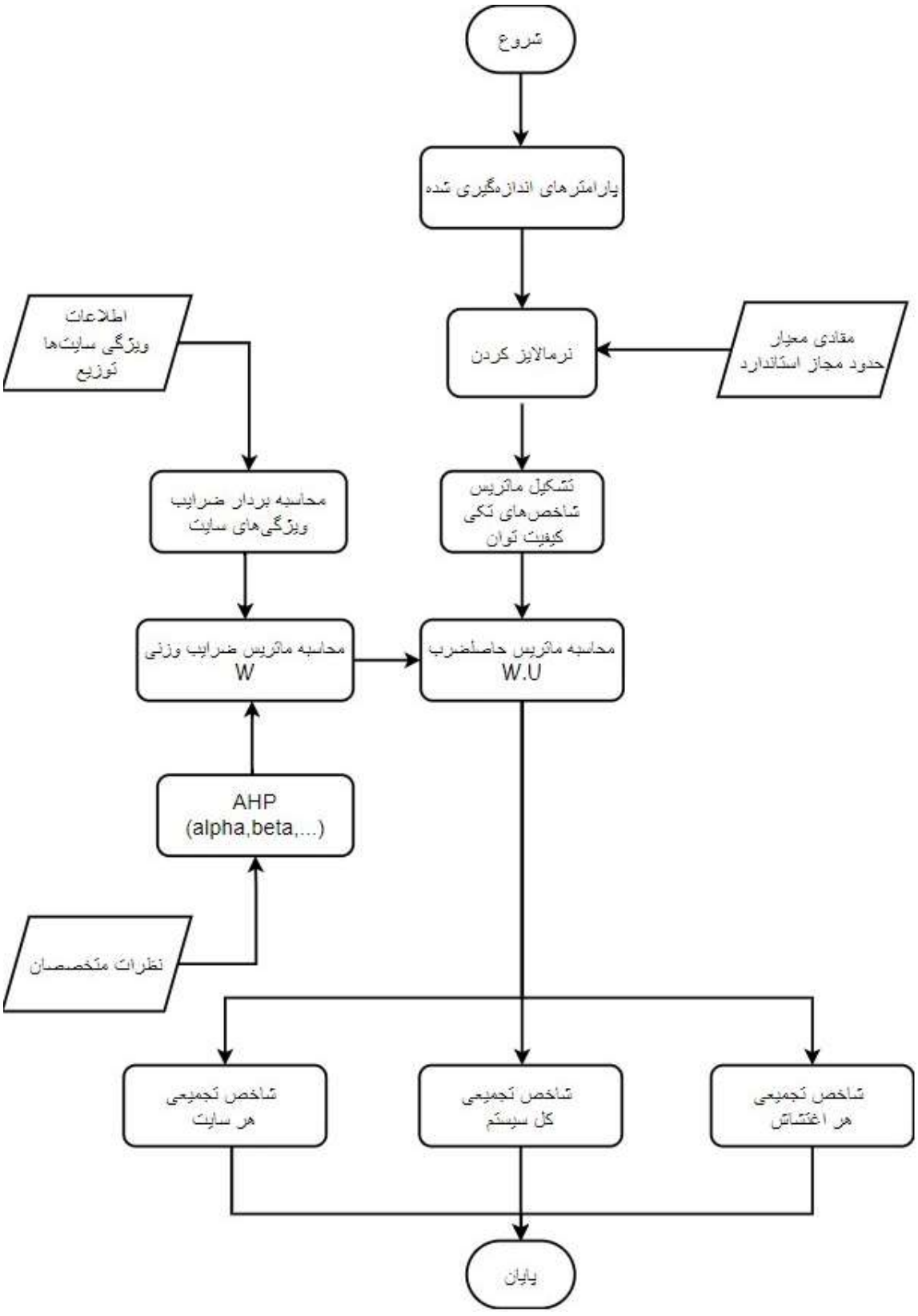
Value of a_{jk}	Interpretation
1	j is as important as k
3	j is somewhat more important in comparison to k
5	j is more important than k
7	j is strappingly more important than k
9	j is absolutely more important than k

مقادیر ویژه‌ی ماتریس قضاوت مربوط به اغتشاش اول (A_1) را ضرایب متناظر با ویژگی‌های مقایسه شده هر سایت می‌نامیم. یعنی ضرایب α_1، β_1 و μ_1 همان مقادیر ویژه‌ی A_1 هستند.

فرآیند مذکور، برای همه‌ی اغتشاشات کیفیت توان انجام شده و مقادیر ویژه همه ماتریس‌های قضاوت تعیین می شوند. با استفاده از مقادیر ویژه، همه‌ی ستون‌های ماتریس ضرایب وزنی به دست می‌آیند.

۴-۴-۵- جمع‌بندی و نکات تکمیلی

روند کلی و روابط مربوط به محاسبه‌ی شاخص‌های تجمیعی پیشنهادی در این بخش بیان شد. این فرآیند شامل اطلاعات ورودی و محاسبات مرتبط با هر بخش است. بخشی از اطلاعات ورودی از بررسی ویژگی‌های سایت پایش کیفیت توان (توسط شرکت‌های توزیع) قابل‌دست‌یابی است. اطلاعات ورودی اصلی که پارامترهای کیفیت توان پایش شده هستند نیز توسط ابزارهای اندازه‌گیری، سیستم انتقال داده و سرورهای مرتبط در دسترس هستند. نظرات متخصصان کیفیت توان سیستم قدرت نیز به‌عنوان یک ورودی فرآیند در محاسبات روش AHP به کار گرفته می‌شود. مقادیر مجاز پارامترهای کیفیت توان که می‌توانند از استاندارد استخراج شوند، به‌عنوان ورودی دیگر سیستم در نظر گرفته شده‌اند. نحوه‌ی ارتباط ورودی‌های مختلف و محاسبات هر بخش در شکل ۴-۳ نمایش داده شده است.



شکل ۴-۳- الگوریتم محاسبه‌ی شاخص‌های تجمیعی پیشنهادی

در ابتدای این بخش، اشاره شد که بردار شامل شاخص‌های تکی کیفیت توان، شامل اغتشاشات پیوسته و گسسته است. این نکته قابل توجه است که می‌توان شاخص‌های کیفیت توان گسسته و پیوسته را از ابتدا از یکدیگر جدا کرده و فرآیند محاسبه‌ی شاخص تجمیعی را به صورت مجزا برای آن‌ها انجام داد. علت اصلی این موضوع، در دسترس نبودن مقدار استاندارد مجاز برای اغتشاشات گسسته است. در این صورت، برای نرمالایز کردن شاخص‌های گسسته باید از معیار دیگری استفاده کرد. بنابراین، استفاده از مقدار شاخص نرمالایز شده به منظور محاسبه‌ی شاخص تجمیعی با کمیت‌های گسسته می‌تواند گمراه کننده باشد. یک مزیت دیگر این روش، این است که می‌توان ویژگی‌های مؤثر متفاوتی از سایت را برای اغتشاشات گسسته و پیوسته لحاظ کرد. به عنوان مثال، تعداد مشترکین هر سایت پایش کیفیت توان را می‌توان به‌عنوان معیار با اهمیت برای وزن‌دهی به اغتشاشات گسسته مانند فرورفتگی ولتاژ و وقفه در نظر گرفت. در حالی که سطح اتصال کوتاه، تأثیر به‌سزایی بر پخش اغتشاشات گسسته ندارد. از طرفی جداکردن اغتشاشات گسسته و پیوسته، فرآیند محاسبه را کمی پیچیده می‌کند.

در صورتی که هدف، به‌دست آوردن شاخص تجمیعی در سطح یک بخش از شرکت توزیع (و نه کل سیستم) باشد، می‌توان فرآیند بیان‌شده در این بخش را به طور مشابه انجام داد. تفاوت در تشکیل ماتریس شاخص‌های پایش‌شده (U) و ماتریس ضرایب وزنی (W) است که در این حالت، ماتریس‌های مذکور تنها برای سایت‌های موجود در بخشی از شرکت توزیع موردنظر (و نه کل سیستم) تشکیل می‌شود.

ماتریس ضرایب وزنی به‌دست آمده در فرآیند محاسبه شاخص تجمیعی (W)، در حالت کلی می‌تواند متغیر با زمان باشد. بدین صورت که برای فصول مختلف و یا ساعات پیک و غیرپیک، ضرایب وزن‌دهی متفاوتی وجود داشته باشد. علت این موضوع می‌تواند اهمیت متفاوت برخی اغتشاشات کیفیت توان در زمان‌های مشخص باشد. به‌عنوان مثال، فلیکر در ساعات تاریکی می‌تواند مهم‌تر از ساعات روشنایی روز تلقی شود. در جدول ۴-۲ لیست نمادهای معرفی‌شده در فرآیند محاسبه‌ی شاخص تجمیعی آمده است.

جدول ۴-۲- نمادهای به کار رفته در محاسبه‌ی شاخص تجمیعی پیشنهادی

نماد	شرح
N	تعداد سایت‌های دارای اندازه‌گیری در شبکه
N_s	تعداد سایت‌های شبکه
M	تعداد اغتشاشات کیفیت توان پایش‌شده
VP_i	آلودگی کیفیت توان ولتاژی اندازه‌گیری شده در سایت i
IP_i	آلودگی کیفیت توان جریانی اندازه‌گیری شده در سایت i
Zii	امپدانس معادل شبکه از دید سایت i
Isci	سطح اتصال کوتاه در سایت i
$f_i(\overrightarrow{IP_m})$	اثر سایر منابع آلوده‌کننده بر سایت i
$\overrightarrow{IP_m}$	بردار آلودگی سایت‌های مختلف مورد سنجش
ϑ	نسبت سایت‌های مجهز به اندازه‌گیری هوشمند به کل سایت‌ها
$\bar{P}_j$	بردار پارامترهای کیفیت توان پایش‌شده در سایت j
$\bar{P}_{limit}$	بردار مقادیر مجاز استاندارد شاخص‌های کیفیت توان
$I_{M,j}$	شاخص کیفیت توان تکی نرمالایزشده M ام در سایت j
$\bar{I}_j$	بردار شاخص‌های کیفیت توان تکی نرمالایز شده در سایت j
U	ماتریس شاخص‌های کیفیت توان تکی نرمالایز شده در کل سایت‌ها
I_M	شاخص تجمیعی اغتشاش M ام در کل سیستم
$\bar{I}_{sys}$	بردار شاخص‌های تجمیعی اغتشاش‌های کیفیت توان در کل سیستم
$UPQI_N$	شاخص تجمیعی کیفیت توان در سایت N
$\overline{UPQI}$	بردار شاخص‌های تجمیعی کیفیت توان در کل سایت‌های پایش‌شده
$UPQI_{System}$	شاخص کیفیت توان تجمیعی کل سیستم
L_i	میزان بار مصرفی در سایت i ام
NC_i	تعداد مشترکین در سایت i ام
W_{SCL}	بردار ضرایب وزنی مربوط به ویژگی سطح اتصال کوتاه سایت‌ها
$\ddot{W}_{SCL,i}$	برداری سطری متناسب با سایت i است
W_L	بردار ضرایب وزنی مربوط به ویژگی میزان بار مصرفی سایت‌ها
W_{NC}	بردار ضرایب وزنی مربوط به ویژگی تعداد مشترکین سایت‌ها
A_M	ماتریس قضاوت ویژگی‌های سایت برای پارامتر کیفیت توان M ام
α	مقدار ویژه‌ی متناظر با ویژگی سطح اتصال کوتاه در ماتریس قضاوت
β	مقدار ویژه‌ی متناظر با ویژگی میزان بار مصرفی در ماتریس قضاوت
μ	مقدار ویژه‌ی متناظر با ویژگی تعداد مشترکین در ماتریس قضاوت
W	ماتریس ضرایب وزنی برای کل پارامترهای کیفیت توان در همه‌ی سایت‌های پایش‌شده
x	مقدار ویژه‌ی متناظر با ویژگی سطح اتصال کوتاه در ماتریس قضاوت A
y	مقدار ویژه‌ی متناظر با ویژگی میزان بار مصرفی در ماتریس قضاوت A
z	مقدار ویژه‌ی متناظر با ویژگی تعداد مشترکین در ماتریس قضاوت A

لیست شاخص‌های تجمیعی ارائه شده:

شاخص‌های تجمیعی ارائه شده شامل سه مورد زیر هستند که بر اساس شاخص‌های تکی پایش‌شده در سایت‌های سیستم محاسبه می‌شوند. شایان ذکر است در محاسبات از ویژگی‌های سایت‌های اندازه‌گیری استفاده شده که باید به ترتیبی بدست آیند (از طریق کار میدانی یا تخمین‌های مهندسی). در ادامه‌ی گزارش، نحوه‌ی محاسبه‌ی شاخص‌های تجمیعی به اختصار توضیح داده شده است.

- شاخص تجمیعی هر اغتشاش برای کل سیستم (I_M)
- شاخص تجمیعی هر سایت ($UPQI_N$)
- شاخص کلی سیستم ($UPQI_{System}$)

توضیحات:

I_M شاخص تکی اغتشاش کیفیت توان M ام (مثلا THD ولتاژ) برای کل سیستم به صورت نرمالایز است. همان‌طور که در رابطه‌ی ۴-۱۳ پیداست، این شاخص از میانگین وزن‌دار اغتشاش M ام (مثلاً THD ولتاژ) در سایت‌های مختلف به دست می‌آید. در این رابطه، $I_{M,j}$ شاخص کیفیت توان M ام (مثلاً THD ولتاژ) در سایت j ام است. ضرایب w_{ij} معرفی شده است.

به طور مشابه، در صورتی که شاخص واحدی برای هر سایت مورد نیاز باشد، شاخص تجمیعی در سایت N ام پایش شده ($UPQI_N$) به صورت رابطه‌ی ۴-۱۴ به دست می‌آید. همان‌طور که در رابطه‌ی ۴-۱۴ پیداست، شاخص یکپارچه در هر سایت از میانگین وزن‌دار شاخص‌های تکی در آن سایت به دست می‌آید.

هم‌چنین شاخص تجمیعی کل سیستم ($UPQI_{System}$) برای همه پارامترها و سایت‌های پایش شده به صورت رابطه‌ی ۴-۱۵ به دست می‌آید.

معرفی ضرایب به کار رفته در روابط محاسبه‌ی شاخص تجمیعی:

همان‌طور که پیش از این نیز گفته شد، ضرایب w_{ij} از ماتریس ضرایب (W) که به صورت ۴-۱۰ است، به دست می‌آید.

ماتریس ضرایب از رابطه (۴-۱۹) حاصل می‌شود:

همان‌طور که در رابطه‌ی (۴-۱۱) مشاهده می شود، هر ستون ماتریس ضرایب وزنی، ترکیب خطی از بردارهای مربوط به ویژگی های سایت است که در ادامه معرفی شده است. بنابراین، به ازای هر اغتشاش کیفیت توان، با استفاده از ضرایب α، β و μ، وزن هر ویژگی تعیین می‌شود. همچنین ضرایب x، y و z از مقایسه‌ی اهمیت سه ویژگی سایت به ازای همه اغتشاشات تعیین می‌شود. ضرایب مذکور از AHP به دست می‌آید که جزئیات آن در گزارش توضیح داده شده است.

لیست ویژگی‌های به کار رفته به منظور محاسبه‌ی ضرایب محاسبه‌ی شاخص تجمیعی:

- **سطح اتصال کوتاه (W_{SCL})**

شناسایی اغتشاشات کیفیت توان جریانی در همه‌ی نقاط شبکه (حتی نقاط با چگالی بار مشابه) اهمیت یکسانی ندارد و نیاز است با توجه به سطح اتصال کوتاه سایت‌های شبکه، نیاز است نسبت به در نظر گرفتن ضرایب برای اندازه‌گیری‌های صورت گرفته در مورد کیفیت توان اقدام نمود. برای این امر، با استفاده از رابطه‌ی ۴-۶، نسبت به تشکیل ضرایب سایت مربوط اقدام شود (مطابق روابط ۴-۸ و ۴-۱۶).

- **میزان بار مصرفی (W_L)**

میزان بار مصرفی در یک سایت پایش کیفیت توان، از این جهت اهمیت دارد که حجم بارهای درگیر با اغتشاشات کیفیت توان را نشان می‌دهد.

برای ویژگی میزان بار مصرفی هر سایت نیز ماتریس ضرایب مربوط از رابطه‌ی ۴-۱۷ به‌دست آورد.

- **تعداد مشترکین (W_{NC})**

تعداد مشترکین تغذیه شده در یک سایت پایش کیفیت توان، به منظور تعیین اهمیت سایت مذکور از نظر وضعیت کیفیت توان مورد توجه قرار می‌گیرد. برای ویژگی تعداد مشترکین هر سایت نیز می‌توان بردار ضرایب وزنی مربوط به تعداد مشترکین را از رابطه‌ی ۴-۱۸ به‌دست آورد. مجددا تأکید می‌شود که تعداد مشترکین تنها برای پارامترهای برآمدگی، فرورفتگی و وقفه باید در نظر گرفته شود.

شاخص‌های ترکیبی ولتاژی و جریانی کیفیت توان شبکه

علاوه بر $UPQI_{System}$ که در بخش‌های قبل به تفصیل در مورد نحوه‌ی محاسبه‌ی آن بحث شد، شاخص ترکیبی ولتاژی کیفیت توان شبکه ($Voltage_UPQI_{System}$) و شاخص ترکیبی جریانی کیفیت توان شبکه ($Current_UPQI_{System}$) نیز برای شبکه قابل تعریف است. برای محاسبه‌ی شاخص $Voltage_UPQI_{System}$، تنها نیاز است در رابطه‌ی ۴-۱۵ ضرایب مربوط به پارامترهای جریانی کیفیت توان برابر صفر در نظر گرفته شود. به شکل مشابه، برای محاسبه‌ی شاخص $Current_UPQI_{System}$، تنها نیاز است در این رابطه، ضرایب مربوط به پارامترهای ولتاژی کیفیت توان برابر صفر باشد.

تکمیلی: مراحل محاسبه‌ی شاخص‌های پیشنهادی

با توجه به مواردی که در بخش‌های قبل بیان شد، به منظور محاسبه‌ی شاخص تجمیعی در سطح سیستم، از ویژگی‌های مربوط به سایت‌های پایش کیفیت توان به منظور وزن‌دهی به شاخص‌های تکی پایش شده استفاده می‌شود. روند کلی به دست آوردن شاخص کلی کیفیت توان سیستم به صورت زیر خلاصه شده است.

۱- اندازه‌گیری و تعیین شاخص‌های تکی کیفیت توان در یک سایت

۲- نرمالایز کردن شاخص‌های تکی و تشکیل ماتریس شاخص‌های تکی کیفیت توان

- تعیین معیار برای نرمالایز کردن
- نرمالایز کردن شاخص‌ها و تشکیل ماتریس شاخص‌های تکی کیفیت توان

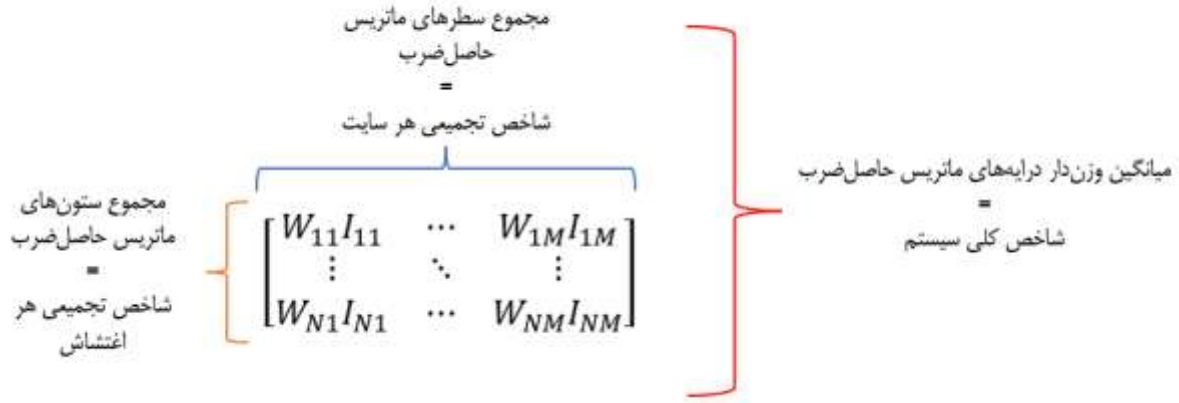
۳- تعیین ماتریس ضرایب وزنی شاخص‌ها در سایت‌های مختلف

- تعیین ویژگی‌های مؤثر هر سایت
- تعیین ماتریس ضرایب وزنی به ازای هر ویژگی
- رتبه‌بندی ویژگی‌های سایت برای هر اغتشاش کیفیت توان
- تعیین ماتریس قضاوت برای هر اغتشاش و مقادیر ویژه‌ی آن
- محاسبه‌ی ستون‌های ماتریس ضرایب وزنی با استفاده از مقادیر ویژه‌ی به دست آمده و بردار ضرایب وزنی

۴- محاسبه‌ی شاخص تجمیعی

- تعیین حاصل‌ضرب درایه به درایه‌ی ماتریس شاخص‌های تکی کیفیت توان و ماتریس ضرایب وزنی
- تعیین شاخص تجمیعی هر سایت از مجموع سطرهای ماتریس حاصل‌ضرب
- تعیین شاخص تجمیعی هر اغتشاش برای کل سیستم از مجموع ستون‌های ماتریس حاصل‌ضرب
- تعیین شاخص کلی سیستم از میانگین وزن‌دار همه درایه‌های ماتریس حاصل‌ضرب

$$W * U = \begin{bmatrix} W_{11} & \cdots & W_{1M} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ W_{N1} & \cdots & W_{NM} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} I_{11} & \cdots & I_{M1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ I_{N1} & \cdots & I_{NM} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_{11}I_{11} & \cdots & W_{1M}I_{1M} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ W_{N1}I_{N1} & \cdots & W_{NM}I_{NM} \end{bmatrix} \quad (۴-۲۱)$$



شکل ۴-۴- نحوه‌ی محاسبه‌ی شاخص تجمیعی

به منظور مشاهده‌ی شاخص‌های جریانی، پارامترهای زیر توسط کنتورهای هوشمند پایش می‌شوند:

- Current averge value of THD of Current
- Current average value of Nth harmonic current

به منظور مشاهده‌ی این موارد، در داشبورد مدیریتی موجود در سامانه‌ی پایش کیفیت توان که در گزارش فاز سوم پروژه آمده است، می‌توان پارامترها را انتخاب کرده و برای عیب‌یابی، مشاهده کرد.

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در گزارش ارائه شـده، تمامی مراحل پایش کیفیت توان و روش محاسـبه‌ی شـاخص تجمیعی در مراحل زیر، آمده است:

مرحله‌ی اول: در ابتدا هدف از پایش کیفیت توان تعیین می‌گردد که در این پروژه، با توجه به امکانات موجود، سـه هدف: ۱. تطابق با الزامات ۲. ارزیابی عملکرد / تجزیه و تحلیل و ۳. عیب‌یابی مدنظر است.

مرحله‌ی دوم: در این مرحله، ادوات اندازه‌گیری هوشمند با هدف برداشت پارامترهای کیفیت توان، مورد بررسی قرار می‌گیرند. ادوات اندازه‌گیری هوشـمند، شـامل کنتورهای فهام و کنتورهای MK6E هسـتند و توانایی برداشـت و ثبت اطلاعات مرتبط با کیفیت توان را دارند. هم‌چنین این کنتورها اطلاعات مرتبط با کیفیت توان را از طریق MDM به سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان ارسال می‌کنند.

مرحله‌ی سوم: در این مرحله، اسناد موجود از ادوات اندازه‌گیری هوشمند مانند سند FID2 مورد مطالعه قرار گرفته و پارامترهای پایش کیفیت توان که توسط این ادوات ثبت و به MDM ارسال شده است، بررسی می‌شوند. از پارامترهای کیفیت توان که تو سط کنتورهای فهام و MK6E بردا شت می شوند، برای محا سبه‌ی شاخص تجمیعی کیفیت توان استفاده خواهد شد.

مرحله‌ی چهارم: شاخص‌های مدیریتی و ترکیبی کیفیت توان در دو سطح شرکت توزیع برق و شرکت توانیر با تأکید بر قابلیت کنتورهای هوشمند در کشور، پیشنهاد شده است. در ابتدا، دیدگاه کلی در ارائه شاخص تجمیعی کیفیت توان، مورد بررسی قرار گرفت و بیان شد که ارائه‌ی شاخص‌های کلی و سیستمی به مدیران کمک می‌کند تا اطلاعات مفیدی را در مدت زمان کم به د ست آورده و فرآیند ت صمیم‌گیری و برنامه‌ریزی را به سرعت انجام دهند. شاخص‌های کیفیت توان، هر یک به تنهایی بیان‌گر وضـعیت یکی از اختلالات کیفیت توان بوده و مبتنی بر اندازه‌گیری در نقطه‌ی اتصـال (PCC) هستند؛ اما به منظور ارزیابی کلی کیفیت توان یک سیستم، شاخص‌های مبتنی بر PCC کافی نیستند. ارزیابی کلی می‌تواند بر ا ساس تجمیع شاخص‌های کیفیت توان تکی صورت گیرد. فرآیند تجمیع شاخص‌ها به اهداف پایش کیفیت توان بسـتگی دارد. هر یک از اغتشـاشـات کیفیت توان، اثرات نامطلوب متفاوتی بر شـبکه و مشـترکین دارد. بنابراین، پایش کیفیت توان می‌تواند با اهداف متفاوتی صـورت پذیرد. با فرض اسـتفاده از روش وزن‌دهی برای تعیین شاخص کلی کیفیت توان سیستم، نحوه‌ی ا ستخراج و اعمال ضرایب به صورت مرحله به مرحله، در پنج مرحله، انجام گرفته است. یکی از اهداف مهم پایش اغتشاشات کیفیت توان، دست‌یابی به حدأکثر رؤیت‌پذیری وضعیت کیفیت توان کلی شبکه است.

در مرحله‌ی آخر، به روش‌های محاسـبه‌ی شـاخص‌های کیفیت توان پرداخته شـده اسـت که برای محاسـبه‌ی این شاخص‌ها، مراحل زیر صورت می‌گیرد. (شکل ۴-۳)

- نرمالیزه‌کردن پارامترهای کیفیت توان: پارامترهای کیفیت توان استخراج شده با مقادیر مرجعی مقایسه شده و نرمالیزه می‌شوند. مقادیر مرجعی پیشنهادی، تا حد امکان استفاده از محدوده‌ی مجاز در استاندارد است.

- تعیین ویژگی‌های سایت پایش: ویژگی‌های مربوط به سایت‌های پایش کیفیت توان تا حد امکان استخراج می شود. ویژگی‌های مذکور می‌تواند مربوط به بارهای متصل‌شده، آرایش شبکه و ... باشند.

- تعیین تابع هدف پایش کیفیت توان: تابع هدف پایش کیفیت توان بر میزان تأثیر هر اغتشاش کیفیت توان و ویژگی‌های مؤثر هر سایت اثرگذار است. به‌عنوان مثال، در صورتی‌که کاهش تلفات شبکه مدنظر باشد، تأثیر اعوجاج هارمونیکی کل بر شاخص تجمیعی بیش‌تر خواهد بود.

- تعیین شاخص تجمیعی سایت با تخصیص ضرایب وزنی هر یک از پارامترهای کیفیت توان: به‌منظور تعیین شاخص کلی کیفیت توان در هر سایت، ضرایب وزنی هر یک از ویژگی‌های سایت براساس تابع هدف اتخاذ شده، تعیین می‌شود.

- تعیین شاخص تجمیعی سیستم با تخصیص ضرایب وزنی هر یک از ویژگی‌های سایت: به‌منظور تعیین شاخص کلی کیفیت توان در سطح سیستم، ضرایب وزنی هر یک از ویژگی‌های سایت مؤثر تعیین می‌شود و بر اساس ضرایب وزنی مختلف به‌دست آمده، در سطح سیستم شاخص کلی ارائه می‌شود.

- شاخص‌های تجمیعی جریانی و ولتاژی کیفیت توان: بر اساس روابط توسعه داده شده مخصوصاً رابطه‌ی ۴-۶، پارامترهای کیفیت توان جریانی و ولتاژی در کنار یکدیگر در تعیین شاخص کیفیت توان سیستم نقش بازی می‌کنند. شاخص‌های تجمیعی ولتاژی و جریانی کیفیت توان یک شبکه را می‌توان به صورت مستقل نیز تعریف کرد. روش محاسبه‌ی این پارامترها ($Current_UPQI_{System}$ و $Current_UPQI_{System}$) در گزارش ارائه شده است.

پیوست ۱

محاسبه‌ی شاخص تجمیعی به‌صورت عدد در یک شبکه‌ی نمونه

در این قسمت به‌منظور شفاف شدن فرمول‌بندی ارائه شده جهت محاسبه‌ی شاخص تجمیعی، در یک شبکه‌ی نمونه با ۶ سایت اندازه‌گیری‌شده، شاخص‌های تجمیعی محاسبه شده است. فرض شده است که تنها پارامترهای ولتاژی اندازه‌گیری شده باشد.

ماتریس شاخص‌های کیفیت توان تکی نرمالایز شده در سایت‌ها (U) به‌صورت جدول ۱ است.

جدول ۱. مقادیر ماتریس شاخص‌های کیفیت توان تکی نرمالایزشده در سایت‌های شبکه‌ی نمونه

	I_1 (THD)	I_2 (Kd)	I_3 (H1)	I_4 (DSI_{Sag})
Site 1	0.7	0.2	0.9	1.2
Site 2	0.9	0.1	1.2	1.5
Site 3	1.2	0.2	1.3	0.5
Site 4	0.4	0.1	0.5	0.4
Site 5	0.9	0.9	1	0.9
Site 6	1.7	1.1	1.8	1.6

هم‌چنین مقادیر سطح اتصال کوتاه بار و تعداد مشترکین در هر سایت نیز در جدول ۲ درج شده است.

جدول ۲. سطح اتصال کوتاه، بار و تعداد مشترکین در سایت‌های شبکه‌ی نمونه

	Short-circuit level	Load (MW)	Number of Customers (#)
Site 1	200	15	900
Site 2	250	50	2800
Site 3	180	30	1200
Site 4	300	40	250
Site 5	230	35	2500
Site 6	220	25	2100

ابتدا به‌منظور محاسبه‌ی ماتریس ضرایب وزنی، بردارهای ضرایب وزنی مربوط به ویژگی‌های سایت را بر اساس جدول ۲ محاسبه می‌کنیم. برای محاسبه‌ی ماتریس ضرایب وزنی مربوط به ویژگی سطح اتصال کوتاه سایت‌ها (W_{SCL}) اعداد ستون اول جدول ۲ را در رابطه‌ی ۱۶-۴ جای‌گذاری می‌کنیم. برای محاسبه‌ی ماتریس ضرایب وزنی مربوط به ویژگی میزان بار مصرفی (W_L) اعداد ستون دوم جدول ۲ در رابطه ۱۷-۴ جای‌گذاری می‌شود. برای محاسبه‌ی ماتریس ضرایب وزنی مربوط به ویژگی تعداد مشترکین (W_{NC}) اعداد ستون سوم جدول ۲ در رابطه‌ی ۱۸-۴ جای‌گذاری شده است. نتایج محاسبات در جدول ۳ درج شده است.

جدول ۳. بردار ضرایب وزنی مربوط به سطح اتصال کوتاه، بار و تعداد مشترکین در شبکه نمونه

شرکت توزیع	شماره سایت	W_{SCL}(k) , 1≤k≤4	W_L(k) , 1≤k≤4	W_{NC}(k) , 1≤k≤4
شرکت توزیع شماره ۱	Site 1	1	0.077	0.092
	Site 2	1	0.256	0.287
	Site 3	1	0.154	0.123
	Site 4	1	0.205	0.026
شرکت توزیع شماره ۲	Site 5	1	0.179	0.256
	Site 6	1	0.128	0.215

ضرایب وزنی x، y و z از روش AHP و از مقادیر ویژه ماتریس A به‌دست می‌آیند که در این‌جا به‌صورت جدول ۴ در نظر گرفته شده است. مقادیر درنظر گرفته شده به معنای اهمیت بیش‌تر ویژگی سطح اتصال کوتاه نسبت به دو ویژگی دیگر می‌باشد.

جدول ۴. ضرایب وزنی مربوط به اهمیت سطح اتصال کوتاه، بار و تعداد مشترکین در محاسبه‌ی بردار ضرایب وزنی

	x	y	z
Value	0.5	0.3	0.2

ضرایب وزنی $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ و $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ و $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4$ نیز از روش AHP به‌دست می‌آیند که به‌صورت جدول ۵ درنظر گرفته شده‌اند. اعداد مفروض برای ضرایب مذکور نشان می‌دهد که با درنظر گرفتن ویژگی سطح اتصال کوتاه، THD ولتاژ مهم‌ترین اغتشاش در محاسبه شاخص تجمیعی می‌باشد. هم‌چنین با درنظر گرفتن ویژگی میزان بار و تعداد مشترکین نیز فرورفتگی ولتاژ مهم‌ترین اغتشاش در محاسبه شاخص تجمیعی می‌باشد.

جدول ۵. ضرایب وزنی مربوط به اغتشاشات کیفیت توان با در نظر گرفتن هر ویژگی در شبکه نمونه

	α	β	μ
ضریب مربوط به I_1 (THD)	α_1=0.5	β_1=0.2	μ_1=0.2
ضریب مربوط به I_2 (Kd)	α_2=0.2	β_2=0.3	μ_2=0.1
ضریب مربوط به I_3 (H1)	α_3=0.1	β_3=0.1	μ_3=0.1
ضریب مربوط به I_4 (DSI_{Sag})	α_4=0.2	β_4=0.5	μ_4=0.6

با جای‌گذاری اعداد جدول ۳، ۴ و ۵ در رابطه ۱۹-۴ ماتریس ضرایب وزنی W به‌صورت جدول ۶ به‌دست می‌آید.

جدول ۶. مقادیر ماتریس ضرایب وزنی W اغتشاشات در سایت‌های شبکه‌ی نمونه

	I_1 (THD)	I_2 (Kd)	I_3 (H1)	I_4 (DSI_{Sag})
Site 1	0.30	0.109	0.542	0123
Site 2	0.277	0.129	0.063	0.173
Site 3	0.264	0.116	0.057	0.138
Site 4	0.263	0.119	0.057	0.134
Site 5	0.271	0.121	0.06	0.158
Site 6	0.266	0.116	0.058	0.145

با جای‌گذاری اعداد جدول ۶ و ۱ در رابطه ۴-۱۱ می‌توان ماتریس T را از حاصل‌ضرب درایه به درایه به‌دست آورد. سپس از میانگین وزن‌دار ستون‌های ماتریس فوق (رابطه‌ی ۴-۱۲) شاخص تجمیعی هر اغتشاش برای کل سیستم به دست می‌آید که در جدول ۷ درج شده است. شاخص تجمیعی هر سایت نیز از میانگین وزن‌دار سطرهای ماتریس فوق (رابطه‌ی ۴-۱۳) به دست آمده و در جدول ۸ درج شده است.

جدول ۷. مقادیری شاخص تجمیعی هر اغتشاش در شبکه نمونه

	I_1 (THD)	I_2 (Kd)	I_3 (H1)	I_4 (DSI_{Sag})
$\overline{I}_{sys}$	0.96	0.44	0.99	1.04

جدول ۸. مقادیر شاخص تجمیعی در سایت‌های شبکه نمونه

$UPQI_1$	0.81
$UPQI_2$	0.93
$UPQI_3$	0.84
$UPQI_4$	0.35
$UPQI_5$	0.91
$UPQI_6$	1.57

به‌منظور محاسبه‌ی شاخص تجمیعی کل سیستم نیز از رابطه‌ی ۴-۱۴ استفاده می‌شود که پس از جای‌گذاری مقدار زیر به دست می‌آید.

$$UPQI_{System} = \frac{\sum_{j=1}^{N}\sum_{k=1}^{M} w_{\mathrm{jk}} I_{k,j}}{\sum_{j=1}^{N}\sum_{k=1}^{M} w_{\mathrm{jk}}} = 0.8914$$

در صورتی که سایت‌های ۱ تا ۴ به‌عنوان بخش یک شرکت توزیع و سایت‌های ۵ و ۶ به‌عنوان بخش دو شرکت توزیع درنظر گرفته شود، شاخص‌های تجمیعی هر اغتشاش برای هر شرکت توزیع در جدول ۹ درج شده است.

جدول ۹. مقادیر شاخص تجمیعی هر اغتشاش در شرکت‌های توزیع یک و دو

	I_1 (THD)	I_2 (Kd)	I_3 (H1)	I_4 (DSI_{Sag})
شاخص‌های تجمیعی شرکت توزیع یک	0.382	0.148	0.926	0.994
شاخص‌های تجمیعی شرکت توزیع دو	1.296	0.998	1.393	1.235

شاخص تجمیعی کل برای دو بخش شرکت توزیع در جدول ۱۰ درج شده است.

جدول ۱۰. مقادیر شاخص تجمیعی کل در شرکت‌های توزیع یک و دو

	$UPQI_{Dist1}$	$UPQI_{Dist2}$	$UPQI_{System}$
Value	0.75	1.23	0.8914

همان‌طور که مشاهده می‌شود وضعیت بخش یک شرکت توزیع از نظر کیفیت توان مطلوب‌تر از بخش دو شرکت توزیع است.

پیوست ۲
پرسش‌نامه AHP

روش پاسخ دادن به سوال‌ها

ارزش ترجیحی	اولویت‌ها	توضیح
1	اهمیت برابر	گزینه یا شاخص i نسبت به j اهمیت برابر دارند و یا ارجحیتی نسبت به هم ندارند.
3	نسبتاً مهمتر	گزینه یا شاخص i نسبت به j کمی مهمتر است.
5	مهمتر	گزینه یا شاخص i نسبت به j مهمتر است.
7	خیلی مهمتر	گزینه یا شاخص i دارای ارجحیت خیلی بیشتری از j است.
9	کاملاً مهم	گزینه یا شاخص مطلقاً i از j مهمتر و قابل مقایسه با j نیست.
8و6و4و2	--	ارزشهای میانی بین ارزشهای ترجیحی را نشان می‌دهد

برای ارائه‌ی یک شاخص کلی کیفیت توان برای یک سیستم براساس وضعیت کیفیت توان سایت‌های نمونه‌برداری شده در سیستم مذکور، کدام ویژگی از سایت‌های نمونه‌برداری از اهمیت بالاتری برخوردار است؟

برای تجمیع شاخص‌های کیفیت توان سایت‌های مختلف و ارائه یک شاخص واحد برای سیستم، کدام ویژگی سایت های سیستم مذکور وزن بیش‌تری باید داشته باشد؟

ویژگی	میزان اهمیت																			ویژگی
سطح اتصال کوتاه	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	میزان بار مصرفی
سطح اتصال کوتاه	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	تعداد مشترکین
میزان بار مصرفی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	تعداد مشترکین

-در صورتی در هر منطقه (سایت) میزان بار مصرفی به عنوان ویژگی اصلی قضاوت قرار گیرد کدام اغتشاش کیفیت توان نقش بیش‌تری در ارائه‌ی وضعیت کیفیت توان کلی سایت خواهد داشت؟

-در صورتی که کیفیت توان کلی سیستم بر اساس میزان بار مصرفی هر سایت وزن‌دهی شود، اهمیت کدام اغتشاش کیفیت توان بیش‌تر از دیگری است؟

شاخص	میزان اهمیت																			شاخص
شاخص هارمونیک	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شاخص شدت فرورفتگی ولتاژ
شاخص هارمونیک	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شاخص شدت برآمدگی ولتاژ
شاخص شدت فرورفتگی ولتاژ	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شاخص شدت برآمدگی ولتاژ

نتیجه‌ی این پرسش، ضرایب $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \ldots$ را تعیین می‌کند.

-در صورتی که کیفیت توان کلی سیستم براساس سطح اتصال کوتاه هر سایت وزن‌دهی شود، اهمیت کدام اغتشاش کیفیت توان بیش‌تر از دیگری است؟

شاخص	میزان اهمیت																		شاخص
شاخص هارمونیک	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹		شاخص شدت فرورفتگی ولتاژ
شاخص هارمونیک	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹		شاخص شدت برآمدگی ولتاژ
شاخص شدت فرورفتگی ولتاژ	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹		شاخص شدت برآمدگی ولتاژ

نتیجه این پرسش، ضرایب $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \ldots$ را تعیین می‌کند.

-در صورتی که کیفیت توان کلی سیستم بر اساس تعداد مشترکین هر سایت وزن‌دهی شود، اهمیت کدام اغتشاش کیفیت توان بیش‌تر از دیگری است؟

شاخص	میزان اهمیت																		شاخص
شاخص هارمونیک	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹		شاخص شدت فرورفتگی ولتاژ
شاخص هارمونیک	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹		شاخص شدت برآمدگی ولتاژ
شاخص شدت فرورفتگی ولتاژ	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹		شاخص شدت برآمدگی ولتاژ

نتیجه این پرسش، ضرایب $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \ldots$ را تعیین می‌کند.

مراجع

[۱] Kilter, Jako, Sean Elphick, Jan Meyer, and Jovica V. Milanovic. "Guidelines for Power quality monitoring-Results from CIGRE/CIRED JWG C4. 112." In 2014 16th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP), pp. 703-707. IEEE, 2014.

[۲] Dorr, Douglas S. "Point of utilization power quality study results." IEEE Transactions on Industry Applications 31, no. 4 (1995): 658-666.

[۳] Dorr, Douglas S., M. Brent Hughes, Thomas M. Gruzs, Robert E. Jurewicz, and John L. McClaine. "Interpreting recent power quality surveys to define the electrical environment." IEEE transactions on industry applications 33, no. 6 (1997): 1480-1487.

[۴] Stephens, Marilyn Hostetler.. “Introduction PQ in Continuous Manufacturing.” (2007).

[۵] Zavoda, Francisc, Anne Dabin, Jan Meyer Kah, and Leong Koo. "Current and future practice for selection of Power Quality Monitoring locations—Position paper of CIGRE/CIRED JWG C4. 112." In 2014 IEEE PES General Meeting| Conference & Exposition, pp. 1-5. IEEE, 2014.

[۶] Benedikt, Meinrad. "Koordinierte Messreihen zur Spannungsqualitat im Rahmen des VEO." In (Coordinated serial measurements on voltage quality within the VEO) VDE Kongress 2008 ETG Fachtagung Versorgungsqualiätt. 2008.

[۷] Thallam, R. S., and G. T. Heydt. "Power acceptability and voltage sag indices in the three phase sense." In 2000 Power Engineering Society Summer Meeting (Cat. No. 00CH37134), vol. 2, pp. 905-910. IEEE, 2000.

[۸] Sarmiento, Hector G., and Eduardo Estrada. "A voltage sag study in an industry with adjustable speed drives." In Proceedings of Industrial and Commercial Power Systems Conference, pp. 85-89. IEEE, 1994.

[۹] Faias, S., R. Castro, and J. Esteves. "An Overview on the Portuguese Quality of Electricity Supply Code Revision 2013: The Continuity of Supply and Power Quality Perspective." In Proceedings of the International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ’14), Cordoba, Spain, pp. 8-10. 2014.

[۱۰] Bollen, Math, Philippe Baumann, Yvonne Beyer, Romain Castel, Jorge Esteves, Sergio Faias, W. Friedl et al. "Guidelines for good practice on voltage quality monitoring." (2013): 0349-0349.

[۱۱] Bollen, Math HJ, Irene YH Gu, Surya Santoso, Mark F. McGranaghan, Peter A. Crossley, Moises V. Ribeiro, and Paulo F. Ribeiro. "Bridging the gap between signal and power." IEEE Signal Processing Magazine 26, no. 4 (2009): 12-31.

[۱۲] Bollen, Math HJ. "Understanding power quality problems." In Voltage sags and Interruptions. Piscataway, NJ, USA: IEEE press, 2000.

[۱۳] C. P. i. E. PEAC, "Substation Power Quality Monitoring with Smart Relays, EPRI, Palo Alto, CA: 2002. 1005920.".

[۱۴] "استاندارد صنعت برق ایران – مشخصات و خصوصیات انرژی الکتریکی," سازمان مدیریت تولید و انتقال نیروی برق ایران (توانیر), اردیبهشت ۱۳۸۱.

[۱۵] "IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality," in IEEE Std 1159-2019 (Revision of IEEE Std 1159-2009) , vol., no., pp.1-98, 13 Aug. 2019.

[۱۶] "CIGRE, J. (2011). C4. 107, Economic Framework for Voltage Quality, no. June. Folsom: International Council on Large Electric Systems.".

[۱۷] "IEC 61000-4-30, 2003, Power quality measurement methods.".

[۱۸] "EN 50160-2010. Voltage characteristics of the electricity supplied by public distribution."

[۱۹] Elphick, Sean, Vic Smith, Vic Gosbell, and Robert Barr. "The Australian long term power quality survey project update." In Proceedings of 14th International Conference on Harmonics and Quality of Power-ICHQP 2010, pp. 1-7. IEEE, 2010.

[۲۰] Elphick, Sean, Vic Gosbell, and Robert Barr. "The australian long term power quality monitoring project." In 2008 13th International Conference on Harmonics and Quality of Power, pp. 1-6. IEEE, 2008.

[۲۱] "Part, I. E. C. 4: Testing and measurement techniques–Section 15: Flickermeter–Functional and design specifications. IEC 61000-4-15 Edition 1.1, 2003-02.".

[۲۲] Bollen, Math, Mark Stephens, S. Djokic, K. Stockman, B. Brumsickle, J. Milanovic, J. Romero Gordón et al. "Voltage dip immunity of equipment and installations." Prepared by the members of CIGRE/CIRED/UIE Joint Working Group C 4 (2010).

[۲۳] Ignatova, Vanya, Dominique Villard, and Jean-Marie Hypolite. "Simple indicators for an effective Power Quality monitoring and analysis." In 2015 IEEE 15th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC), pp. 1104-1108. IEEE, 2015.

[۲۴] Barr, R. A., Gosbell, V. J & „Perera, S. (2006, October). The voltage sag protection curve. In 12th International Conference on Harmonics and Quality of Power, ICHQP2006, Cascais, Portugal (pp. 1-5) .

[۲۵] V. J. Gosbell, D. A. Robinson & S. Perera, "The Analysis of Utility Voltage Sag Data," in International Power Quality Conference, 2002, pp. 479-490.

[۲۶] Barr, Robert A., V. J. Gosbell, and Ian McMichael. "A new SAIFI based voltage sag index." In 2008 13th International Conference on Harmonics and Quality of Power, pp. 1-5. IEEE, 2008.

[۲۷] Dai, Fangtao, J. V. Milanovic, and N. Jenkins. "The influence of measurement delays on estimated load model parameters." In Ninth International Conference on Harmonics and Quality of Power. Proceedings (Cat. No. 00EX441), vol. 1, pp. 324-328. IEEE, 2000.

[۲۸] T. Cooke, "Assessment of Power Quality Data in Smart Meters," EPRI Project Manager , USA, November 2011.

[۲۹] T. C .& .L.Burnette, "Smart Grid Advancement Using PQ Capabilities in Smart Meters," EPRI, Palo Alto, Knoxville, 2012.

[۳۰] Chan, Shun-Yu, Jen-Hao Teng, David Chang, and Li-Yuan Chin. "Application of GPRS techniques for wide-area power quality monitoring." In 2007 7th International Conference on Power Electronics and Drive Systems, pp. 68-72. IEEE, 2007.

[۳۱] "Music, M., A. Bosovic, N. Hasanspahic, S. Avdakovic, and E. Becirovic. "Integrated power quality monitoring system and the benefits of integrating smart meters." In 2013 International Conference-Workshop Compatibility And Power Electronics, pp. 86-91. IEEE, 2013.

[۳۲] Specification, U.S.B. (2013). Revision 2.0 April 27, 2000. Available http://www.usb.org.

[۳۳] Kiely, Don. "Wanted: programmers for handheld devices." Computer 34, no. 5 (2001): 12-14.

[۳۴] A. a. S. R. Oppenheim,*"Discrete-time signa"l* ,New Jersey, 1999 .

[۳۵] F. W. Group, "FID2, package1, Interoperability Specification(MI2-SI2)," FID2 Working Group, Sep 13, 2020.

[۳۶] "FID3 Interoperability Specification, Billing, Load Management, Asset Management (DI2) V1.1, Prepared by: Monenco Iran, 2019."

[۳۷] "دستورالعمل ضوابط و الزامات جمع آوری و مانیتورینگ اطلاعات کنتورهای منصوبه در ابتدای فیدرهای فشار متوسط در دیسپاچینگ های توزیع. وزارت نیرو، توانیر، اسفند ۱۳۹۴".

[۳۸] "ACE Pilot User Guide, Itron S.A.S, 2011."

[۳۹] "MK6E genius energy meter user manual revision D1, EDMI Pty Ltd, November 2004."

[۴۰] "Genius Energy Meter Register Manual Revision E7, EDMI Pty Ltd, August 2005."

[۴۱] مهناز یوحنایی، محمدا سماعیل هنرمند. "مباحث کاربردی کیفیت توان در شبکه های توزیع برق" جلد اول، انتشارات بنی هاشم، ۱۳۹۷.

[۴۲] Caramia, Pierluigi, Guido Carpinelli, and Paola Verde. Power quality indices in liberalized markets. John Wiley & Sons, 2009.

[۴۳] "Bracale, Antonio, Pierluigi Caramia, Guido Carpinelli, Angela Russo, and Paola Verde. "Site and system indices for power-quality characterization of distribution networks with distributed generation." IEEE Transactions on Power Delivery 26, no. 3 (2011): 1304-1316.

[۴۴] Jasiński, Michał, Tomasz Sikorski, Paweł Kostyła, Zbigniew Leonowicz, and Klaudiusz Borkowski. "Combined cluster analysis and global power quality indices for the qualitative assessment of the time-varying condition of power quality in an electrical power network with distributed generation." Energies 13, no. 8 (2020): 2050.

[۴۵] Jasiński, Michał, Tomasz Sikorski, Dominika Kaczorowska, Paweł Kostyła, Zbigniew Leonowicz, Jacek Rezmer, Przemysław Janik, and Daniel Bejmert. "Global power quality index application in virtual power plant." In 2020 12th International Conference and Exhibition on Electrical Power Quality and Utilisation-(EPQU), pp. 1-6. IEEE, 2020.

[۴۶] Herath, HMS Chandana, Victor J. Gosbell, and Sarath Perera. "Power quality (PQ) survey reporting: discrete disturbance limits." IEEE transactions on power delivery 20, no. 2 (2005): 851-858.

[۴۷] Elbasuony, Ghada S., Shady HE Abdel Aleem, Ahmed M. Ibrahim, and Adel M. Sharaf. "A unified index for power quality evaluation in distributed generation systems." Energy 149 (2018): 607-622.

[۴۸] Abdelrahman, Sami, Huilian Liao, Jovica V. Milanović, Etienne Gasch, Max Domagk, and Jan Meyer. "Assessment of Power Quality performance in distribution networks part II-Performance Indices and ranking of network buses." In 2016 17th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP), pp. 431-436. IEEE, 2016.

[۴۹] Bajaj, Mohit, Amit Kumar Singh, Majed Alowaidi, Naveen Kumar Sharma, Sunil Kumar Sharma, and Shailendra Mishra. "Power quality assessment of distorted distribution networks incorporating renewable distributed generation

systems based on the analytic hierarchy process." IEEE Access 8 (2020): 145713-145737.

[۵۰] Liang, Ning, Fan Li, Zhaohui Guo, Yang Ji, Hanwen Chen, and Hua Zheng. "Research on the Comprehensive Evaluation of Power Quality Based on Customer Side Perspective." In 2018 International Conference on Power System Technology (POWERCON), pp. 4411-4416. IEEE, 2018.

[۵۱] Sacasqui, Marcos, Jaime Luyo, and Alexi Delgado. "A unified index for power quality assessment in distributed generation systems using grey clustering and entropy weight." In 2018 IEEE ANDESCON, pp. 1-4. IEEE, 2018. .”

[۵۲] Jiang, Youhua, Mingshuo Fang, Ziqi Liu, and Wenji Wang. "Comprehensive evaluation of power quality based on an improved TOPSIS method considering the correlation between indices." Applied Sciences 9, no. 17 (2019): 3603.

[۵۳] Vokas, G. A., S. D. Kaminaris, P. A. Kontaxis, M. Rangoussi, G. Ch Ioannidis, S. A. Papathanassiou, P. V. Malatestas, and F. V. Topalis. "Electric network power quality assessment using fuzzy expert system methodology." (2012): 82-82.

[۵۴] Xu, Yonghai, Lei Chen, and Xiangning Xiao. "Synthetic quantitative assessment of power quality in competition market environment." In 2005 IEEE/PES Transmission & Distribution Conference & Exposition: Asia and Pacific, pp. 1-4. IEEE, 2005.

[۵۵] Morsi, Walid G., and M. E. El-Hawary. "Fuzzy-wavelet-based electric power quality assessment of distribution systems under stationary and nonstationary disturbances." IEEE Transactions on Power Delivery 24, no. 4 (2009): 2099-2106.

[۵۶] McGranaghan, Mark F. "Quantifying reliability and service quality for distribution systems." In 2006 IEEE Rural Electric Power Conference, pp. 1-8. IEEE, 2006.

[۵۷] Lee, Buhm, and Kyoung Min Kim. "Unified power quality index based on value-based methodology." In 2009 IEEE Power & Energy Society General Meeting, pp. 1-8. IEEE, 2009.

[۵۸] Developing Site Selection Criteria for DPQ Phase II, voltage sag and interruption analysis, Final report of EPRI 1005921, February 2002 .

[۵۹] Available: http://www.surveysystem.com.

www.nri.ac.ir

تهران - شهرک قدس - انتهای بلوار شهید دادمان (پونک باختری) - صندوق پستی ۵۱۷-۱۴۶۶۵
تلفن : ۸۸۰۷۹۴۰۰ - فاکس : ۸۸۰۷۸۲۹۶

پژوهشگاه نیرو
Niroo Research Institute

تهیه‌ی طرح مفهومی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان



کارفرما: پژوهشگاه نیرو به نمایندگی شرکت توانیر

واحد مجری: طرح اکتساب دانش فنی طراحی و پیاده‌سازی شبکه توزیع هوشمند، ریزشبکه (میکرو/نانو) و نیروگاه مجازی دی ماه ۱۴۰۰

به نام خدا

پژوهشگاه نیرو

نام گزارش: تهیه‌ی طرح مفهومی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان

کد گزارش-ویرایش: PDPN29/T2/ویرایش ۳

عنوان پروژه: طراحی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان در شبکه‌ی توزیع برق هوشمند

واحد مجری پروژه: طرح اکت ساب دانش فنی طراحی و پیاده سازی شبکه توزیع هو شمند، ریز شبکه (میکرو/نانو) و نیروگاه مجازی

مدیر واحد مجری پروژه: خانم مهندس لیلا عبدی

مجری پروژه: خانم مهندس لیلا عبدی

مدیر پروژه: خانم مهندس لیلا عبدی

تهیه‌کننده: پژوهشگاه نیرو

تاریخ: دی ماه ۱۴۰۰

پیشگفتار

این گزارش مربوط به مطالعات صورت گرفته در مرحله‌ی دوم پروژه‌ی طراحی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان در شبکه‌ی توزیع برق هوشمند با عنوان "تهیه‌ی طرح مفهومی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان" است که در یک فصل با عنوان "ارایه‌ی معماری و طرح مفهومی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان در محدوده‌ی شرکت توزیع برق و شرکت توانیر" تدوین شده است.

کارفرما: پژوهشگاه نیرو
مدیر پروژه (پژوهشگاه نیرو): خانم مهندس لیلا عبدی
دانشگاه مجری: فردوسی مشهد
مجری دانشگاهی: آقای دکتر حسین ابوترابی زارچی
تهیه‌کنندگان گزارش مرحله دوم: آقای دکتر حسین ابوترابی زارچی، آقای مهندس نوید یکتای، آقای مهندس مسعود رضوانیان، خانم مهندس سارینا نعیمی، خانم مهندس لیلا سمیع زاده، خانم مهندس فاطمه دبوری فریمانی، آقای مهندس محمد حکمت، آقای مهندس سینا شریفی، خانم مهندس سارا ملائی.
ناظر پروژه: خانم دکتر آذین شجاعی (از دفتر هوشمندسازی و فن‌آوری‌های نوین شرکت توانیر)

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: ارائه‌ی معماری و طرح مفهومی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان در محدوده شرکت توزیع برق و شرکت توانیر ۷
۱-۱- مقدمه ۸
۱-۲- طرح کلی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان ۸
۱-۲-۱- المان‌های سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان ۱۰
۱-۳- شیوه‌ی توصیف طرح مفهومی سامانه‌ی پایش کیفیت توان ۱۱
۱-۳-۱-استاندارد UML.2 [1] ۱۲
۱-۳-۲-انواع نمودار UML ۱۴
۱-۳-۳-استاندارد IEC 61968 ۳۰
۱-۳-۴-مراحل طراحی سامانه ۳۳
۱-۴- طرح مفهومی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان در قالب نمودارهای UML ۳۶
۱-۴-۱-نمودار اشیاء کنترلی، مرزی و موجودیت‌ها ۳۶
۱-۴-۲-نمودار مورد کاربردی سامانه‌ی پایش کیفیت توان ۳۸
۱-۴-۳-نمودار اجزاء سامانه‌ی پایش کیفیت توان ۴۱
۱-۴-۴-نمودارهای توالی ۴۲
۱-۴-۴-۱-نمودار توالی تعیین سطح دسترسی ۴۲
۱-۴-۴-۲-نمودار توالی درخواست تنظیم پارامترهای کنتورهای مشبا ۴۳
۱-۴-۴-۳-نمودار توالی درخواست تنظیم پارامترهای کنتورهای فهام ۴۴
۱-۴-۴-۴-نمودار توالی تهیه گزارش شرکت توانیر ۴۵
۱-۴-۴-۵-نمودار توالی تهیه‌ی گزارش شرکت توزیع ۴۷
۱-۴-۴-۶-نمودار توالی تهیه‌ی گزارش مشترکین بزرگ ۴۹
۱-۴-۴-۷-نمودار توالی دسترسی برنامک کاربردی به سامانه‌ی پایش کیفیت توان ۵۱
پیوست ۱: نمودارهای UML ۵۲
پیوست ۲: سؤال‌ها و پاسخ‌های ارایه‌شده در خصوص ویرایش اول گزارش ۵۳
پیوست ۳: سؤال‌ها و پاسخ‌های ارایه‌شده در خصوص ویرایش دوم گزارش ۶۰
مراجع ۶۴

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱ جریان اصلی اطلاعات در سامانه‌ی پایش کیفیت توان ۹
شکل ۱-۲ طرح کلی سامانه جامع پایش کیفیت توان ۹
شکل ۱-۳ نمودار کلاس ۱۴
شکل ۱-۴ نحوه نوشتن نکته و توضیح اضافی در نمودار کلاس ۱۵
شکل ۱-۵ نمودار ارتباطی ۱۶
شکل ۱-۶ نمودار توالی برای کنترل متمرکز ۱۷
شکل ۱-۷ نمودار توالی برای کنترل توزیع‌شده ۱۷
شکل ۱-۸ ایجاد و حذف شرکت‌کننده ۱۸
شکل ۱-۹ نمایش حلقه‌ها و یا عبارات شرطی در نمودار توالی ۱۹
شکل ۱-۱۰ نمودار شیء ۲۰
شکل ۱-۱۱ نمودار پکیج ۲۰
شکل ۱-۱۲ نمودار گسترش ۲۱
شکل ۱-۱۳ مثالی از متن یک نمودار مورد کاربردی ۲۲
شکل ۱-۱۴ نمودار مورد کاربردی ۲۳
شکل ۱-۱۵ نمودار وضعیت (حالت) ۲۴
شکل ۱-۱۶ نمودار حالت همراه با بیان فعالیت ۲۴
شکل ۱-۱۷ نمودار فعالیت ۲۵
شکل ۱-۱۸ زیرفعالیت‌های موجود در نمودار فعالیت ۲۶
شکل ۱-۱۹ نمایش ساختارهای ترکیبی ۲۷
شکل ۱-۲۰ نمودار اجزاء ۲۷
شکل ۱-۲۱ نمودار تعامل ۲۸
شکل ۱-۲۲ نمودار زمان‌بندی ۲۹
شکل ۱-۲۳ اجزای استاندارد IEC 61968 ۳۲
شکل ۱-۲۴ برقراری ارتباط بین برنامه‌های مختلف در استاندارد IEC 61968 ۳۳
شکل ۱-۲۵ نمودار اشیاء کنترلی، مرزی و موجودیت‌ها ۳۸
شکل ۱-۲۶ نمودار تعیین سطوح دسترسی ۳۹
شکل ۱-۲۷ نمودار دریافت گزارش ۴۰
شکل ۱-۲۸ نمودار تنظیم پارامترهای کنتورها ۴۱
شکل ۱-۲۹ نمودار اجزاء سامانه‌ی پایش کیفیت توان ۴۲
شکل ۱-۳۰ نمودار توالی تعیین سطح دسترسی ۴۳
شکل ۱-۳۱ نمودار توالی درخواست تنظیم پارامترهای کنتورهای مدیریت شبکه ۴۴
شکل ۱-۳۲ نمودار توالی درخواست تنظیم پارامترهای کنتورهای فهام ۴۵
شکل ۱-۳۳ نمودار توالی تهیه گزارش شرکت توانیر ۴۶
شکل ۱-۳۴ نمودار توالی تهیه گزارش شرکت توزیع ۴۸
شکل ۱-۳۵ نمودار توالی تهیه گزارش مشترکین بزرگ ۵۰
شکل ۱-۳۶ نمودار توالی دسترسی برنامک کاربردی به سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان ۵۱

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۱-۱ لیست المان‌های سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان ۱۰
جدول ۱-۲ لیست انواع نمودار مطابق با استاندارد UML ۱۳
جدول ۱-۳ مجموعه‌ی استاندار IEC 61968 ..... ۳۰
جدول ۱-۴ اشیاء موجود در سامانه جامع پایش کیفیت توان ۳۴

مقدمه

هدف از این مرحله، ارائه‌ی معماری و طرح مفهومی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان در محدوده‌ی شرکت‌های توزیع برق و شرکت توانیر ا ست. این طرح شامل تعیین المان‌های موردنیاز سامانه‌ی پایش (شامل تجهیزات پایش (از قبیل کنتورهای هو شمند، آنالایزرهای کیفیت توان، ثبات‌ها، سرورها) و سامانه‌های کاربردی و مدیریتی داده‌ها و ...) و تعیین نحوه‌ی ارتباط این عناصر با یکدیگر است. طرح ارایه‌شده مقیاس‌پذیر و مطابق با وضعیت فعلی بوده و از امکانات موجود در شرکت‌ها بهره‌ی کامل را برده و قابلیت تطابق با تغییرات آینده در شبکه‌ی توزیع برق و تجهیزات مربوطه را دارد. لازم به توضیح است در ارایه‌ی طرح، استفاده از کنتورهای هوشمند به‌عنوان پایشگر کیفیت توان موجود در شرکت های توزیع مورد تأکید بوده است.

فصل اول: ارائه‌ی معماری و طرح مفهومی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان در محدوده شرکت توزیع برق و شرکت توانیر

۱-۱- مقدمه

در این فصل از گزارش، طراحی مفهومی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان ارائه شده است. بدین منظور، با توجه به مفروضات، المان‌های سامانه مشخص شده و نحوه‌ی ارتباط آن‌ها با یکدیگر توصیف شده است. در گزارش این فصل، ابتدا طرح کلی و المان‌های سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان توصیف شده است. سپس، استانداردها و نمودارهای UML متعارف که به‌منظور ارائه‌ی طرح مفهومی به کار گرفته شده، به‌اختصار توصیف می‌شود. در نهایت، طرح مفهومی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان ارائه می‌گردد که این بخش به ترتیب شامل نمودارهای نمونه کاربرد، دیاگرام کلاس و دیاگرام‌های توالی می‌شود. در سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان، دو کاربر اصلی، شرکت توانیر و شرکت‌های توزیع می‌باشند. علاوه بر کاربران اصلی مذکور، سایر کاربران سامانه نیز می‌توانند به بخشی از اطلاعات حاصل از سامانه دسترسی داشته باشند. هدف اصلی از ارائه‌ی شاخص‌های تجمیعی، ارزیابی شرکت‌های توزیع توسط شرکت توانیر است. شرکت توانیر به‌عنوان مدیر سامانه، دسترسی کامل به همه‌ی بخش‌های سامانه را خواهد داشت و سایر کاربران سامانه جامع پایش کیفیت توان به نمودارها و داده‌های متناسب با نیازشان دسترسی دارند. مفروضات مهم در این طرح شامل موارد زیر است:

- استفاده از کنتورهای هوشمند موجود به‌عنوان تجهیز اندازه‌گیری پارامترهای کیفیت توان
- دریافت اطلاعات کیفیت توان کنتورهای فهام از طریق MDM
- دریافت اطلاعات کیفیت توان از کنتورهای بازار برق (MK6E)
- عدم نیاز به نصب تجهیزات اندازه‌گیری جدید
- توانایی ذخیره‌سازی و استخراج داده‌های خام کیفیت توان
- توانایی ارائه‌ی گزارش کیفیت توان به تفکیک شرکت‌های توزیع
- توانایی ارائه‌ی شاخص‌های تجمیعی در سطح توانیر و شرکت‌های توزیع
- ارائه‌ی شاخص‌های محاسبه‌شده در قالب داشبوردها و نمودارهای مدیریتی
- مقیاس‌پذیر بودن طرح ارائه‌شده برای قابلیت انطباق با تغییرات آتی شبکه

۱-۲- طرح کلی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان

سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان به‌منظور پایش مستمر وضعیت کیفیت توان شبکه و ارزیابی عملکرد شرکت‌های توزیع طراحی شده است. یکی از مفروضات اصلی در طراحی این سامانه، استفاده‌ی حداکثری از تجهیزات و زیرساخت‌های موجود در صنعت برق کشور بوده است؛ بنابراین، زیرساخت فراسامانه‌ی هوشمند اندازه‌گیری و مدیریت انرژی (فهام)، یکی از اجزای اصلی سامانه‌ی پایش کیفیت توان است. در سامانه‌ی مذکور، اطلاعات کیفیت توان با استفاده از کنتورهای موجود در شبکه اندازه‌گیری شده و به مراکز مدیریت داده ارسال می‌شوند. سپس، اطلاعات به پایگاه داده‌ی کیفیت توان

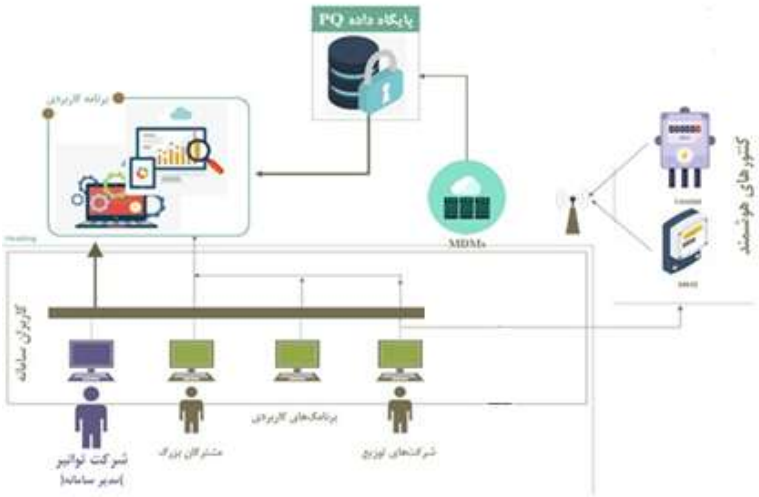
منتقل شده و با استفاده از یک برنامه‌ی کاربردی، به‌منظور تهیه‌ی گزارش، مورداستفاده قرار می‌گیرند. جریان اصلی اطلاعات کیفیت توان در سامانه به‌صورت ساده و مختصر در شکل ۱-۱ نمایش داده شده است.



شکل ۱-۱ جریان اصلی اطلاعات در سامانه‌ی پایش کیفیت توان

با توجه به این‌که زیرساخت اندازه‌گیری موجود شامل کنتورهای هوشمند، تجهیزات ارتباطی و سرورهای موجود به‌منظور پایش شبکه و صدور قبوض مورداستفاده قرار می‌گیرد، سامانه‌ی پایش کیفیت توان به‌گونه‌ای طراحی شده است که خللی در سامانه‌ها و عملکردهای موجود ایجاد نکند و به‌صورت یک قابلیت مستقل به سامانه‌های موجود افزوده شود. بدین منظور، در طراحی سامانه‌ی پایش کیفیت توان، نحوه‌ی ارتباط اجزا و دسترسی بازیگران مختلف به اجزای سامانه به دقت تعریف شده است.

طرح کلی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان بدون ارائه‌ی جزئیات در شکل ۱-۲ نمایش داده شده است. شکل ۱-۲ معرف یک طرح اولیه از سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان است که در آن جزئیات نحوه‌ی ارتباط و دسترسی‌ها نمایش داده نشده است. در ادامه گزارش، جزئیات این طرح ارائه خواهد شد. همان‌طور که در شکل ۱-۲ مشاهده می‌شود، کاربران – شامل شرکت توانیر، شرکت توزیع، برنامک‌های کاربردی و مشترکان بزرگ – سامانه از طریق برنامه‌ی کاربردی به اطلاعات پایگاه داده دسترسی داشته و می‌توانند گزارش‌های موردنیاز خود را به دست آورند. اطلاعات پایگاه داده نیز شامل اطلاعات کیفیت توان کنتورهای هوشمند و سایر تجهیزات اندازه‌گیری است.



شکل ۱-۲ طرح کلی سامانه جامع پایش کیفیت توان

۱-۲-۱- المان‌های سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان

سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان از عملکرد المان‌های مختلفی نظیر تجهیزات اندازه‌گیری، زیرساخت ثبت و انتقال داده، کاربران و ... تشکیل شده است. به‌منظور شناخت این المان‌ها و آشنایی با عملکرد هر یک، در جدول ۱-۱ لیستی از آن‌ها ارائه شده است.

جدول ۱-۱ لیست المان‌های سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان

ردیف	المان (اجزاء)	عملکرد (وظایف)
۱	کنتور فهام	- اندازه‌گیری و ایجاد اطلاعات کیفیت توان - ارسال اطلاعات کیفیت توان از طریق GPRS به MDM1
۲	کنتور MK6E	- اندازه‌گیری و ایجاد اطلاعات کیفیت توان
۳	کنتور ACE6000	- اندازه‌گیری و ایجاد اطلاعات کیفیت توان
۶	MDM1	- دریافت اطلاعات کنتورهای فهام
۷	MDM2	- دریافت اطلاعات کیفیت توان کنتورهای مدیریت شبکه
۸	پایگاه داده کیفیت توان	- دریافت و ذخیره اطلاعات ارسال‌شده از MDMها
۹	برنامه کاربردی	- دریافت اطلاعات کیفیت توان از پایگاه داده و محاسبه شاخص‌ها و رسم نمودارهای موردنیاز
۱۱	داشبورد مدیریتی شرکت توزیع	- توانایی دریافت داده‌های کیفیت توان مربوطه از پایگاه داده - توانایی دریافت گزارش از برنامه کاربردی - توانایی مشاهده داشبورد مدیریتی کیفیت توان در سطح توزیع - توانایی اعمال تنظیمات پارامترهای کنتورهای فهام و MDM1 که از جانب توانیر ابلاغ شده است.
۱۲	داشبورد مدیریتی شرکت توانیر	- دسترسی به‌تمامی داده‌های خام و پردازش‌شده کیفیت توان - توانایی دریافت گزارش از برنامه کاربردی - توانایی مشاهده داشبورد مدیریتی کیفیت توان برای کل سیستم - توانایی تغییر در ضرایب روابط و الگوریتم محاسبه شاخص‌های تجمیعی

		–
		–
۱۵	سرور کیفیت توان	– سروری که برنامه کاربردی بر روی آن توسط شرکت توانیر و شرکت‌های توزیع اجرا می‌شود و همچنین از طریق API به برنامه‌های کاربردی محلی مستقر در شرکت‌های توزیع سرویس می‌دهد.
۱۶	API	– رابط نرم‌افزاری پیش‌بینی‌شده جهت ارتباط با برنامه‌های کاربردی محلی مستقر در شرکت‌های توزیع
۱۷	برنامه‌های کاربردی مستقر در شرکت توزیع	– برنامه‌هایی هستند که از داده فراهم‌شده توسط سامانه پایش کیفیت توان بهره می‌برند تا اطلاعات دیگری که برای کاربردهای دیگر موردنیاز است را فراهم کنند.
۱۹	سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان	– محاسبه‌ی شاخص کیفیت توان – محاسبه و رسم نمودارهای مرتبط با کیفیت توان – ارائه‌ی گزارش کیفیت توان در داشبورد مدیریتی
۲۰	مشترک بزرگ	– دریافت گزارش کیفیت توان از داشبورد مدیریتی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان

۱-۳- شیوه‌ی توصیف طرح مفهومی سامانه‌ی پایش کیفیت توان

هدف از طراحی مفهومی سامانه‌ی پایش کیفیت توان، ارائه‌ی یک چارچوب کلی، به‌منظور برآورده شدن اهداف و نیازمندی‌های سامانه با توجه به مفروضات و محدودیت‌های فنی و اجرایی است. در طراحی مفهومی، فرآیندها و چرخه‌های موردنیاز در سامانه به‌منظور دست‌یابی به اهداف از پیش تعریف‌شده، مشخص می‌شود.

روش ارائه‌ی طرح مفهومی می‌تواند به‌صورت توصیفی، گرافیکی و یا تلفیقی از هر دو روش باشد. زبان‌های مدل سازی یکی از راهکارهای استاندارد طراحی مفهومی می‌باشند. زبان‌های مدل‌سازی متفاوتی به این منظور طراحی شده و مورداستفاده قرار گرفته است. ازجمله زبان توصیف معماری (ADL[1]) که به‌منظور توصیف معماری نرم‌افزار استفاده می‌شود. نمونه‌ی دیگر، استاندارد مدل‌سازی فرآیندهای کسب‌وکار (BPMN[2]) است که برای پیکربندی فرآیندهای تجاری به کار می‌رود. چارچوب مفهومی FMC[3] نیز یک روش توصیف سیستم‌های نرم‌افزاری است که با استفاده از نمودارهای گرافیکی، رفتار و اجزای سیستم را نشان می‌دهد. زبان مدل‌سازی UML[4] نیز یک روش نسبتاً جدید و جامع به‌منظور

[1] Architecture Description Language
[2] Business Process Model and Notation
[3] Fundamental Modeling Concepts
[4] Unified Modeling Language

طراحی مفهومی نرم‌افزار است که در اینجا به‌منظور ارائه‌ی طرح مفهومی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان از آن استفاده شده است. در این بخش از گزارش، مفاهیم اصلی و نمودارهای استاندارد UML به‌اختصار ارائه شده است.

۱-۳-۱-استاندارد UML.2 [1]

زبان مدل‌سازی یکپارچه یا UML، یک زبان گرافیکی برای توصیف و طراحی عناصر بزرگ سیستم‌های نرم‌افزاری است و قواعدی دارد که به‌وسیله‌ی این قواعد، عناصر بزرگ سیستم‌های نرم‌افزاری توصیف می‌شود. این زبان، شیءگرا[1] بوده و به کمک نشانه‌های موجود در این زبان مدل‌سازی یکپارچه، می‌توان مدل یک سیستم را به دست آورد.

برای ساخت یک ساختمان، داشتن نقشه آن ساختمان، از عناصر ضروری است، برای ایجاد سیستم‌های نرم‌افزاری، نیاز به مدل و نقشه‌ی اولیه است که این نقشه را با استفاده از UML نمایش داده می‌شود. نمایش سیستم با استفاده از UML باعث می‌شود که از پیچیدگی سیستم در ذهن انسان کاسته شود و سیستم راحت‌تر درک شود. به‌علاوه، با استفاده از UML، یافتن ارتباط بین قسمت‌های مختلف یک سیستم، ساده می‌شود.

درواقع، UML یک استاندارد است که در سال ۱۹۹۷ ایجاد شده و توسط گروه مدیریتی شیء[2] (OMG) پشتیبانی می‌شود. OMG برای ایجاد استانداردهایی که قابلیت شیءگرایی دارند، تشکیل شده است. هم‌چنین در دهه‌ی ۱۹۸۰، اولین قدم‌ها به سمت دنیای برنامه‌نویسی برداشته شد و زبان C++ متولد شد، در آن زمان، افراد مختلف به فکر ایجاد زبان‌های طراحی گرافیکی شیءگرا افتادند و کتاب‌های اصلی و مهم در مورد زبان‌های مدل‌سازی گرافیکی شیءگرا بین سال‌های ۱۹۸۸ تا ۱۹۹۲ نوشته شد. همان زمان، OMG تشکیل شد و سعی در استانداردسازی این زبان مدل‌سازی داشت که باعث ایجاد ویرایش‌های مختلف این استاندارد شد. ویرایش ۱,۱ در ابتدا به‌عنوان استاندارد رسمی OMG تصویب شد و بعدها ویرایش ۱,۲، ۱,۳، ۱,۴ و ۱,۵ ایجاد شدند.

زبان‌های مدل‌سازی گرافیکی مدت‌هاست که در صنعت نرم‌افزار وجود دارند. این نوع زبان، به‌صورت تجاری برای اولین بار توسط شرکت Rational ارائه شده است. درواقع، این زبان مدل‌سازی یکپارچه، وظایف، ارتباط‌ها و اهداف یک سیستم را مانند نقشه یک ساختمان، نشان می‌دهد، اما درباره‌ی نحوه‌ی پیاده‌سازی سیستم، چیزی را نشان نمی‌دهد. درواقع UML چیزی فراتر از چند نماد گرافیکی ساده است، به‌طوری که در ورای این نمادها، یک معناشناسی قوی وجود دارد که انتقال مفاهیم را ساده می‌کند و یک طراح می‌تواند مدل‌هایی تولید کند که طراحان دیگر و یا حتی ماشین‌ها آن را بخوانند و بفهمند؛ بنابراین، یکی از نقش‌های مهم این زبان، تسهیل ارتباط بین اعضای پروژه یا بین توسعه‌دهندگان مختلف است. البته این را هم باید در نظر گرفت که UML کمی پیچیده است و این به خاطر آن است که سعی شده تا نمودارهایی فراهم شود که در هر موقعیتی و با هر ترتیبی قابل‌استفاده باشند. مهندسی مستقیم و مهندسی معکوس از مهم‌ترین قابلیت‌های UML به شمار می‌روند.

برای درک بهتر این زبان مدل‌سازی، در استاندارد UML، سه حالت مستقل استفاده از این زبان، ارائه شده است.

---

[1] object-oriented

[2] Object Management Group (OMG)

- طرح اولیه[1]
- طرح اصلی[2]
- زبان برنامه‌نویسی[3]

رایج‌ترین استفاده از UML، ایجاد طرح اولیه است که هدف UML در این کاربرد، برقراری ارتباط بین بخش‌های گوناگون در یک سامانه‌ی نرم‌افزاری است. علاوه بر نقشه‌های اولیه، می‌توان از UML در طرح اصلی جهت مهندسی مستقیم یا مهندسی معکوس نیز استفاده کرد. در مهندسی مستقیم، قبل از نوشتن کد مدنظر در طراحی نرم‌افزار، نمودارهای UML ترسیم می‌شوند؛ درحالی‌که در مهندسی معکوس، برای درک بهتر نرم‌افزار موجود، با استفاده از کد برنامه‌ی موجود، نمودار UML استخراج می‌شود تا بهتر بتوان عملکرد نرم‌افزار را درک کرد.

جدول ۱-۲ لیست انواع نمودار مطابق با استاندارد UML

Diagram	Purpose	Lineage
Activity	Procedural and parallel behavior	In UML 1
Class	Class, features, and relationships	In UML 1
Communication	Interaction between objects; emphasis on links	UML 1 collaboration diagram
Component	Structure and connections of components	In UML 1
Composite structure	Runtime decomposition of a class	New to UML 2
Deployment	Deployment of artifacts to nodes	In UML 1
Interaction overview	Mix of sequence and activity diagram	New to UML 2
Object	Example configurations of instances	Unofficially in UML 1
Package	Compile-time hierarchic structure	Unofficially in UML 1
Sequence	Interaction between objects; emphasis on sequence	In UML 1
State machine	How events change an object over its life	In UML 1
Timing	Interaction between objects; emphasis on timing	New to UML 2
Use case	How users interact with a system	In UML 1

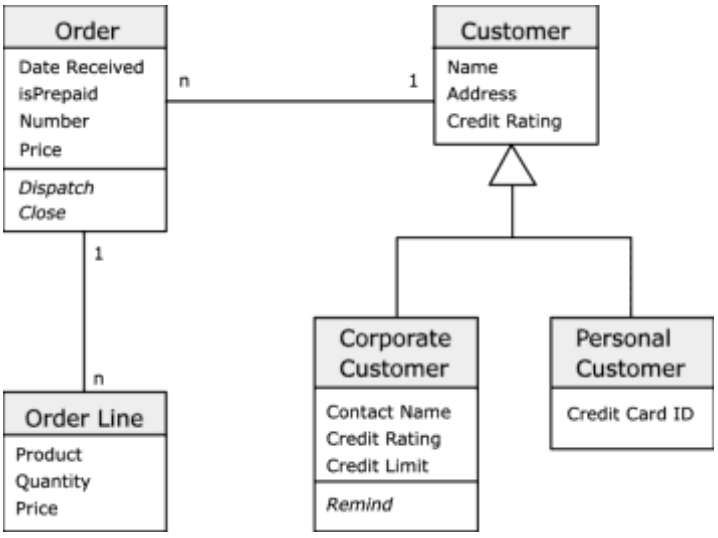
[1] Sketch
[2] Blueprint
[3] Programming Language

۱-۳-۲-انواع نمودار UML

در UML، ۱۳ نمودار[1] معرفی شده است که در جدول ۱-۲ این نمودارها لیست شده است. این استاندارد، شامل مجموعه‌ی قابل‌توجهی از نمودارهای مختلف است که از هرکدام با توجه به نیاز و خواسته‌ی مسئله و یا پروژه‌ی مدنظر استفاده می‌شود. در فرآیند توسعه‌ی نرم‌افزار و استفاده از نمودارهای UML، نیازی به استفاده از همه‌ی این نمودارها نیست؛ بلکه باید مجموعه‌ای از این نمودارها را که در پروژه‌ی مطرح‌شده کارآمد و مفید است انتخاب کرده و از آن استفاده نمود.

- **نمودار کلاس**[2]

به کمک این نمودار، انواع اشیاء موجود در سامانه و انواع مختلف روابط موجود بین آن‌ها توصیف می‌شود. شکل ۱-۳ یک مدل ساده از نمودار کلاس را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۳ نمودار کلاس

همان‌طور که در شکل ۱-۳ مشخص است، این نمودار به ۳ بخش تقسیم می‌شود.

۱) نام کلاس: هر کلاس با نام منحصربه‌فرد خود، تعیین می‌گردد که این نام، باید در بالای هر کلاس نوشته شود.
۲) مشخصات کلاس: مشخصات کلاس، مواردی است که کلاس به‌صورت ذاتی آن را دارد؛ به‌عنوان مثال برای دانشجو، نام دانشجو، شماره دانشجویی و رشته تحصیلی دانشجو، می‌تواند به‌عنوان مشخصات دانشجو در نظر گرفته شود.

[1] Diagram
[2] Class Diagram

۳) عملکرد کلاس: عملکرد کلاس، کارهایی است که کلاس می‌تواند انجام دهد، به‌عنوان مثال، دانشجو می‌تواند از پرتال دانشجویی خود جهت مشاهده‌ی نمرات استفاده کند، برای نمرات خود اعتراض ثبت کند و از کتابخانه استفاده کند.

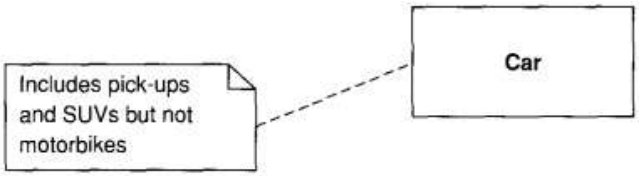
رسم نمودار کلاس دارای قوانینی است که باید رعایت گردد. به‌عنوان مثال جهت نمایش تعدد[1] در نمودار، همان‌طور که در شکل ۱-۳ مشخص است، باید این موارد مدنظر قرار گیرد:

1: دقیقاً از یک مشتری

0…1: مشتری ممکن است یک نسخه داشته یا نداشته باشد.

1…n: مشتری حداقل یک نسخه را دارد.

به‌عنوان مثال در شکل ۱-۳ همان‌طور که مشخص است، Order یک سفارش است که می‌تواند n خط سفارش داشته باشد و یا یک مشتری داریم که می‌تواند n مقدار سفارش داشته باشد. هم‌چنین، مشتریان می‌توانند شامل مشتری شخصی و یا مشتری خاص باشند که تفاوت آن در داشتن کارت اعتباری است. در صورت نیاز به نوشتن نکات و توضیحات بیش‌تر، این موارد را می‌توان در زیر کلاس نوشت و یا در صورت طولانی بودن توضیحات، می‌توان آن‌ها را به‌صورت جداگانه در باکسی مشابه شکل ۱-۴ نمایش داد.



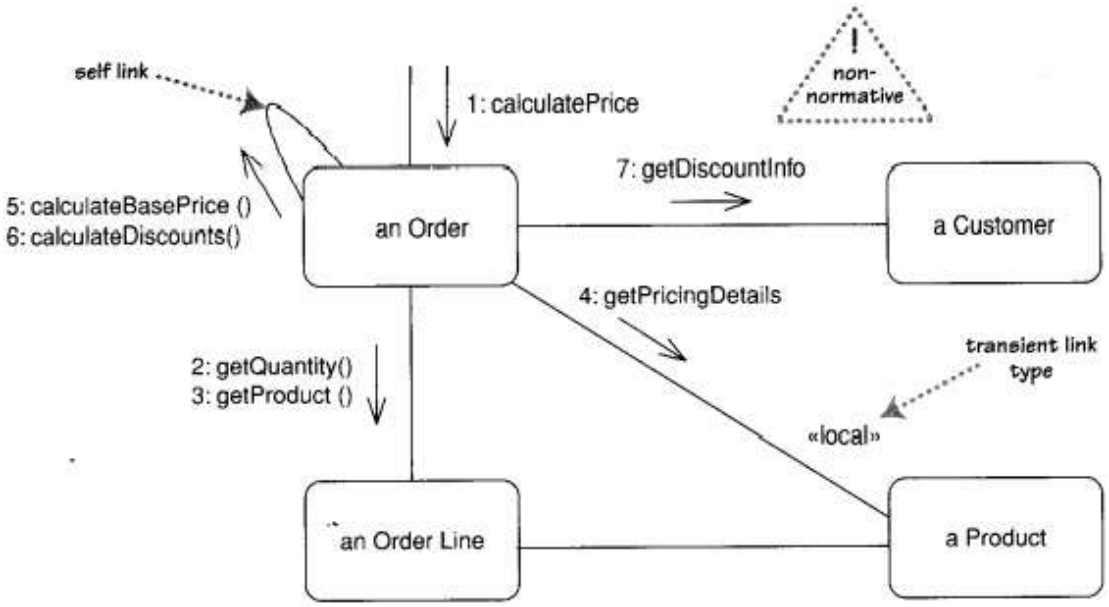
شکل ۱-۴ نحوه نوشتن نکته و توضیح اضافی در نمودار کلاس

- **نمودار ارتباطی[2]**

در نرم‌افزارهای شیءگرا، تمامی همکاری‌های موجود در یک سامانه، توسط ارتباط اشیاء آن سامانه صورت گرفته می‌شود که در UML می‌توان به‌منظور نمایش ارتباط‌های موجود در یک سامانه، نمودار ارتباطی را رسم کرده و نحوه‌ی ارتباط بین اجزاء سیستم را نشان داد. شکل ۱-۵ یک نمودار ارتباطی را در UML نشان می‌دهد.

[1] Multiplicity

[2] Communication Diagram



شکل ۱-۵ نمودار ارتباطی

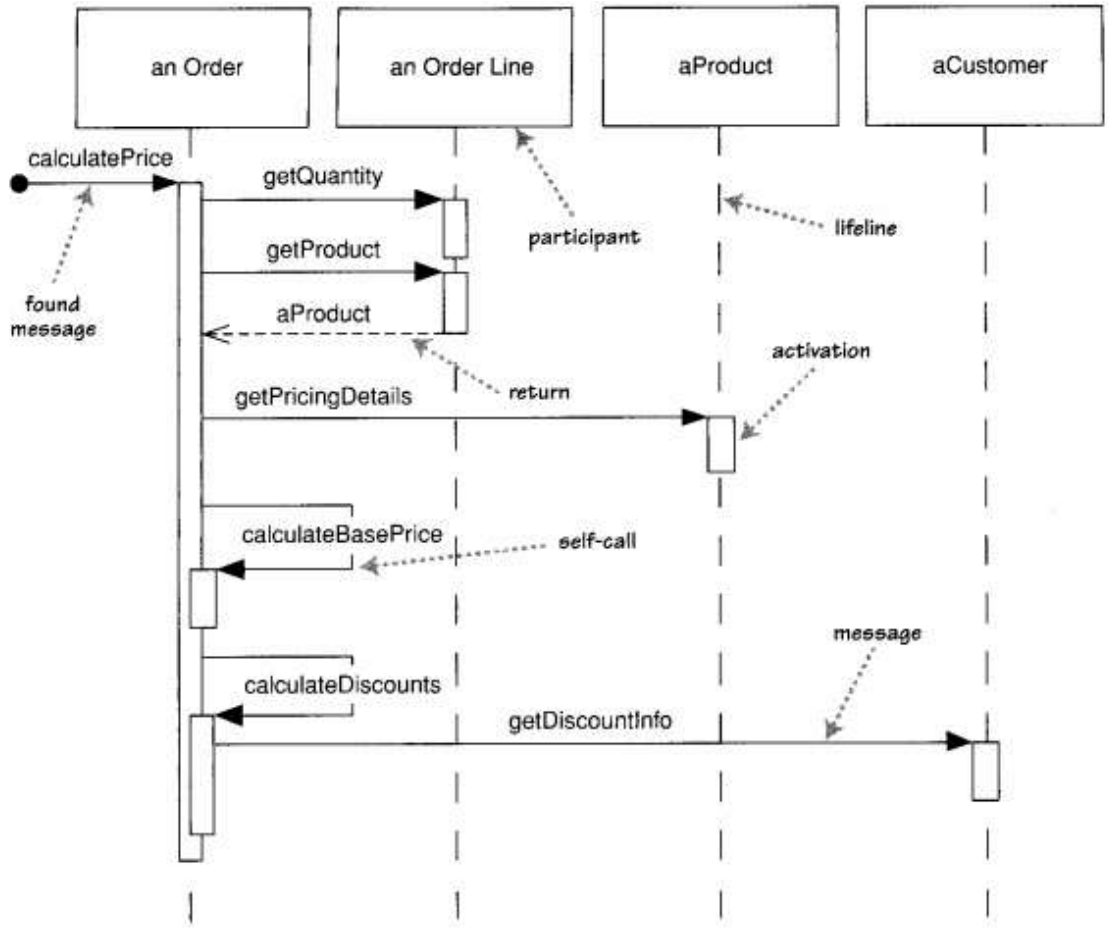
در شکل ۱-۵، نحوه‌ی ارتباط بین مشتری، سفارش ثبت‌شده توسط مشتری، آیتم‌های سفارش و تولید محصول را می‌توان به کمک نمودار ارتباطی نمایش داد.

- **نمودار توالی**[1]

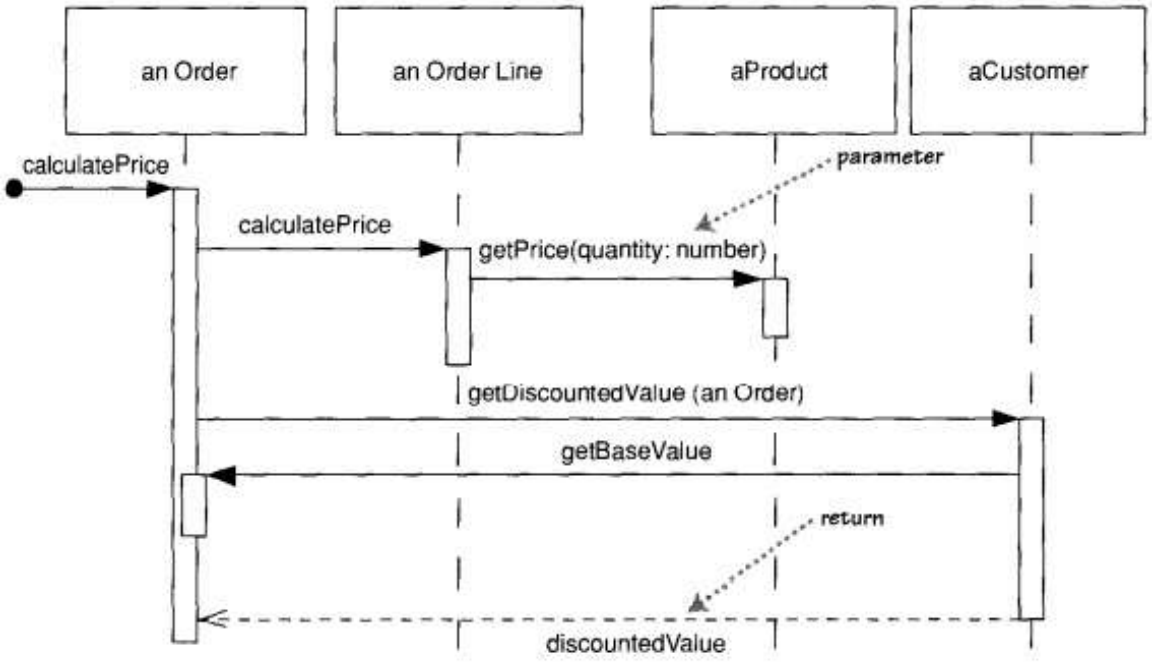
نمودار توالی کاملاً مرتبط با نمودار ارتباطی بوده و جهت نمایش چگونگی ارتباط بین اشیاء و نمایش رفتار یک شیء استفاده می‌شود. از طریق نمودار توالی می‌توان تعداد ارتباطات بین اشیاء و نحوه‌ی ارتباط بین این اشیاء را همراه با زمان مربوطه نمایش داد. به‌عنوان مثال، شکل ۱-۶، نمودار توالی برای کنترل متمرکز را نشان می‌دهد. در کنترل متمرکز، تمامی پردازش‌ها و ارتباط‌های موجود در سیستم به وسیله‌ی یک شرکت‌کننده انجام می‌شود.

شکل ۱-۷، نمودار توالی برای کنترل توزیع‌شده را نشان می‌دهد. در کنترل توزیع‌شده تمامی پردازش‌ها و ارتباط‌های موجود در سیستم، به وسیله‌ی دو و یا بیشتر از دو شرکت‌کننده انجام می‌شود.

[1] Sequence Diagram

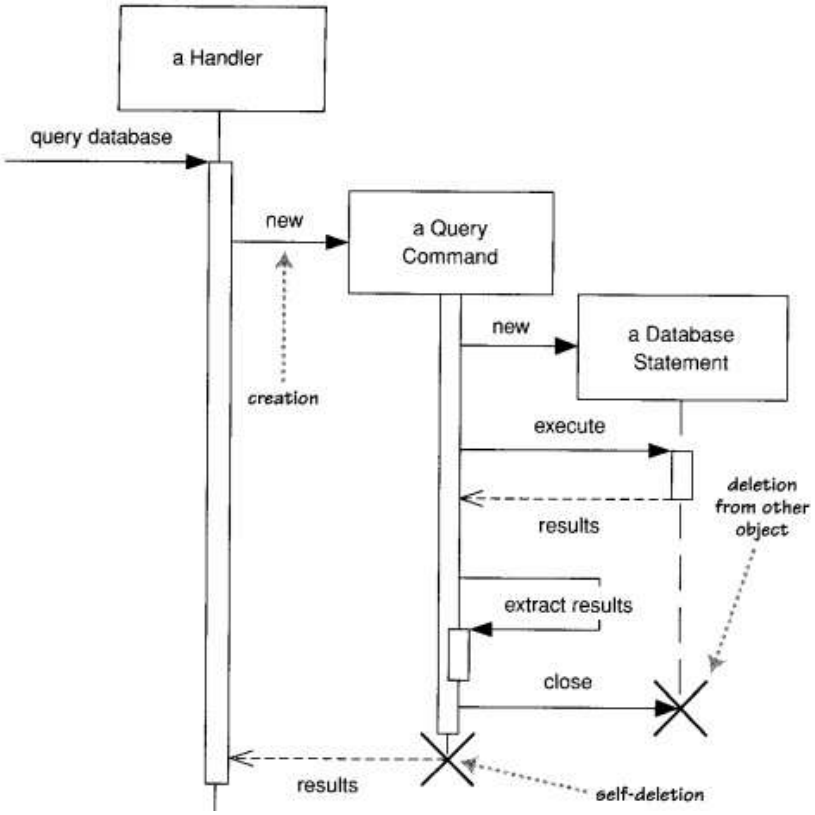


شکل ۱-۶ نمودار توالی برای کنترل متمرکز



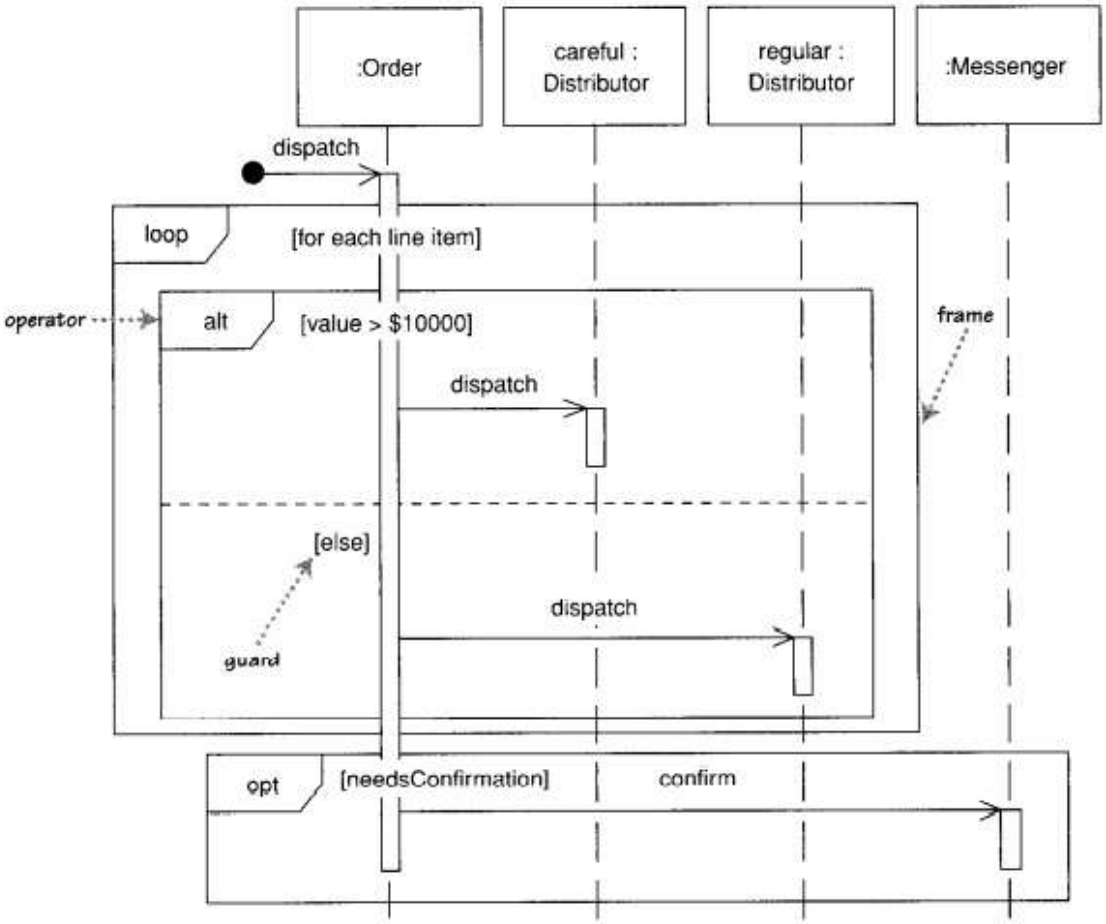
شکل ۱-۷ نمودار توالی برای کنترل توزیع‌شده

در نمودار توالی، در صورت نیاز، می‌توان اشیاء مهمی که دیگر در سامانه نیازی به آن نیست را در شکل نمودار توالی، با استفاده از علامت ضربدر نمایش داد. در شکل ۱–۸ چگونگی نمایش حذف اشیاء سامانه نشان داده شده است.



شکل ۱–۸ ایجاد و حذف شرکت‌کننده

هم‌چنین، از طریق نمودار توالی، می‌توان حلقه‌ها و یا عبارات شرطی (If, If else) را نمایش داد که در صورت نیاز، برای استفاده از حلقه از کلمه‌ی Loop و برای استفاده از عبارات شرطی، از کلمه‌ی alt استفاده می‌شود.



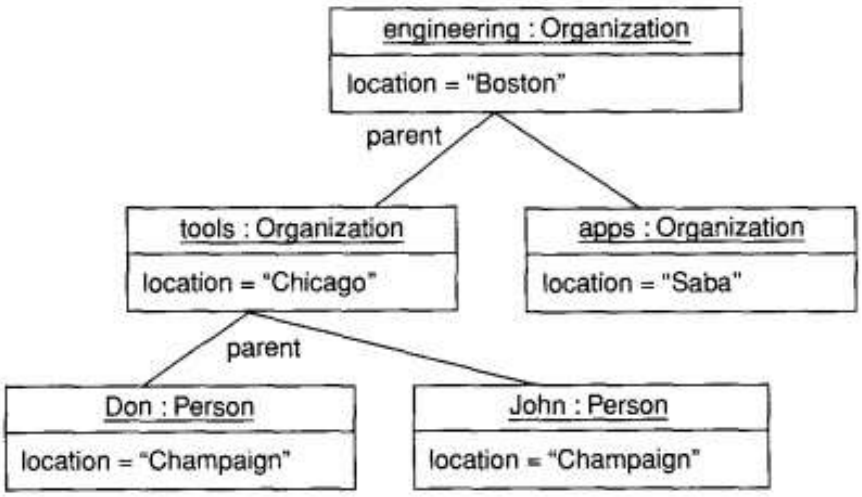
شکل ۱-۹ نمایش حلقه‌ها و یا عبارات شرطی در نمودار توالی

در صورت نیاز، می‌توان نوع ارتباط را با توجه به هم‌زمانی (سنکرون) یا ناهم‌زمانی (آسنکرون) تعیین کرد.

- **نمودار شیء**[1]

این نمودار شبیه نمودار کلاس است و صرفاً رابطه‌ی بین اشیاء سامانه را نشان می‌دهد. به‌عنوان مثال در شکل ۱-۱۰ می‌توان نشان داد که به کمک نمودار شیء، از پیچیدگی سامانه در ذهن انسان کاسته می‌شود و نمودار توالی باعث درک بهتر ارتباط بین اشیاء سامانه می‌گردد.

[1] Object Diagram

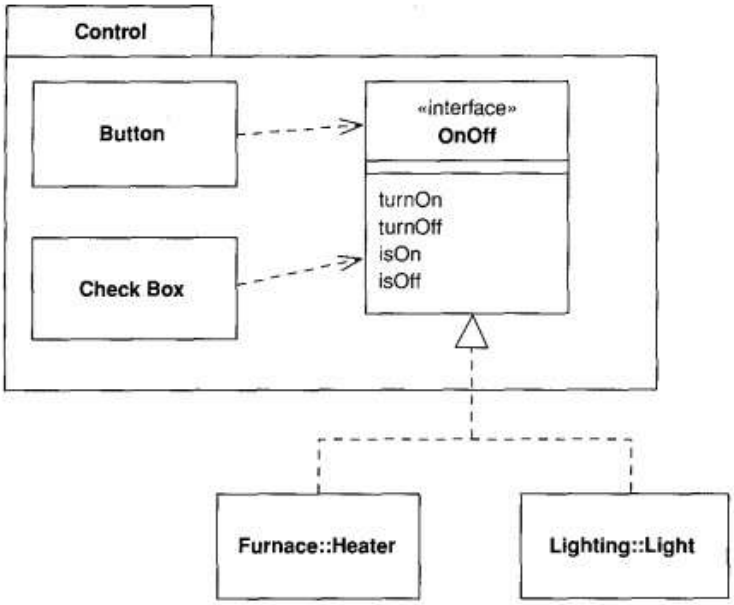


شکل ۱-۱۰ نمودار شیء

- **نمودار پکیج**[1]

کلاس‌های یک سامانه در زبان UML در پکیج‌ها قرار می‌گیرند و هر کلاس به‌تنهایی نشان‌دهنده‌ی یک پکیج ساده است. هر پکیج، نام خود را داشته که با نام مجموعه کلاس‌هایی که در داخل پکیج قرار می‌گیرند متفاوت است. به‌عنوان مثال، دانشگاه یک پکیج است که شامل دانشکده‌های مختلف، کلاس‌ها، آزمایشگاه‌ها و اتاق اساتید است.

هم‌چنین، می‌توان ارتباط بین کلاس‌ها را به کمک نمودار پکیج، مانند شکل ۱-۱۱ نشان داد.

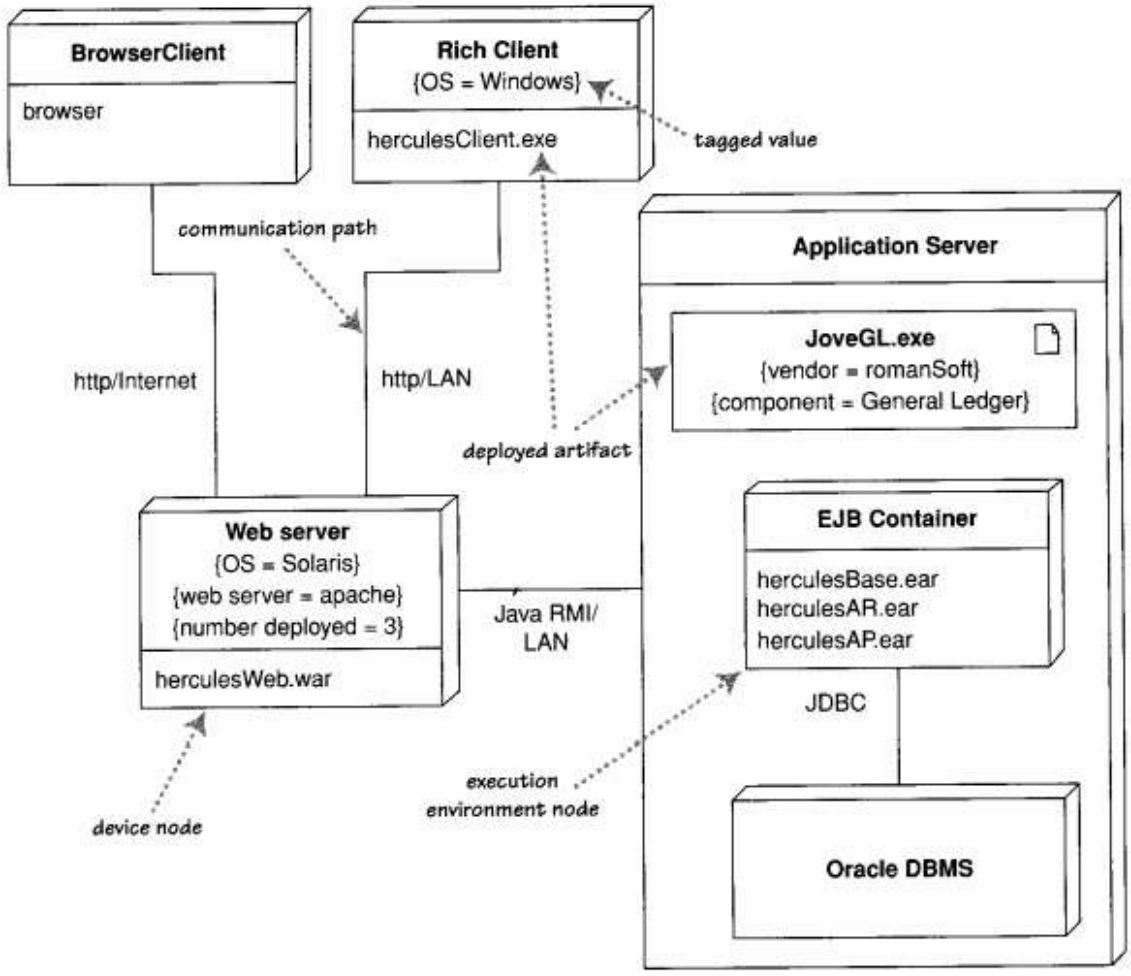


شکل ۱-۱۱ نمودار پکیج

[1] Package Diagram

➢ نمودار گسترش[1]

نمودار گسترش، طرح فیزیکی سیستم را نشان می‌دهد و از اهمیت کمتری برخوردار است. بخش اصلی این نمودارها، گره‌ها[2] هستند که از طریق مسیرهای ارتباطی مختلف به هم متصل شده‌اند و این گره‌ها می‌توانند دستگاه فیزیکی مربوطه و یا محیط اجرایی نرم‌افزار باشند. هم‌چنین، از طریق نمودار گسترش می‌توان نمایش داد که نرم‌افزارها، کدام یک از سخت‌افزارهای مرتبط با خود را اجرا می‌کنند. به‌عنوان مثال، شکل ۱-۱۲ نمودار گسترش را نمایش می‌دهد.



شکل ۱-۱۲ نمودار گسترش

➢ نمودار مورد کاربردی[3]

نمودار مورد کاربردی، رفتار سیستم را ازنظر کاربر نشان می‌دهد. تمامی سیستم‌های نرم‌افزاری به یک نمودار مورد کاربردی برای نمایش رفتار سیستم نیاز دارند، زیرا به‌راحتی برای انسان قابل‌فهم بوده و باعث درک راحت توسعه‌دهندگان

[1] Deployment Diagram
[2] Nodes
[3] Use Case Diagram

سیستم مانند طراح، کد نویس و هم‌چنین مشتری می‌شود. در ابتدا، برای استفاده از این نمودار، باید سناریویی از اهداف سامانه، ارتباط بخش‌های مختلف سامانه و وظایف هر بخش داشت. این نمودار سطوح مختلفی دارد که از سه جزء اصلی تشکیل شده است.

۱) عنوان: هدفی که سیستم را توصیف می‌کند.
۲) کنشگر: شخصی که هدف را دنبال می‌کند.
۳) سناریو: قدم‌های موردنیاز برای تکمیل هدف

به‌عنوان مثال، در شکل ۱-۱۳، می‌توان مثالی از سناریوی نمودار مورد کاربردی را مشاهده کرد.

Buy a Product

Goal Level: Sea Level

Main Success Scenario:

1. Customer browses catalog and selects items to buy
2. Customer goes to check out
3. Customer fills in shipping information (address; next-day or 3-day delivery)
4. System presents full pricing information, including shipping
5. Customer fills in credit card information
6. System authorizes purchase
7. System confirms sale immediately
8. System sends confirming e-mail to customer

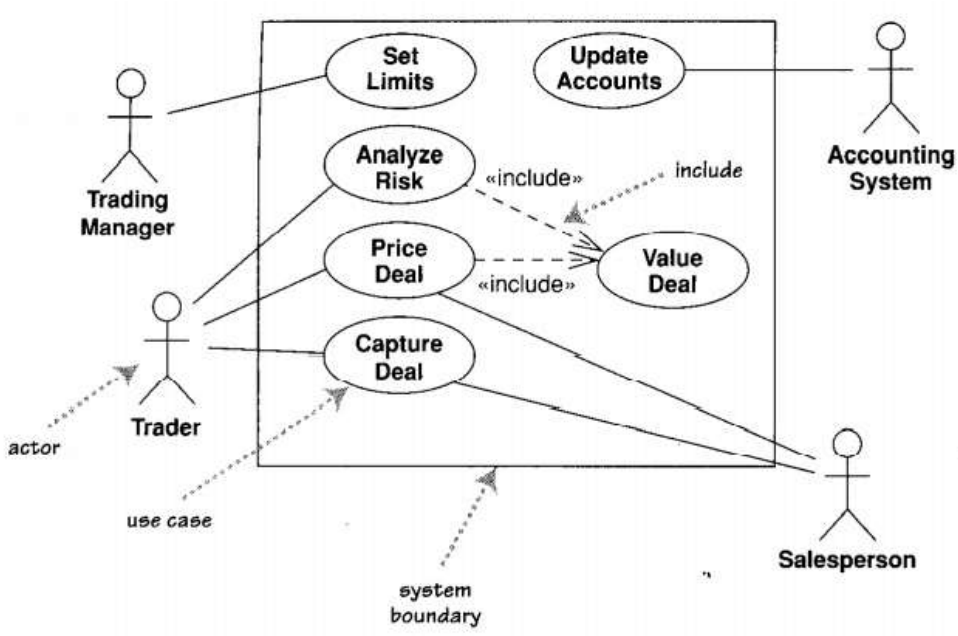
Extensions:

3a: Customer is regular customer
.1: System displays current shipping, pricing, and billing information
.2: Customer may accept or override these defaults, returns to MSS at step 6

6a: System fails to authorize credit purchase
.1: Customer may reenter credit card information or may cancel

شکل ۱-۱۳ مثالی از متن یک نمودار مورد کاربردی

پس از نوشتن سناریو و تعیین کنشگرها و سطوح دسترسی هر کنشگر، می‌توان نمودار مورد کاربردی را مانند شکل ۱-۱۴ رسم کرد.



شکل ۱-۱۴ نمودار مورد کاربردی

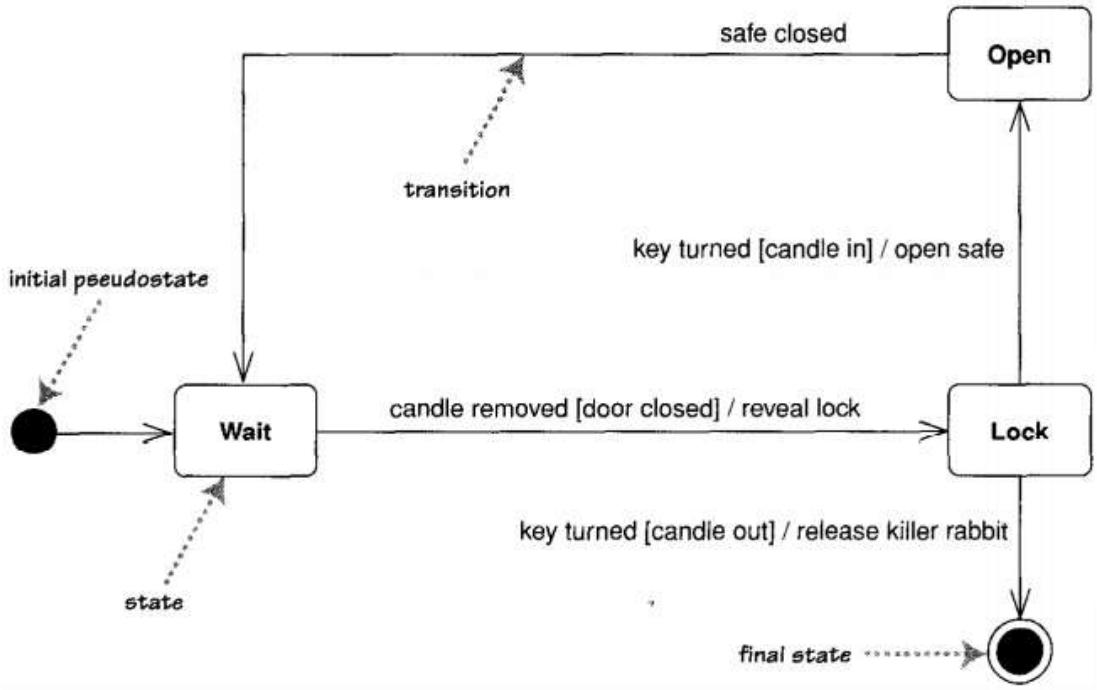
- **نمودار وضعیت (حالت)[1]**

نمودار وضعیت (حالت) که به آن نمودار ماشین وضعیت[2] نیز گفته می‌شود، وضعیت اشیاء موجود در سامانه را در هر زمان نشان می‌دهد. اشکال مختلفی از نمودارهای وضعیت از دهه‌ی ۱۹۶۰ وجود داشته است. به‌عنوان مثال، یک چراغ راهنمایی رانندگی می‌تواند یکی از وضعیت‌های خاموش، قرمز، زرد و یا سبز را داشته باشد. درواقع، نمودار وضعیت یک روش برای توصیف رفتار سیستم است.

گاهی اوقات ترتیب انتقال بین وضعیت‌ها پیچیده می‌شود. به‌عنوان مثال، در شهری یک صورت‌حساب گاز برای شخصی که چهار سال قبل درگذشته بوده است، فرستاده شده است، زیرا برنامه‌نویس در بخشی از برنامه دقت کافی در تغییر وضعیت‌ها نداشته و موجب ارسال این صورت‌حساب شده است. در شکل ۱-۱۵ مثالی ساده از نمودار وضعیت (حالت) را مشاهده می‌کنید.

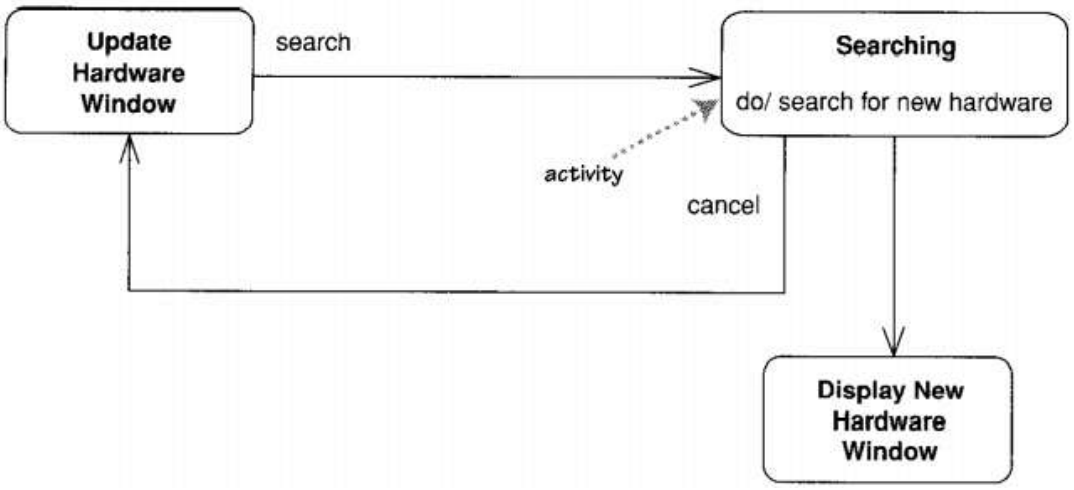
[1] State Diagram

[2] State Machine Diagram



شکل ۱-۱۵ نمودار وضعیت (حالت)

به کمک نمودار وضعیت می‌توان اقدامات موجود در اشیاء سامانه را نمایش داد، به‌عنوان مثال، در شکل ۱-۱۶ در زیر اسم شیء، اقدامات انجام‌شده توسط شیء را می‌نویسند.

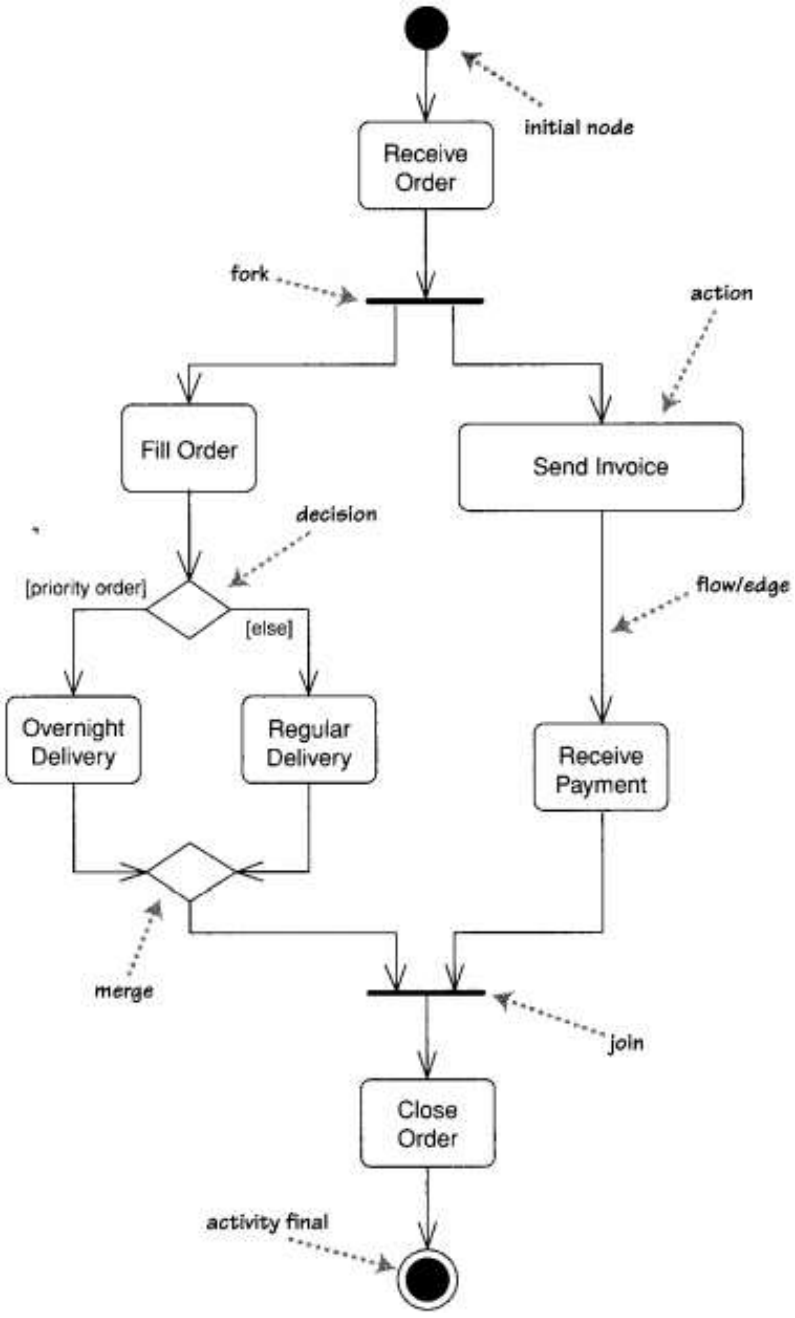


شکل ۱-۱۶ نمودار حالت همراه با بیان فعالیت

از نمودار وضعیت برای نمایش کلاس‌های مهم و وضعیت اشیاء مختلف سامانه استفاده می‌شود.

➢ نمودار فعالیت[1]

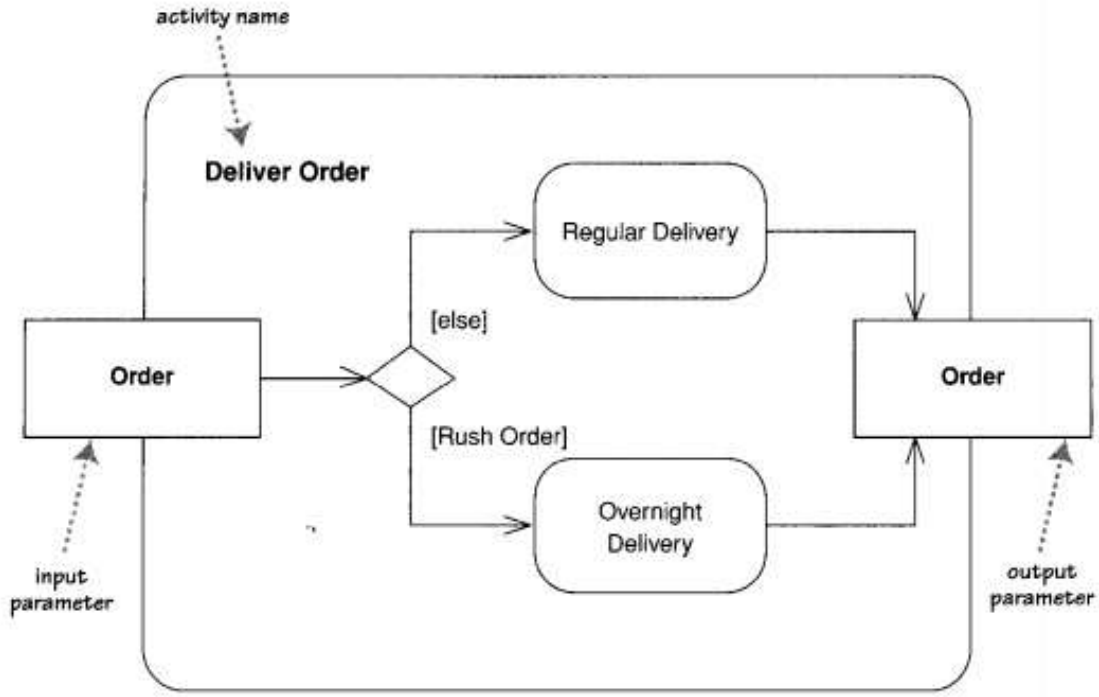
نمودار فعالیت روشی برای توصیف جریان کار موجود در سیستم بوده و برای نمایش ترتیب انجام کارها در سامانه به کار می‌رود. نمودار فعالیت شبیه به فلوچارت‌های موجود در سیستم است، اما تفاوت اصلی این نمودار با فلوچارت‌ها، پشتیبانی نمودار فعالیت از رفتار موازی است. شکل ۱-۱۷ مثالی ساده از نمودار فعالیت را نمایش می‌دهد.



شکل ۱-۱۷ نمودار فعالیت

[1] Activity Diagram

همان‌طور که در شکل ۱-۱۷ مشخص است، هر بخش توانایی انجام چندین کار را دارد. نماد Fork مشخص‌شده در شکل برای یک ورودی و چند خروجی استفاده می‌شود، اما خروجی‌های مربوطه نشان‌دهنده‌ی توالی انجام کار نبوده و صرفاً نمایشی از کارهایی است که هر بخش می‌تواند انجام دهد. هم‌چنین، همیشه در هر نمودار فعالیت در ابتدا، نمودار با یک گره شروع و در انتها، با یک گره پایان می‌یابد. در نمودارهای فعالیت می‌توان زیرفعالیت‌های مرتبط با هر فعالیت را نمایش داد که به‌عنوان مثال، در شکل ۱-۱۸ مشاهده می‌شود.

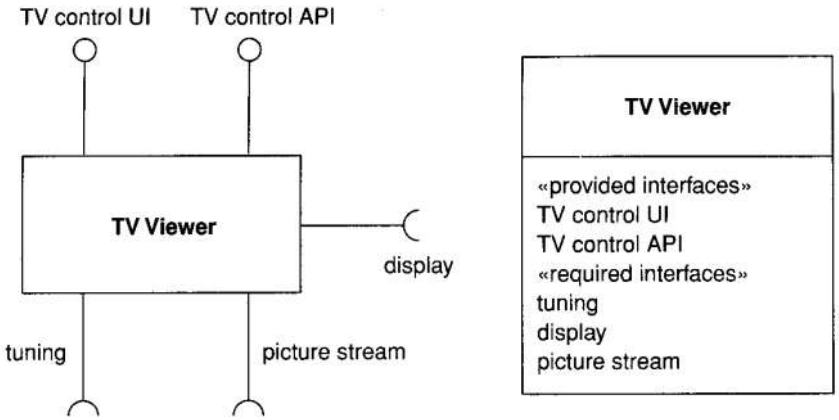


شکل ۱-۱۸ زیرفعالیت‌های موجود در نمودار فعالیت

- **ساختارهای ترکیبی**[1]

یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های جدید در استاندارد UML2 تبدیل اشیاء پیچیده به بخش‌های کوچک‌تر جهت درک بهتر انسان است. به‌عنوان مثال، در شکل ۱-۱۹ نمایشگر تلویزیون را به بخش‌ها و اشیاء کوچک‌تر تبدیل و نمایش می دهد که باعث ساده‌تر شدن شیء می‌گردد.

[1] Composite Structures

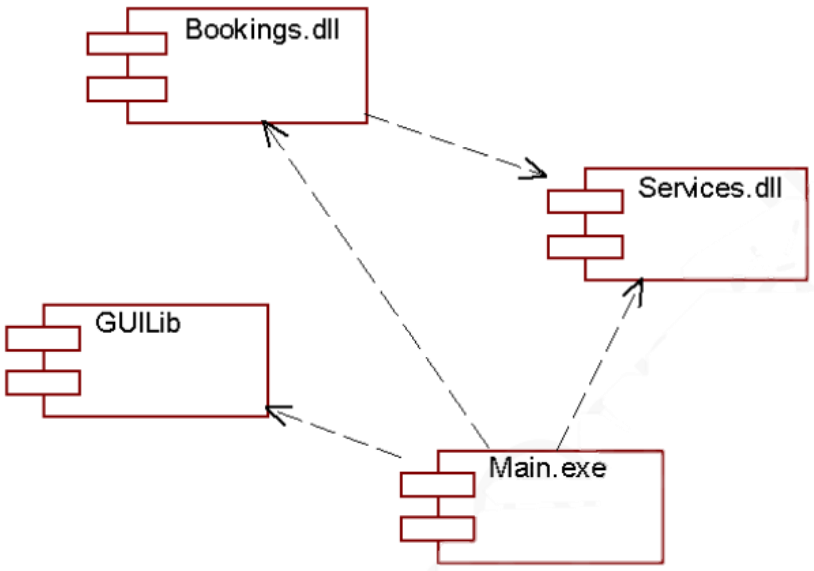


شکل ۱-۱۹ نمایش ساختارهای ترکیبی

- **نمودار اجزاء[1]**

نمودار اجزاء، شبیه به نمودار پکیج است و برای تعیین بخش‌های مختلف یک سامانه تشکیل شده است و وابستگی‌های بین هر ماژول را تعیین می‌کند. در نمودار پکیج تأکید بیش‌تر بر قسمت‌بندی نرم‌افزار است در حالی‌که در نمودار اجزاء تأکید بر اجزاء فیزیکی تشکیل‌دهنده نرم‌افزار مثل فایل‌های اجرایی است.

شکل ۱-۲۰ مثالی از نمودار اجزا را نشان می‌دهد.

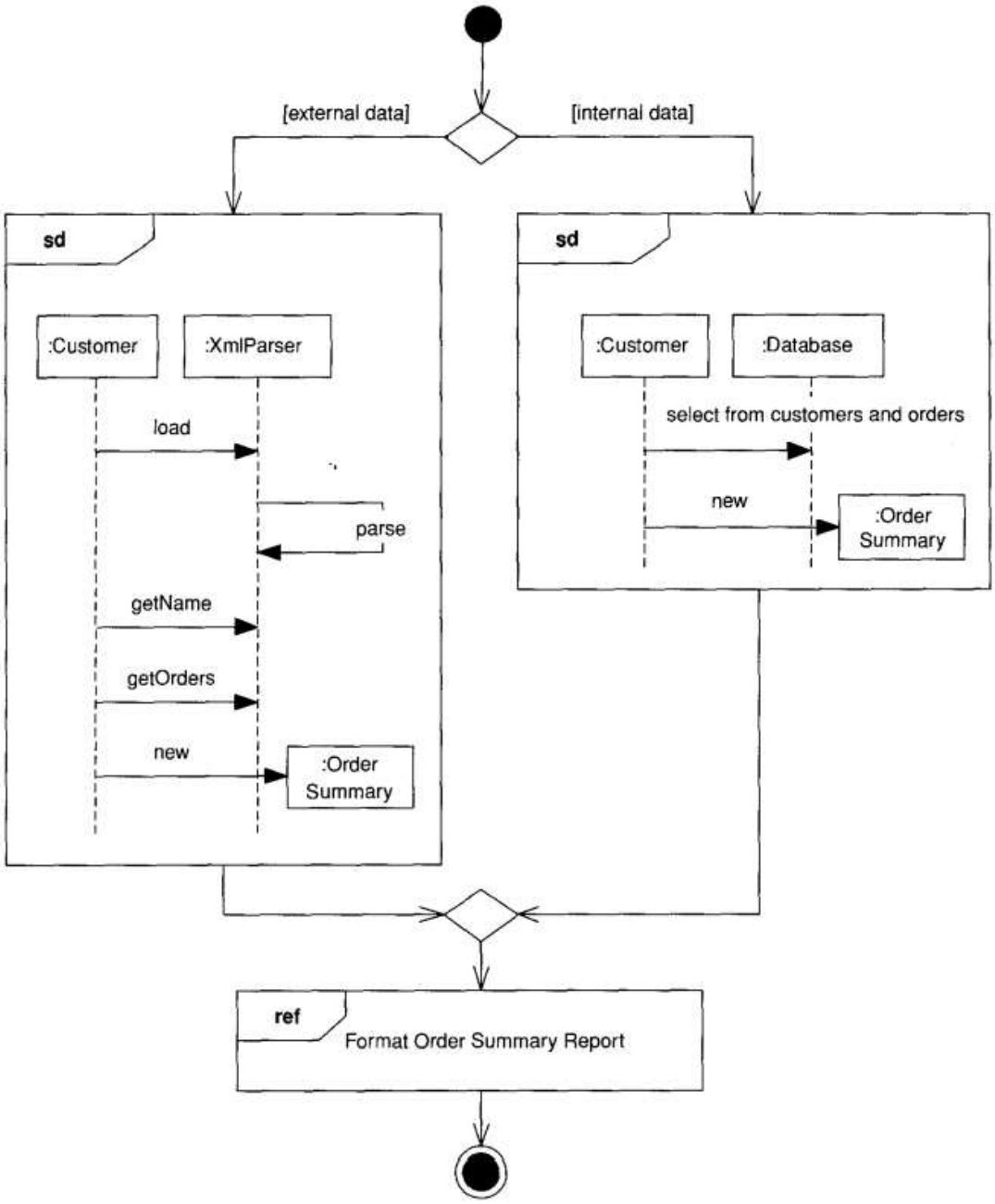


شکل ۱-۲۰ نمودار اجزاء

[1] Component Diagrams

- **نمودار تعامل**[1]

نمودار تعامل، ترکیبی از نمودارهای فعالیت و نمودارهای توالی هستند که می‌توان آن را به‌عنوان نمودارهای فعالیتی که در آن فعالیت‌ها با نمودارهای توالی جایگزین شده‌اند، نمایش داد. این نمودار در استاندارد UML2 جدید است و شاید به دلیل ترکیب نمودارهای دیگر، چندان مورد کاربرد نباشد. شکل ۱-۲۱، نمودار تعامل را نمایش می‌دهد.



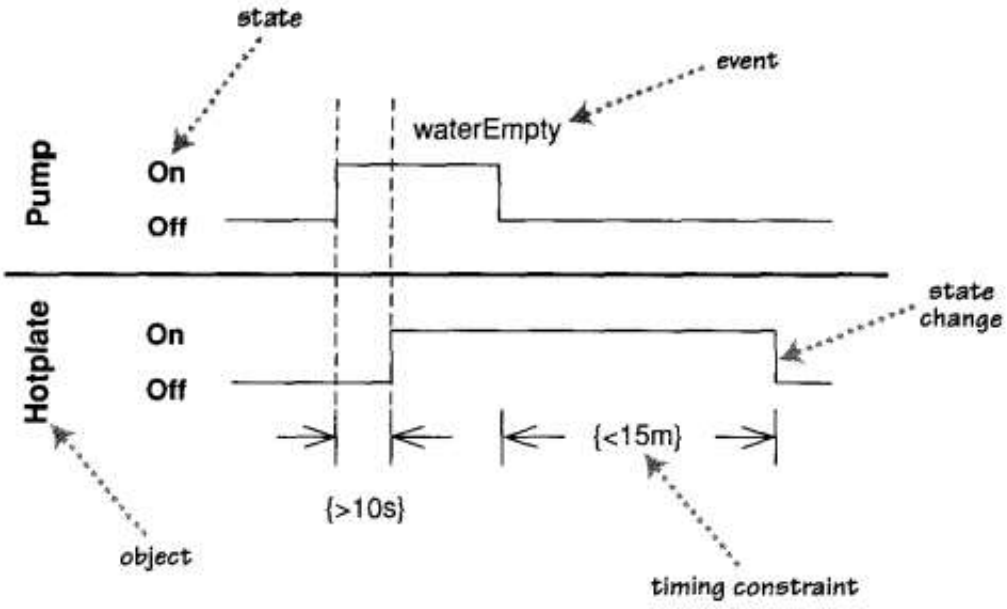
شکل ۱-۲۱ نمودار تعامل

[1] Interaction Overview Diagrams

➢ نمودار زمان‌بندی[1]

نمودار زمان‌بندی، شکل دیگری از نمودارهای استاندارد UML2 است. تمرکز نمودار زمان‌بندی، محدودیت زمانی موجود است و برای نشان دادن محدودیت‌های زمان‌بندی بین تغییر حالت‌های مختلف، مفید هستند. به‌عنوان مثال، سناریوی زیر را می‌توان از طریق نمودار زمان‌بندی نمایش داد.

یک قهوه‌جوش و پمپ در نظر گرفته شده است؛ حداقل ده ثانیه باید بین آمدن آب جوش از پمپ و روشن شدن صفحه‌ی قهوه‌جوش بگذرد و سپس با خالی شدن مخزن آب، پمپ خاموش شده و صفحه نمی‌تواند بیش‌تر از ۱۵ دقیقه روشن بماند. شکل ۱-۲۲ نمودار زمان‌بندی قهوه‌جوش را نمایش می‌دهد.



شکل ۱-۲۲ نمودار زمان‌بندی

[1] Timing diagrams

۱-۳-۳-استاندارد IEC 61968

مجموعه استاندارد IEC 61968، شامل دسته‌ای از استانداردهاست که برای تبادل اطلاعات بین سیستم‌های توزیع به کار می‌رود استانداردهای موجود در IEC 61968 در جدول ۱-۳ معرفی شده‌اند. این استاندارد مبنای ارتباط سامانه‌ی پایش کیفیت توان و بخش‌های دیگر خواهد بود.

جدول ۱-۳ مجموعه‌ی استاندار IEC 61968

استاندارد	توضیح	وضعیت
IEC 61968-1 [2]	نیازهای عمومی و معماری رابط سیستم	Published
IEC 61968-2 [3]	واژه‌نامه	Published
IEC 61968-3 [4]	رابط کاربری شبکه	Published
IEC 61968-4 [5]	رابط‌های ثبت و مدیریت داده	Published
IEC 61968-5	رابط‌های بهینه‌سازی انرژی توزیع‌شده	Under Development
IEC 61968-6 [6]	رابط‌های نگه‌داری و ساخت	Published
IEC 61968-7	رابط‌های برنامه‌ریزی برای توسعه شبکه	Under Development
IEC 61968-8 [7]	رابط‌های پشتیبانی مشتری (CS[1])	Published
IEC 61968-9 [8]	استاندارد رابط برای خواندن و کنترل کنتور	Published
IEC 61968-10 [9]	رابط‌های کاربری خارج از مدیریت توزیع شامل مدیریت انرژی (EMS[2])	Retired
IEC 61968-11 [10]	توزیع مدل اطلاعات مشترک (CIM[3])	Published
IEC 61968-12 [11]	مدل اطلاعات مشترک (CIM) مورداستفاده برای 61968	Retired
IEC 61968-13 [12]	قالب تبادل RDF برای مدل مشترک اطلاعات (CIM)	Published
IEC 61968-14-1-3 تا IEC 61986-14-1-10	استانداردهای پیشنهادی برای ترسیم استانداردهای IEC 61968 و MultiSpeak	Under Development
IEC 61968-14-2-3 تا IEC 61968-14-2-10	استانداردهای IEC برای ایجاد CIM و پیاده‌سازی عملکرد MultiSpeak	Under Development
IEC 61968-100 [13]	ادغام برنامه‌ها	

[1] Customer Support

[2] Energy management & trading

[3] Common Information Model

سری استانداردهای IEC 61968 برای یکپارچگی سامانه‌هایی است که با زبان‌های برنامه‌نویسی مختلف، سیستم‌عامل‌های متفاوت و در کل پروتکل‌های مختلفی نسبت به یکدیگر نوشته شده‌اند و با یکدیگر تفاوت دارند که این سامانه‌ها با استفاده از میان‌افزارها با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند.

همان‌طور که در شکل ۱-۲۲ مشخص است، استاندارد IEC 61968 ازلحاظ عملکرد به‌صورت گرافیکی نشان داده شده است.

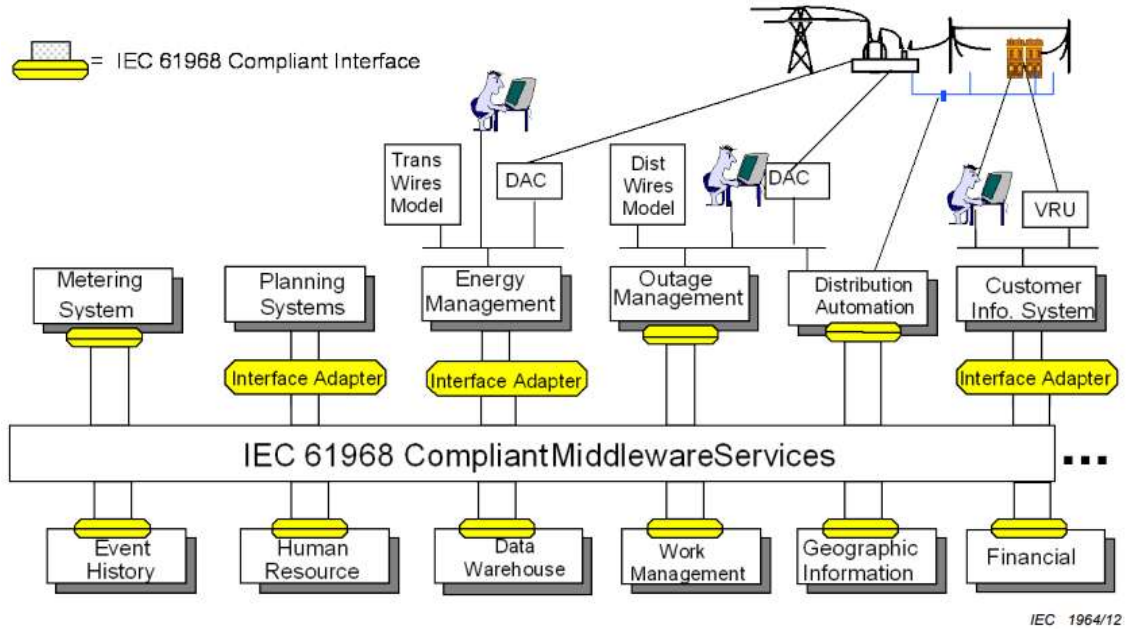
مدیریت توزیع[1] شامل اجزای مختلف برنامه‌ی توزیع شده است که قابلیت‌هایی مانند نظارت، کنترل تجهیزات جهت تحویل انرژی الکتریکی و فرایندهای مدیریت قابلیت اطمینان سیستم را دارد. در دنیای سیستم‌های یکپارچه، سیستم‌ها می‌توانند زیرمجموعه‌ای از یک سیستم بزرگ‌تر باشند که با افزایش اندازه سیستم (سازمان)، پیچیدگی وظایف و تبادل اطلاعات افزایش می‌یابد. استاندارد IEC 61968، برای مدل‌سازی سیستم، استفاده از زبان UML را توصیه کرده و هم چنین فرمت داده‌ای تبادل اطلاعات بین سیستم‌های مختلف را XML توصیه کرده است. استانداردهای IEC 61968-3 تا 9 و 13 اطلاعات message payloads که مرتبط با ساختار XML Messageها است را تعریف کرده و پیام‌های منتقل شده، با ساختار XML انتقال می‌یابد.

در شکل ۱-۲۳، از رابط‌هایی به‌عنوان وسیله‌ای برای ادغام سامانه‌های متفاوت استفاده شده است که با استاندارد IEC 61968 سازگار است. به‌عنوان مثال، فرض بر این است که OMS[2] توانایی کنترل و جمع‌آوری حالت‌های مختلف دستگاه را از سیستم اتوماسیون توزیع دارد و این رابط نیازی به تغییر ندارد، اما در صورت تغییر در وضعیت دستگاه‌های توزیع، باید به‌تمامی سامانه‌ها اطلاع داده شود. سیستم اتوماسیون توزیع، تغییرات را به کمک سامانه‌های میان‌افزار منتشر می‌کند که از مزایای انتشار رویدادها، توانایی ثبت رویدادها در سامانه‌ای تحت عنوان تاریخچه رویداد[3] است که از داده‌های رویدادها در انواع مختلف گزارش‌ها می‌توان استفاده کرد.

[1] Distribution Management

[2] Outage Management System

[3] Event history

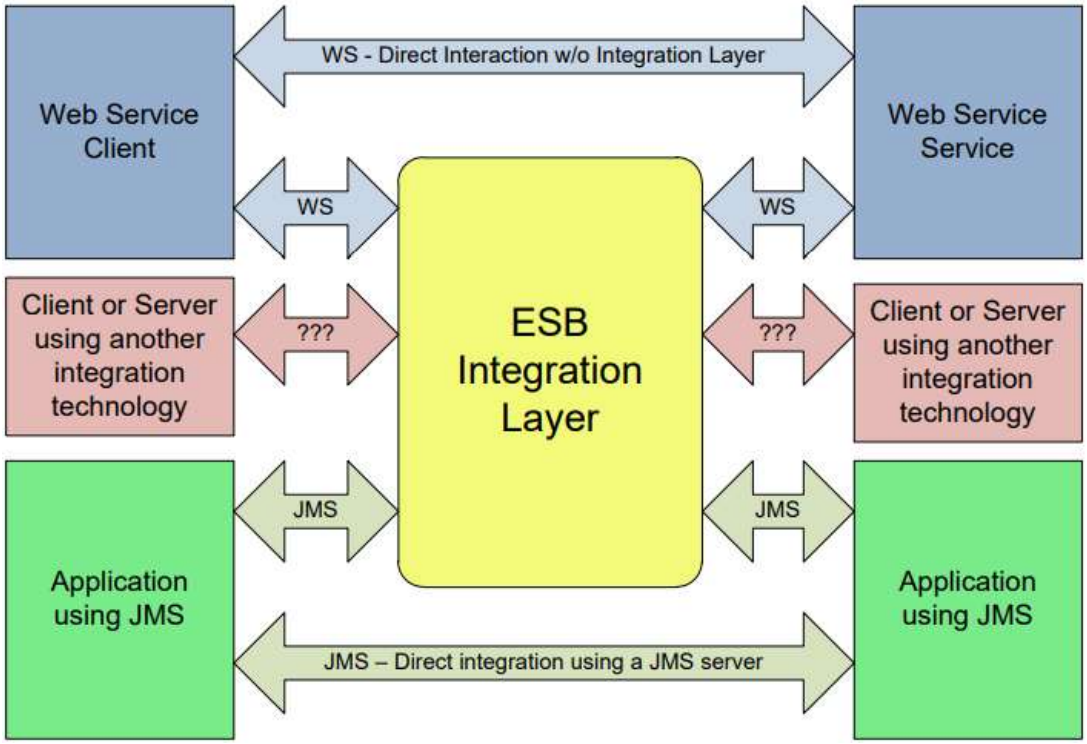


شکل ۱-۲۳ اجزای استاندارد IEC 61968

درواقع می‌توان گفت استاندارد بین‌المللی IEC 61968 امکان همکاری بین سیستم‌های رایانه‌ای، سیستم‌عامل‌ها و زبان‌های مختلف را فراهم می‌کنند. همان‌طور که در شکل ۱-۲۴ نشان داده شده است، در استاندارد IEC 61968، جهت برقراری ارتباط بین برنامه‌هایی که با یکدیگر متفاوت هستند (به‌عنوان مثال تفاوت در زبان برنامه‌نویسی، سیستم‌عامل و یا پروتکل‌ها)، از طریق لایه‌ی ESB[1] که یک معماری نرم‌افزار جهت ادغام برنامه‌های مختلف است، با یکدیگر ادغام می‌شوند.

از استاندارد IEC 61968، به‌منظور برقراری ارتباط بین برنامه‌هایی که با یکدیگر متفاوت هستند، از طریق ESB، استفاده خواهد شد.

[1] Enterprise Service Bus



شکل ۱-۲۴ برقراری ارتباط بین برنامه‌های مختلف در استاندارد IEC 61968

۱-۳-۴-مراحل طراحی سامانه

در ابتدا، جهت طراحی سامانه و رسم نمودارهای مرتبط با UML، تهیه‌ی لیستی از اهداف و ارتباطات بین بخش‌های مختلف سامانه، ضروری است[1]. به‌عنوان مثال:

- کنتورهای فهام، اطلاعات کیفیت توان را اندازه‌گیری کرده و از طریق GPRS به MDM ارسال می‌کنند.
- کنتورهای MK6E اطلاعات کیفیت توان را اندازه‌گیری کرده و از طریق پورت RS232 به مودم و سپس به MDM ارسال می‌کنند.
- MDMها شامل MDM1 و MDM2 است.
- MDM1 برای دریافت اطلاعات کیفیت توان کنتورهای فهام و MDM2 برای دریافت اطلاعات کنتورهای MK6E و ACE6000 است.
- پس از ارسال اطلاعات کنتورها به MDM1 و MDM2، پایگاه داده‌ی کیفیت توان اطلاعات مربوطه را درخواست، دریافت و ذخیره می‌کند.
- اطلاعات کیفیت توان در پایگاه داده ذخیره شده و سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان، از طریق پایگاه داده، اطلاعات را دریافت و ذخیره می‌کند.

[1] Use Story

- به‌منظور محاسبه شاخص کیفیت توان در سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان، با توجه به اطلاعات کیفیت توان موجود، شاخص کیفیت توان را محاسبه کرده، نمودارهای مرتبط را رسم کرده و در داشبوردهای مدیریتی مختلف برای شرکت توزیع و شرکت توانیر نمایش می‌دهد.
- شرکت توانیر، دسترسی مستقیم به اطلاعات خام کیفیت توان را دارد.
- شرکت توانیر از طریق ورود به داشبورد مدیریتی خود، توانایی مشاهده‌ی شاخص کیفیت توان و نمودارهای مرتبط با آن را دارا است.
- شرکت توانیر، دسترسی کاربران را به داشبورد مدیریتی خود در سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان، تعیین می‌کند.
- شرکت توزیع توانایی دسترسی به اطلاعات خام کیفیت توان را داشته و هم‌چنین با توجه به دسترسی تعیین‌شده از جانب شرکت توانیر، توانایی ورود به داشبورد مدیریتی و مشاهده‌ی کارنامه کیفیت توان خود را دارد.
- شرکت توزیع، توانایی تغییر تنظیمات مربوط به پارامترهای کیفیت توان کنتورهای فهام را با توجه به ابلاغ توانیر دارد.
- شرکت مدیریت شبکه، توانایی دسترسی به داشبورد مدیریتی برای مشاهده‌ی وضعیت کیفیت توان را دارد و هم‌چنین توانایی تنظیم پارامترهای کیفیت توان کنتورهای مدیریت شبکه بر اساس درخواست توانیر را دارد.
- مشترک بزرگ، جهت تعیین وضعیت کیفیت توان خود، توانایی مشاهده‌ی وضعیت کیفیت توان خود را دارد.

پس از نوشتن اهداف موجود در سامانه و ارتباط بخش‌های مختلف سامانه با یکدیگر، رسم نمودار مورد کاربردی ضروری است؛ زیرا این نمودار برای تمامی کاربران قابل‌فهم بوده و دسترسی کاربر به بخش‌های مختلف سامانه را تعیین می‌کند.

نمودار مورد کاربردی شامل بخش‌های زیر است:

- عنوان: توصیف هدف موجود در سامانه
- کنشگر: شخصی که هدف مدنظر را دنبال می‌کند (کاربری که خارج سیستم بوده و با نرم‌افزار یا سامانه‌ی مدنظر جهت رسیدن به هدفی خاص، در ارتباط است).
- سناریو: قدم‌های موردنیاز برای رسیدن به هدف (استثنائات و شروط مهم)

هم‌چنین، کنشگر می‌تواند سیستم کامپیوتری باشد که با بخش دیگری از سامانه در ارتباط است. ارتباطات تعیین‌شده در سامانه، با استفاده از نمودار مورد کاربردی نشان داده می‌شود و پس از آن برای تمامی اشیاء موجود در سامانه که وظایفی جهت رسیدن به هدف اصلی سامانه و ارتباط با بخش‌های مختلف را دارند، کلاس تشکیل داده می‌شود. به‌عنوان مثال، کنتور فهام توانایی ذخیره‌ی اطلاعات کیفیت توان و ارسال آن به MDM از طریق GPRS را دارد، درنتیجه کنتور فهام، یک کلاس است. کلاس‌های موجود در سیستم در جدول ۱-۴ مشخص است.

جدول ۱-۴ اشیاء موجود در سامانه جامع پایش کیفیت توان

اشیاء	توضیح
کنتور فهام	- اندازه‌گیری و ایجاد اطلاعات کیفیت توان - ارسال اطلاعات کیفیت توان از طریق GPRS به MDM

	– ثبت افزایش ولتاژ، کاهش ولتاژ و قطع توان – اندازه‌گیری THD
کنتور MK6E	– اندازه‌گیری و ایجاد اطلاعات کیفیت توان – ارسال اطلاعات کیفیت توان از طریق پورت RS232 به MDM
کنتور ACE6000	– اندازه‌گیری و ایجاد اطلاعات کیفیت توان – ارسال اطلاعات کیفیت توان به MDM
کنتورها	شامل تمامی کنتورهای موجود، کنتورهای فهام، کنتورهای MK6E و کنتورهای ACE6000
سامانه‌ی نرم‌افزاری مدیریت داده کنتور [1]	– ذخیره، مدیریت و ارسال داده‌های کیفیت توان کنتورهای فهام (ارسال پس از درخواست سامانه) – ارسال رویدادهای کنتورهای فهام که مرتبط با پایش کیفیت توان هستند به سامانه‌ی پایش کیفیت توان (پس از درخواست سامانه)
سامانه‌ی نرم‌افزاری مدیریت داده کنتور ۲	– ذخیره و مدیریت داده‌های کیفیت توان کنتورهای MK6E و ACE6000 – ارسال رویدادهای کنتورهای MK6E که مرتبط با پایش کیفیت توان هستند به سامانه‌ی پایش کیفیت توان (پس از درخواست سامانه)
پایگاه داده کیفیت توان [2]	– ذخیره داده‌های کیفیت توان در فرمت استاندارد – درخواست اطلاعات کیفیت توان از MDM – ارسال اطلاعات خام کیفیت توان به سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان و شرکت توزیع
	–
	–
شرکت توانیر	– تعیین سطوح دسترسی کاربران مختلف در سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان – ابلاغ تنظیمات مرتبط با کیفیت توان – دریافت اطلاعات خام کیفیت توان – مشاهده‌ی گزارش کیفیت توان در سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان
شرکت توزیع	– دریافت اطلاعات خام کیفیت توان – مشاهده‌ی گزارش کیفیت توان در داشبورد مدیریتی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان
شرکت مدیریت شبکه	– دریافت گزارش کیفیت توان از داشبورد مدیریتی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان
مشترک بزرگ	– دریافت گزارش کیفیت توان از داشبورد مدیریتی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان
برنامه کاربردی	– تبادل اطلاعات سامانه از طریق API

پس از رسم نمودار مورد کاربردی و با توجه به جدول ۱-۴ می‌توان نمودار توالی[3] را رسم کرد و برای هر بخش ارتباطات موجود با اشیاء دیگر را توصیف کرد و سپس از طریق نمودار توالی، می‌توان به نمودار ارتباطی[4] رسید. دیگر نمودارها به‌صورت جداگانه به‌دست‌آمده و ترتیب خاصی ندارد.

[1] Meter Data Management (MDM)

[2] Power Quality Database

[3] Sequence Diagram

[4] Communication Diagram

اولین نمودار رسم شده جهت طراحی سامانه، نمودار مورد کاربردی است که ارتباط بین اشیاء سامانه را نشان داده و برای تمامی کاربران قابل‌درک است، این نمودار بسیار ساده بوده و به کمک آن ارتباط بین بخش‌های مختلف سامانه را نمایش می‌دهیم. پس از رسم نمودار مورد کاربردی و با توجه به هدف موجود در سامانه، می‌توان نمودار کلاس را برای اشیاء موجود در سامانه رسم کرد. هر شیء موجود در سامانه، با توجه به وظایف خود برای رسیدن به هدف را می‌توان کلاس در نظر گرفت. هر کلاس همان‌طور که در بخش قبل ذکر شد دارای ویژگی‌ها و وظایفی است و کلاس‌های مختلف برای رسیدن به هدف نهایی با یکدیگر در ارتباط هستند.

پس از رسم نمودار کلاس، نمودار توالی را با توجه به نمودار مورد کاربردی و نمودار کلاس، می‌توان رسم کرد. نمودار توالی برای هر بخش از وظایف کنشگرها به‌صورت جداگانه رسم می‌شود که در بخش بعد به آن پرداخته شده است.

۱-۴- طرح مفهومی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان در قالب نمودارهای UML

در این بخش، طرح مفهومی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان در قالب نمودارهای استاندارد UML ارائه شده است. طراحی با در نظر گرفتن مفروضات، الزامات و محدودیت‌های مربوط به المان‌های سامانه انجام شده است. هم‌چنین، ملاحظات عمومی در مرحله‌ی طراحی به‌صورت ضمنی صورت گرفته که شامل موارد زیر است:

- توسعه‌پذیری: توانایی افزودن قابلیت‌ها و المان‌های جدید به سامانه
- سازگاری: توانایی عملکرد در کنار سایر سامانه‌های موجود
- مقیاس‌پذیری: توانایی افزایش حجم کنتورها و تعداد کاربران سامانه

در ادامه‌ی گزارش، نمودارهای UML که به‌منظور ارائه‌ی طرح مفهومی سامانه تنظیم‌شده، ارائه شده است. همان طور که در بخش قبل بیان شد، تهیه‌ی نمودار مورد کاربردی اولین مرحله در طراحی و توسعه‌ی نرم‌افزار است. در این نمودار، کاربری‌های مختلف نرم‌افزار ارائه می‌شود. این نمودار نحوه‌ی ارتباطات و دسترسی‌های کاربران سامانه مانند شرکت توانیر، شرکت‌های توزیع و ... به بخش‌های مختلف سامانه را نشان می‌دهد. در مرحله‌ی دوم، نمودار کلاس و سپس نمودارهای توالی آمده است. نمودارهای UML در این بخش در نرم‌افزار Rational Rose و Microsoft Visio پیاده‌سازی شده است.

۱-۴-۱-نمودار اشیاء کنترلی، مرزی و موجودیت‌ها[1]

همان‌طور که در شکل ۱-۲۵ مشاهده می‌شود، سامانه به‌گونه‌ای طراحی شده است که نرم‌افزار پایش کیفیت توان در کنار کمیته‌ی عالی کیفیت توان توانیر، دو جزو اصلی در معماری سامانه‌ی پایش کیفیت توان باشند. در معماری سامانه‌ی پایش کیفیت توان، دو شیء کنترلی به‌صورت مستقل از یکدیگر وظیفه‌ی پایش سامانه را برعهده دارند:

[1] Entity Control Boundary (ECB) diagram

- کمیته‌ی عالی کیفیت توان توانیر: وظیفه‌ی این کمیته، انتخاب روش پایش کیفیت توان، تنظیم پارامترهای مربوط به آن و مدیریت داده‌های شبکه متناسب با داشته‌های موجود ازنظر تجهیزات اندازه‌گیری است.
- نرم‌افزار پایش کیفیت توان: وظیفه‌ی پیاده‌سازی و انجام محاسبات مربوط به شاخص‌ها، گزارش پایش کیفیت توان و مدیریت داده‌ها را بر عهده دارد.

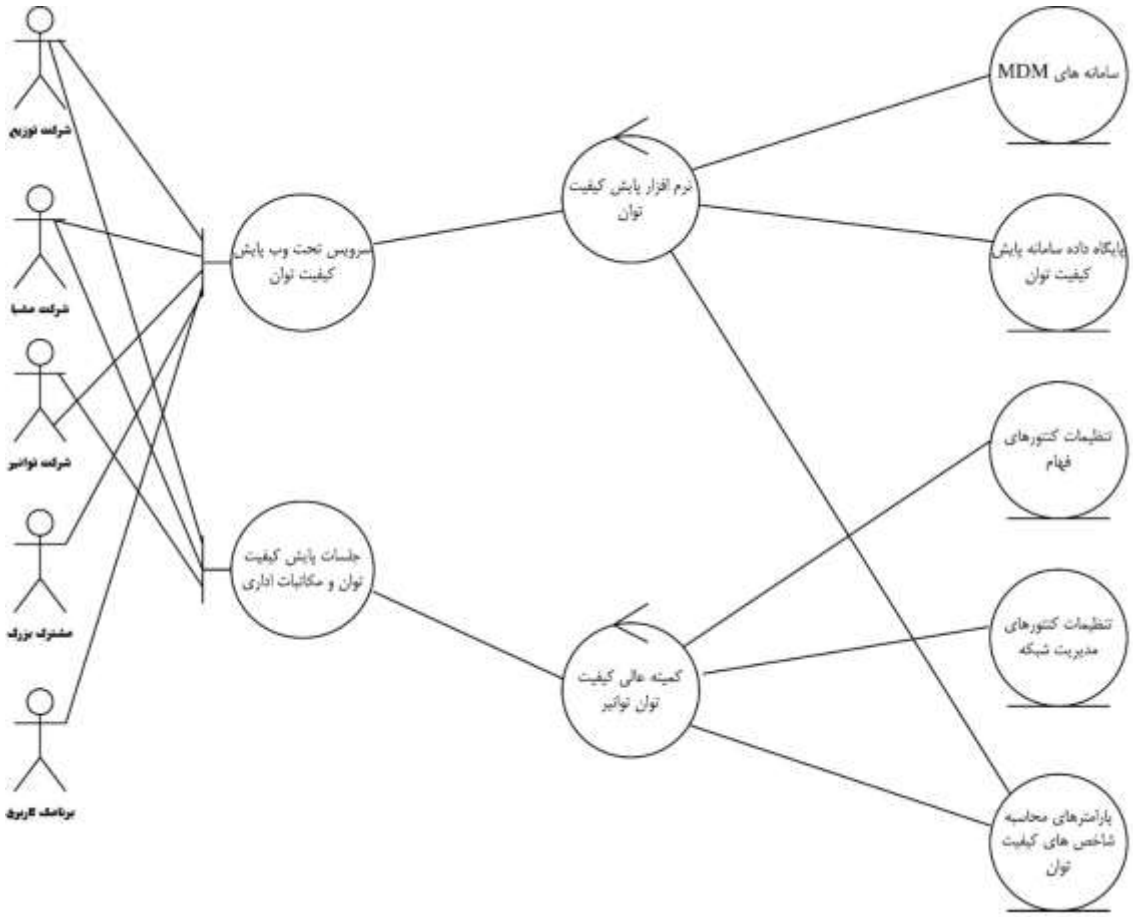
دو دسته شیء مرزی در معماری سامانه‌ی پایش کیفیت توان دخیل هستند که از طریق آن‌ها، انجام کلیه‌ی اعمال مرتبط با پایش کیفیت توان ممکن است:

- وب‌سرویس نرم‌افزار پایش کیفیت توان: این سرویس واسط اصلی جهت برقراری ارتباط با نرم‌افزار و الگوریتم های محاسبه‌ی شاخص‌های کیفیت توان است. از این وب‌سرویس برای مدیریت داده‌ها و دریافت گزارش‌ها استفاده خواهد شد.
- جلسات کمیته عالی کیفیت توان توانیر: هدف از این جلسات، تصمیم‌گیری در مورد پارامترهای پایش، تعیین سطوح دسترسی و سایر موارد تصمیم‌گیری زیر نظر کمیته‌ی کیفیت توان توانیر است.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، اشیاء کنترلی به‌صورت کلی وظیفه‌ی نظارت بر واحدهای زیر را برعهده دارند:

- پایگاه‌های داده‌ی MDM: کنترل دسترسی به این پایگاه‌های داده
- پایگاه داده نرم‌افزار پایش کیفیت توان: وظیفه‌ی این پایگاه داده، ذخیره‌ی برخی از پارامترهای داخلی سامانه جهت دسترسی ساده، نگه‌داری سایر پارامترهای موردنیاز سامانه و درنهایت نگه‌داری شاخص‌های محاسبه شده است.
- تنظیمات کنتورهای فهام: مجموعه تنظیماتی که توسط عاملین و با درخواست کمیته‌ی عالی کیفیت توان توانیر به کنتورهای فهام اعمال خواهد شد.
- تنظیمات کنتورهای مدیریت شبکه: مجموعه تنظیماتی که توسط عاملین و با درخواست کمیته عالی کیفیت توان توانیر به کنتورهای مدیریت شبکه اعمال خواهد شد.
- پارامترهای مربوط به محاسبه‌ی شاخص‌های کیفیت توان: مقادیر این پارامترها به‌صورت مستقیم در الگوریتم های محاسبه‌ی شاخص‌های کیفیت توان مؤثر خواهند بود و این مقادیر توسط کاربران مجاز تعیین می‌شوند.

بنابراین، هر یک از بازیگران با ارتباط‌گیری با هر یک از اشیاء مرزی، توسط یکی از اشیاء کنترلی مرتبط با موجودیت ها ارتباط خواهند گرفت.



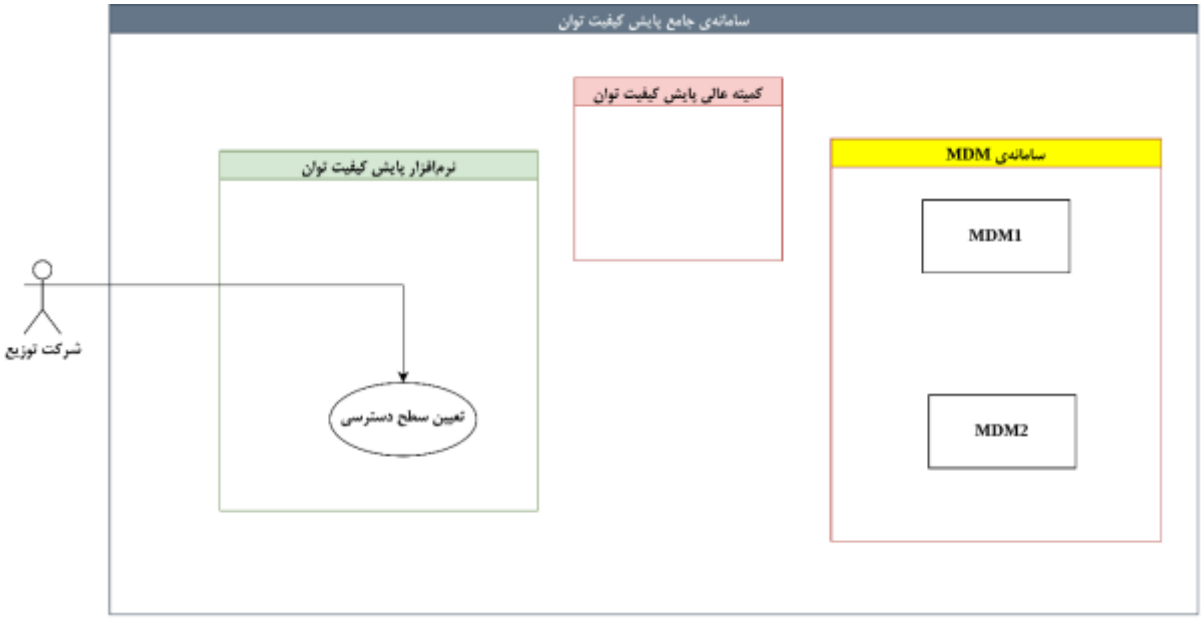
شکل ۱-۲۵ نمودار اشیاء کنترلی، مرزی و موجودیت‌ها

۱-۴-۲-نمودار مورد کاربردی سامانه‌ی پایش کیفیت توان

پس از تعیین اشیاء کنترلی، اشیاء مرزی و موجودیت‌های سامانه، نوبت به بررسی موارد کاربردی سامانه می‌رسد. این موارد به تفکیک در بخش‌های پیش رو ارائه خواهند شد.

- **تعیین سطوح دسترسی**

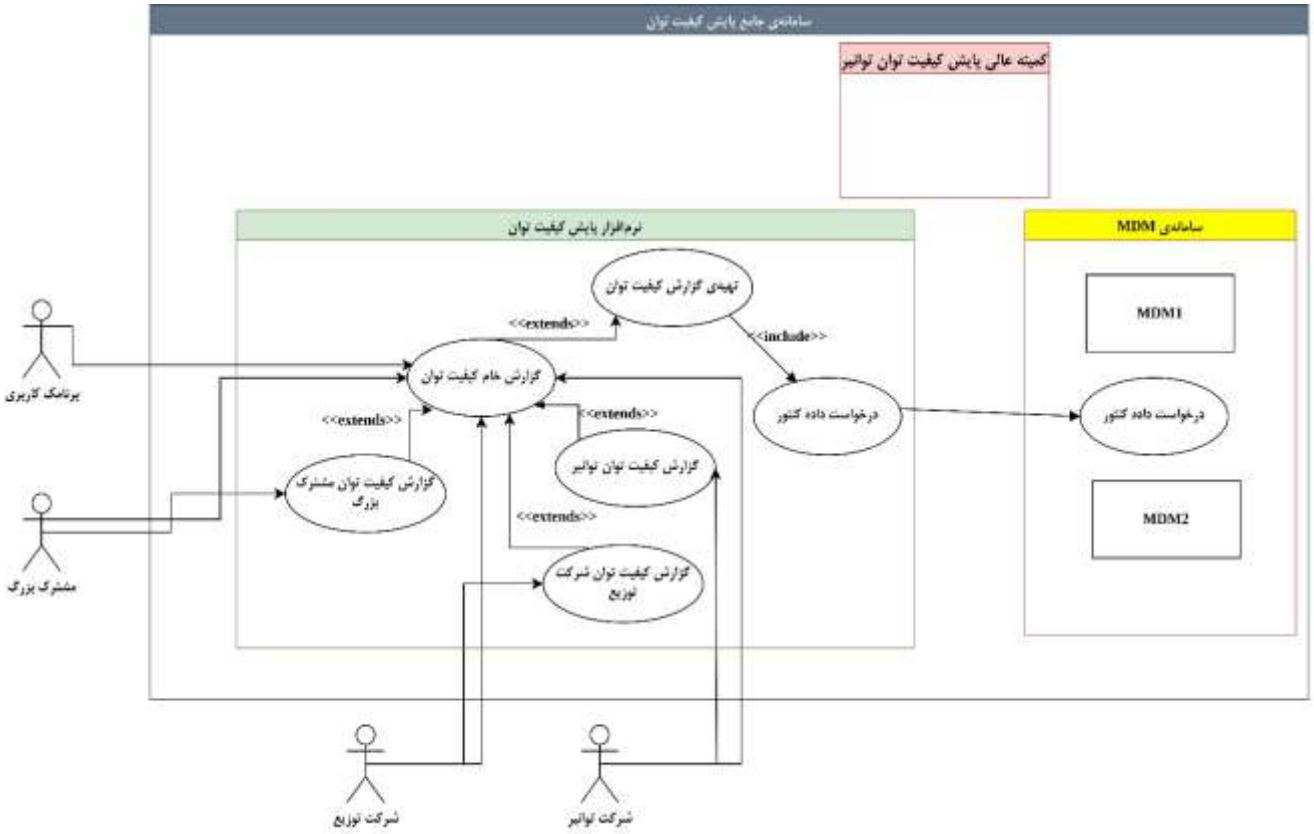
یکی از موارد کاربردی سامانه‌ی پایش کیفیت توان، تعیین سطوح دسترسی مناسب برای هر کدام از کاربران سامانه است. تعیین دسترسی صحیح اجازه نخواهد داد تا کاربران غیرمجاز بتوانند گزارش‌های کیفیت توان را در سطوحی دریافت کنند که حق دسترسی به آن را ندارند. قابل‌ذکر است که کاربر مجاز جهت تعیین سطوح دسترسی، شرکت توانیر خواهد بود.



شکل ۱-۲۶ نمودار تعیین سطوح دسترسی

- **دریافت گزارش**

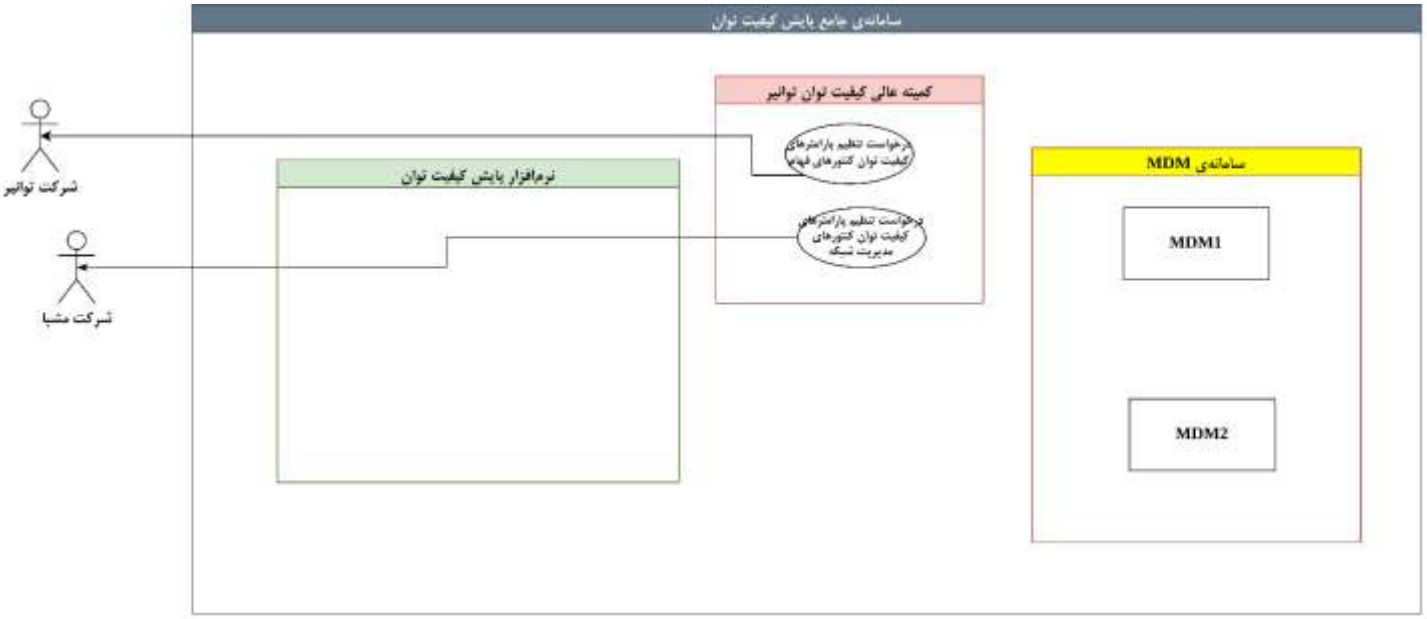
مهم‌ترین مورد کاربردی سامانه، گزارش‌دهی پارامترها و شاخص‌های مرتبط با کیفیت توان است. تهیه‌ی گزارش خود به تهیه‌ی گزارش خام و همین‌طور گزارش‌های خاص کاربران (شاخص‌ها) شکسته می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود، هر کدام از کاربران علاوه بر دریافت گزارش خام می‌توانند گزارش پایش توان خاص خود را نیز دریافت کنند. برای تهیه‌ی تمامی گزارش‌ها نیاز ا ست به پایگاه‌های داده‌ی MDM د ستر سی صورت پذیرد که این موارد در شکل ۱-۲۷ نشان داده شده است.



شکل ۱-۲۷ نمودار دریافت گزارش

- **تنظیم پارامترهای کنتورها**

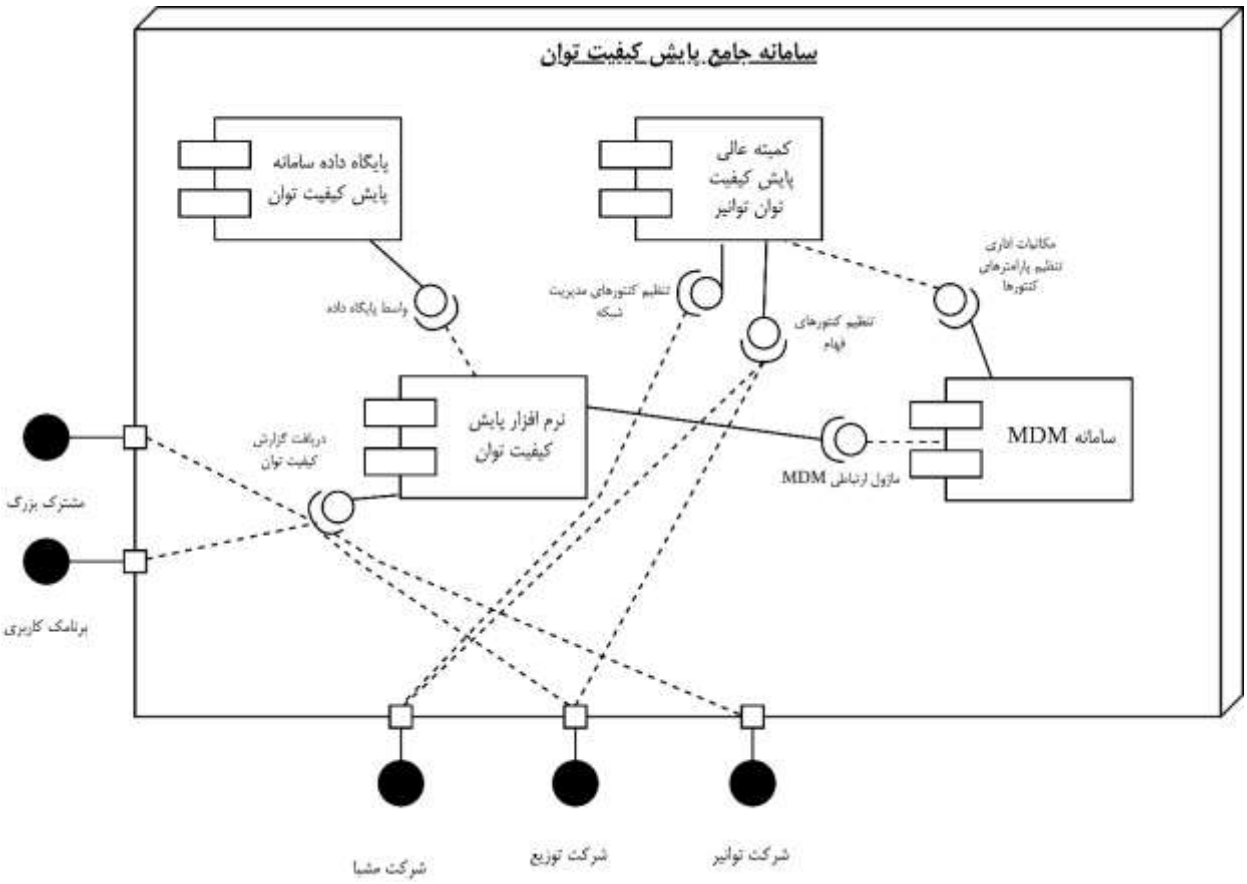
مورد مهم کاربردی دیگری که در ســـامانه‌ی پایش کیفیت توان وجود دارد، تنظیم پارامترهای مربوط به کنتورهای فهام و کنتورهای مدیریت شـــبکه اســـت. باید توجه داشـــت که در مورد این مورد کاربردی، کمیته‌ی عالی کیفیت توان توانیر بازیگر ا صلی بوده و وظیفه‌ی درخوا ست تنظیم پارامترها در کنتورها از نهادهایی اعمال‌کننده‌ی تنظیمات را خواهد داشت.



شکل ۱-۲۸ نمودار تنظیم پارامترهای کنتورها

۱-۴-۳-نمودار اجزاء سامانه‌ی پایش کیفیت توان

پس از بحث و برر سی اجزای کلی ت شکیل‌دهنده‌ی سامانه‌ی پایش کیفیت توان و موارد کاربردی، می‌توان به یک دید کلی در مورد اجزای این سامانه نیز رسید. اجزای سامانه با استفاده از یک نمودار اجزاء در شکل ۲۹-۱ نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می شود، سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان به صورت کلی متشکل از نرم‌افزار پایش کیفیت توان، سامانه‌های MDM، کمیته‌ی عالی کیفیت توان توانیر و هم‌چنین پایگاه داده‌ی سامانه‌ی پایش کیفیت توان خواهد بود. واسطه‌هایی که میان این اجزا تعریف شده‌اند قادر خواهند بود که ارتباط میان اجزای مختلف سامانه‌ی پایش کیفیت توان را برقرار نمایند؛ بنابراین، به‌عنوان مثال مشاهده می‌شود که نرم‌افزار پایش کیفیت توان از طریق ماژول ارتباطی با MDMها، داده‌های کنتورها را دریافت خواهد نمود. همچنین، این سامانه دارای یک پایگاه داده‌ی مجزای داخلی خواهد بود که وظیفه تجمیع داده‌های پایش کیفیت توان را بر عهده خواهد داشت. در عین حال، کمیته‌ی عالی کیفیت توان توانیر به‌عنوان مهم‌ترین بازیگر در این سامانه، وظیفه‌ی ایجاد هماهنگی به‌منظور تنظیم پارامترهای کنتورها از طریق مکاتبات و جلسات مختلف را بر عهده خواهد داشت. قابل‌ذکر است که اجزاء فوق در هنگام طراحی نرم‌افزار به اجزاء کوچک‌تری شکسته خواهند شد؛ اما به صورت کلی نمودار اجزاء نشان داده شده تبیین‌گر چگونگی روابط اجزاء مختلف سامانه و همین‌طور بازیگران آن شامل شرکت مدیریت شبکه برق ایران (مشبا)، شرکت توانیر، شرکت‌های توزیع و هم‌چنین مشترکین بزرگ خواهد بود. لازم به ذکر است که برنامک‌های کاربردی نیز می‌توانند با استفاده از همین واسطها از داده‌های تجمیع شده در پایگاه داده‌ی سامانه‌ی پایش کیفیت توان استفاده کنند.



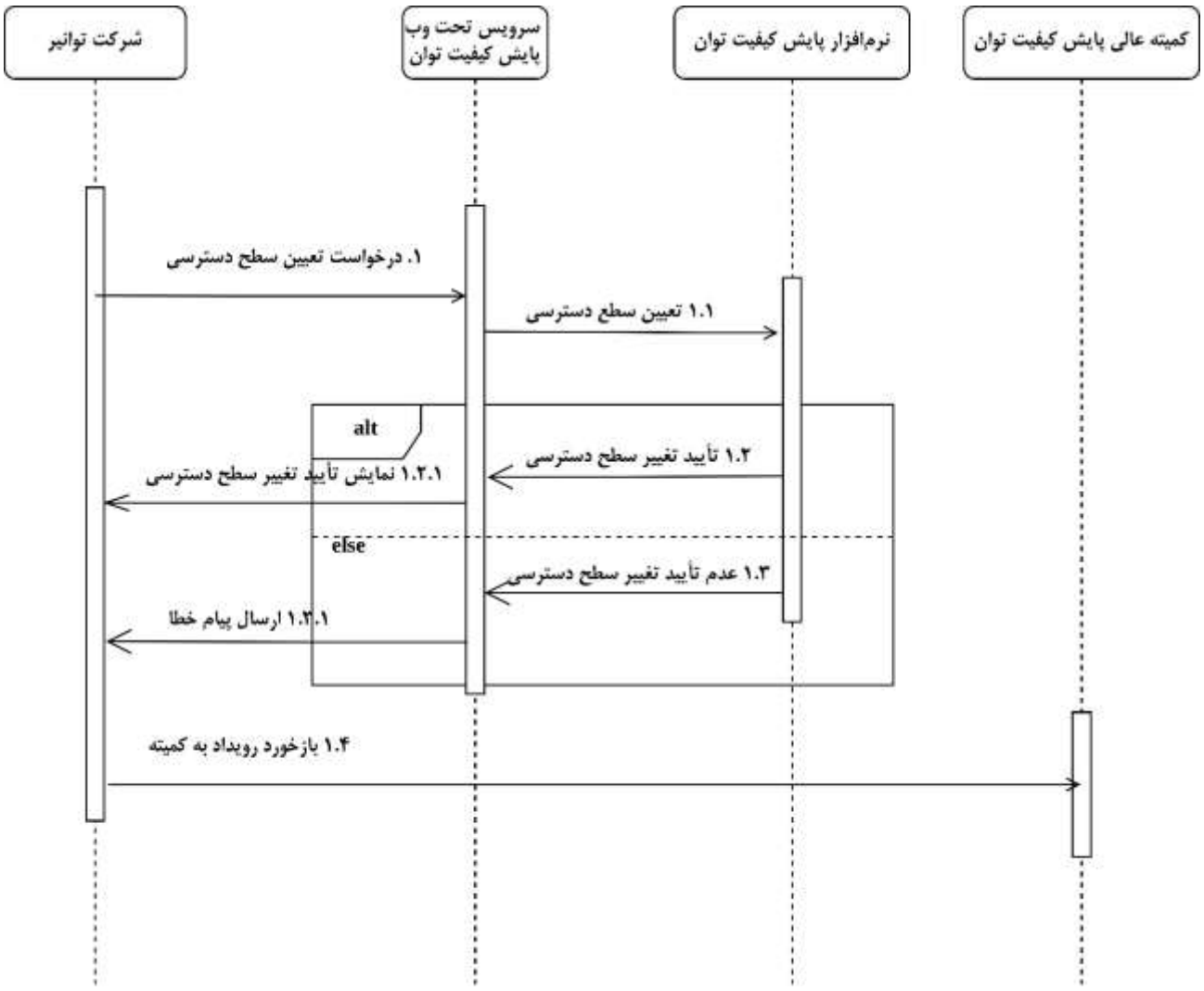
شکل ۱-۲۹ نمودار اجزاء سامانه‌ی پایش کیفیت توان

۱-۴-۴-نمودارهای توالی

با در نظر گرفتن نمودار اجزاء ارائه شده، می‌توان نمودارهای مورد کاربردی را به صورت نمودارهای توالی نیز نشان داد تا مشخص شود که اجزاء مختلف، چگونه در یک فرآیند دسترسی به سامانه شرکت نموده و موارد کاربردی را در یک پروسه‌ی زمانی مشخص، پیاده‌سازی می‌نمایند. در ادامه، به تفضیل به هر یک از این موارد اشاره خواهد شد.

۱-۴-۴-۱-نمودار توالی تعیین سطح دسترسی

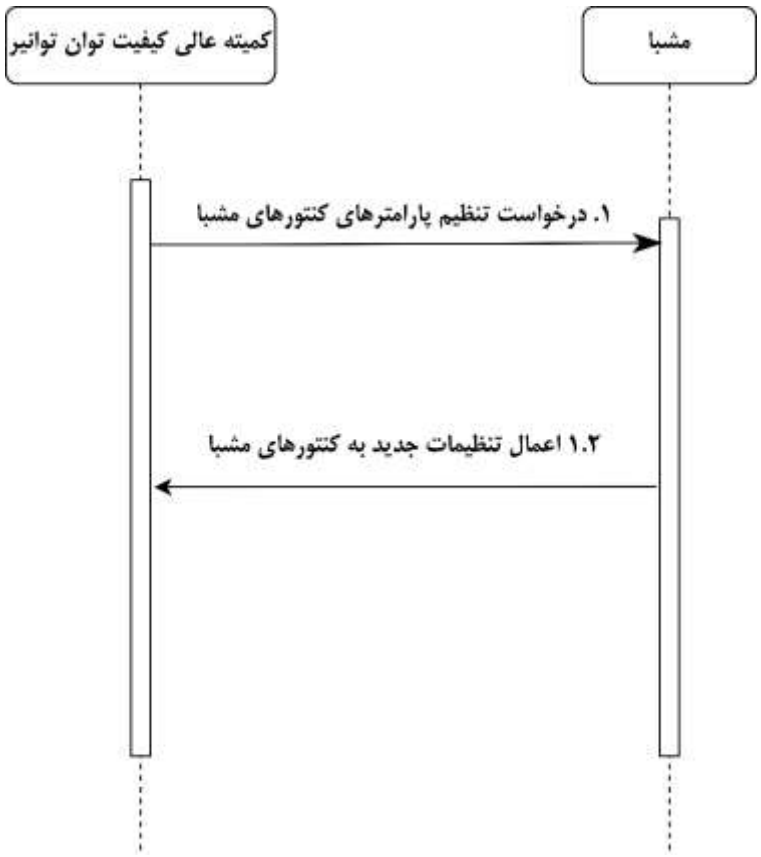
نمودار توالی تعیین سطوح دسترسی در شکل ۱-۳۰ نمایش داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، شرکت توانیر به‌عنوان عامل اصلی تعیین سطوح دسترسی از طریق سرویس تحت وب با نرم‌افزار پایش کیفیت توان ارتباط برقرار نموده و برای یکی از کاربران تقاضای تعیین سطح دسترسی را خواهد نمود. این درخواست تعیین سطح دسترسی، به نرم‌افزار پایش کیفیت توان منتقل شده و در صورت تأیید سطح دسترسی، نتیجه به کاربر بازخورد خواهد شد؛ اما در صورت عدم امکان تعیین دسترسی در موارد نادر، پیام خطا به کاربر منتقل خواهد شد و مورد عدم موافقت با کمیته‌ی عالی کیفیت توان توانیر در میان گذاشته خواهد شد.



شکل ۱-۳۰ نمودار توالی تعیین سطح دسترسی

۱-۴-۴-۲-نمودار توالی درخواست تنظیم پارامترهای کنتورهای مشبا

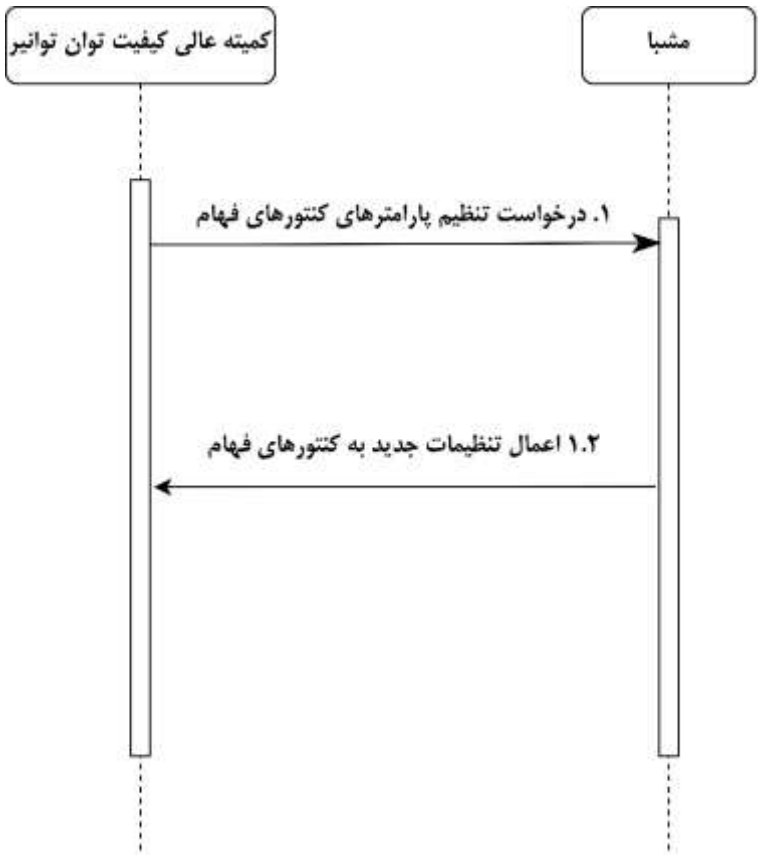
همان‌گونه که در نمودار توالی شکل ۱-۳۱ نشان داده شده است، کمیته‌ی عالی کیفیت توان توانیر، وظیفه‌ی درخواست تنظیم پارامترهای کنتورهای مشبا را بر عهده دارد. همان‌گونه که قبلاً اشاره شد، این درخواست تنظیم در پی جلسات هماهنگی و از طریق مکاتبات اداری مرتبط صورت خواهد پذیرفت. مشبا نیز پس از موافقت با این درخواست، پارامترهای کنتورهای مدیریت شبکه را تنظیم خواهد نمود و بدین ترتیب، این پارامترها جهت محاسبه‌ی شاخص‌های کیفیت توان توسط نرم‌افزار مورداستفاده قرار خواهند گرفت.



شکل ۱-۳۱ نمودار توالی درخواست تنظیم پارامترهای کنتورهای مدیریت شبکه

۱-۴-۴-۳-نمودار توالی درخواست تنظیم پارامترهای کنتورهای فهام

مشـــابه تنظیم پارامترهای کنتورهای مدیریت شـــبکه، کمیته‌ی عالی کیفیت توان توانیر وظیفه درخواســـت تنظیم پارامترهای کنتورهای فهام را نیز برعهده دارد. م شابهاً م شبا نیز پس از موافقت با این درخوا ست پارامترهای کنتورهای MDM را تنظیم خواهد نمود و این پارامترها جهت محاسبه کیفیت توان توسط نرم‌افزار استفاده خواهند شد.

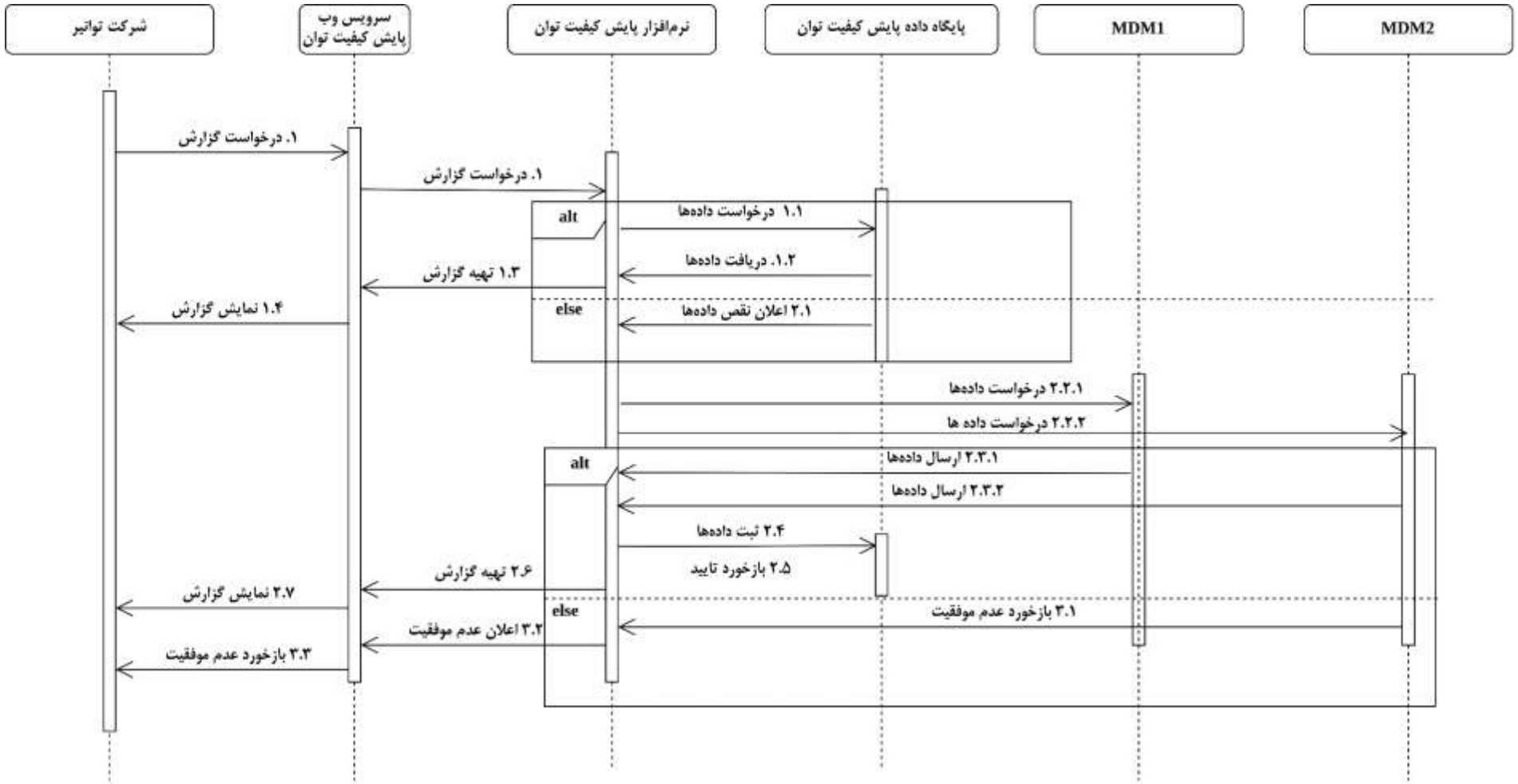


شکل ۱-۳۲ نمودار توالی درخواست تنظیم پارامترهای کنتورهای فهام

۱-۴-۴-۴-نمودار توالی تهیه گزارش شرکت توانیر

شکل ۱-۳۳ نشان‌دهنده‌ی نحوه‌ی تولید گزارش کیفیت توان برای شرکت توانیر است. همان‌گونه که مشاهده می شود، شرکت توانیر با ا ستفاده از وب سرویس نرم‌افزار پایش کیفیت توان، درخوا ست گزارش دلخواه خود را خواهد نمود. نرم‌افزار نیز پس از ارتباط‌گیری با پایگاه داده داخلی خود، سعی می‌کند با استفاده از داده‌های موجود، گزارش را تهیه کند. در صورتی که این داده‌ها به‌صورت کامل در پایگاه داده موجود باشند، بلافاصله گزارش موردنظر تولید شده و به کاربر شرکت توانیر بازخورد داده خواهد شد؛ اما اگر داده‌های موجود در پایگاه داده شامل تمامی داده‌های موردنیاز نباشد، لازم است با MDMها جهت تکمیل این پایگاه‌های داده ارتباط‌گیری شود. در صورتی که این ارتباط‌گیری موفقیت‌آمیز باشد، گزارش موردنظر تولید شده و به توانیر ارائه خواهد شد. در ضمن این فرآیند، داده‌های دریافت شده از MDMها نیز به پایگاه داده‌ی داخلی اضافه خواهند شد. در غیر این صورت، بازخورد عدم موفقیت، به شرکت توانیر ارائه خواهد شد و شرکت توانیر نیز عدم موفقیت را به کمیته‌ی عالی پایش کیفیت توان توانیر بازخورد خواهد داد.

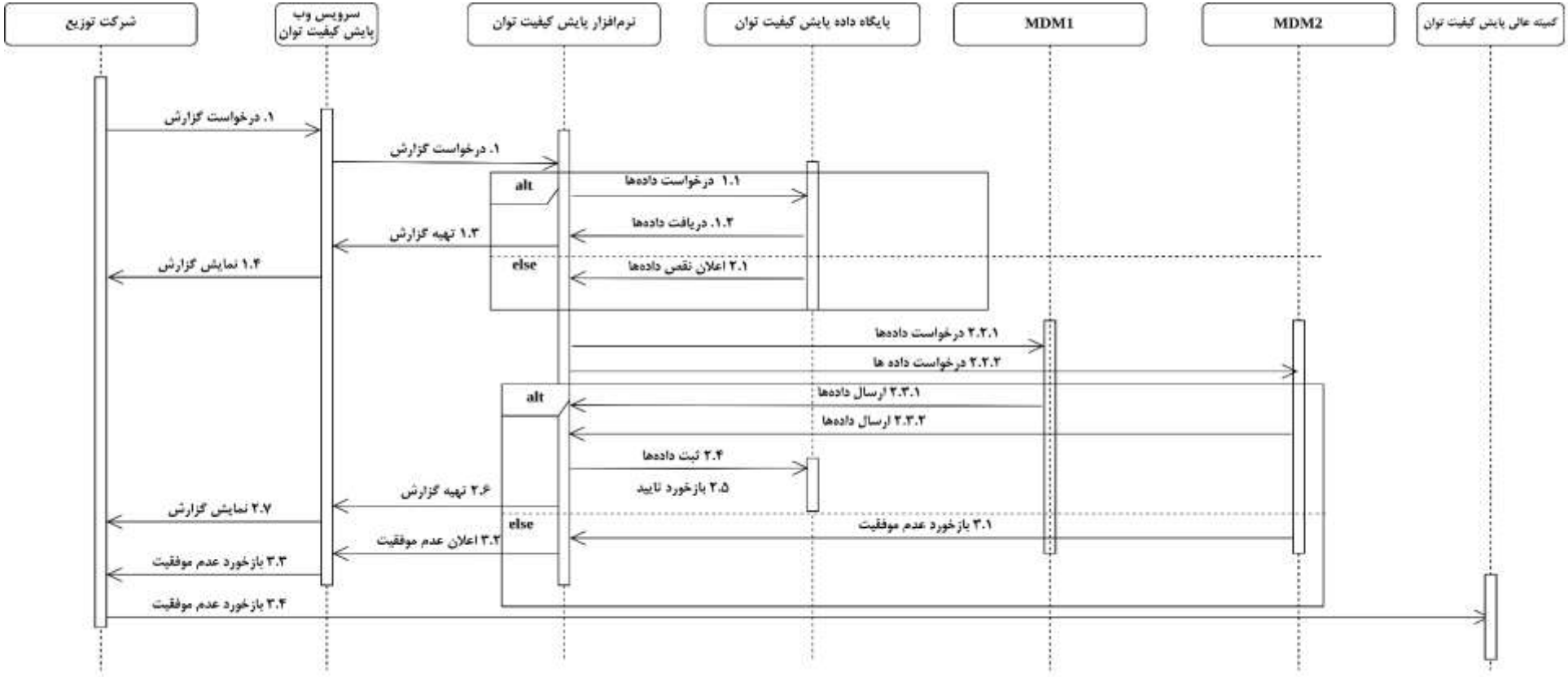
لازم به یادآوری است از آنجا که فرآیند تهیه‌ی گزارش خام و گزارش مخصوص شرکت توانیر مشابه یکدیگر است، نمودار توالی ارائه شده در شکل ۱-۳۳ به هر دوی این موارد اعمال خواهد شد.



شکل ۱-۳۳ نمودار توالی تهیه گزارش شرکت توانیر

۱-۴-۴-۵-نمودار توالی تهیه‌ی گزارش شرکت توزیع

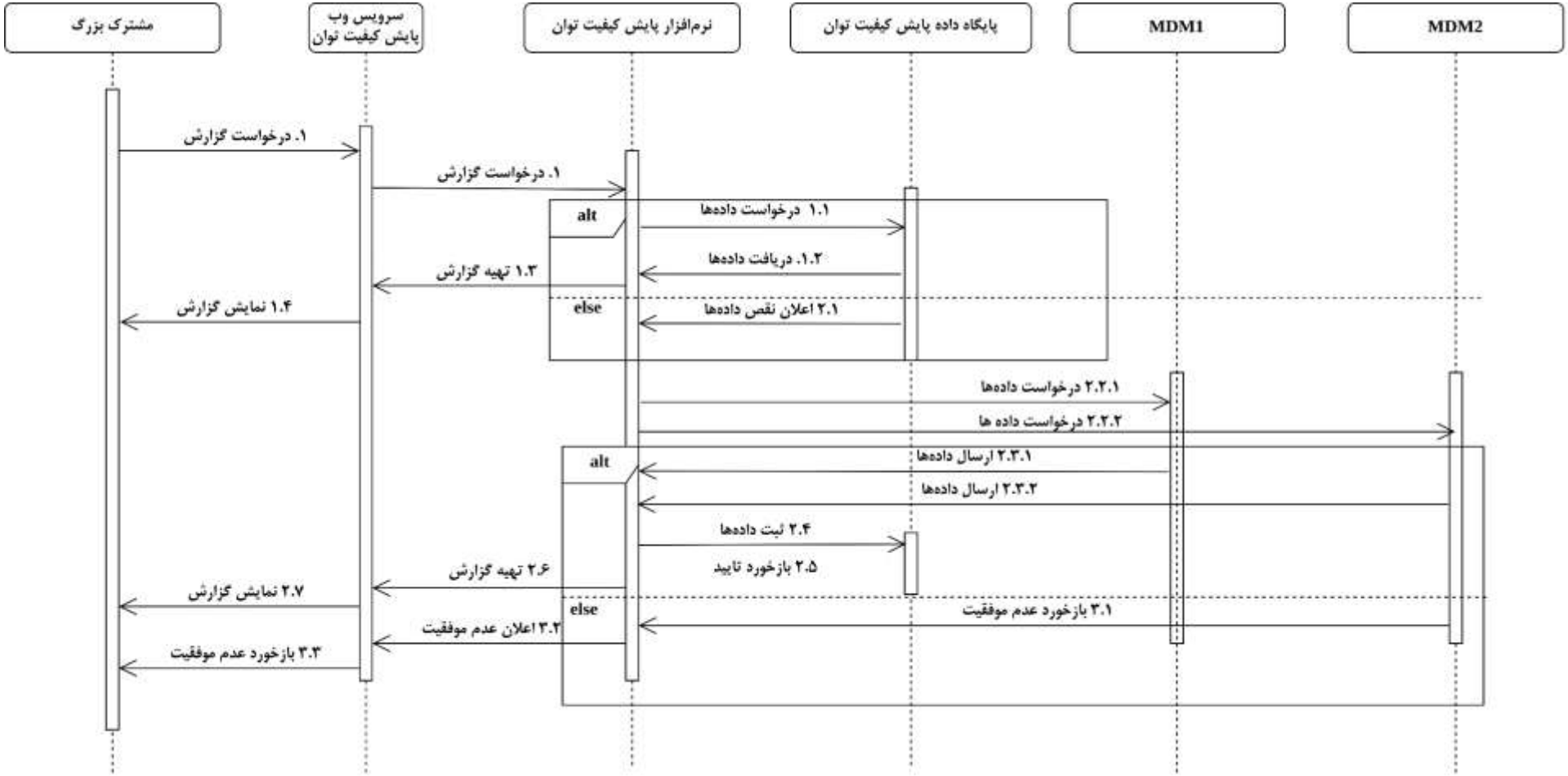
شکل ۱-۳۴ نشان‌دهنده‌ی نحوه‌ی تولید گزارش کیفیت توان برای شرکت‌های توزیع است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، مراحل تهیه‌ی گزارش شرکت‌های توزیع مشابه مراحل تهیه‌ی گزارش شرکت توانیر خواهد بود.



شکل ۱-۳۴ نمودار توالی تهیه گزارش شرکت توزیع

۱-۴-۴-۶-نمودار توالی تهیه‌ی گزارش مشترکین بزرگ

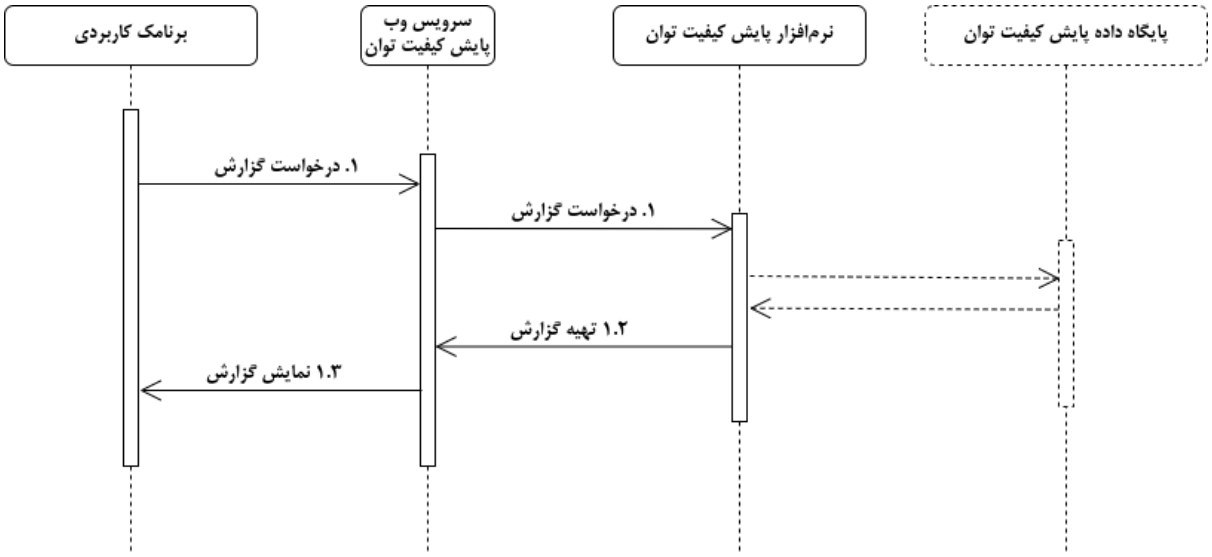
شکل ۱-۳۵، نشان‌دهنده‌ی نحوه‌ی تولید گزارش کیفیت توان برای مشترکین بزرگ است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود مراحل تهیه گزارش مشترک بزرگ مشابه مراحل تهیه گزارش شرکت توزیع خواهد بود.



شکل ۱-۳۵ نمودار توالی تهیه گزارش مشترکین بزرگ

۱-۴-۴-۷-نمودار توالی دسترسی برنامک کاربردی به سامانه‌ی پایش کیفیت توان

همان‌گونه که اشاره شد، با استفاده از سرویس تحت وب سامانه‌ی پایش توان، امکان دسترسی مستقیم برنامک‌های کاربردی اشخاص ثالث به داده‌های پایش کیفیت توان فراهم می‌شود. از آنجا که سامانه‌ی پایش کیفیت توان نیز برای محاسبه‌ی کیفیت توان نیازمند دسترسی به پایگاه‌های داده‌ی MDM است، بنابراین سامانه، امکان دسترسی حفاظت‌شده و غیرمستقیم به داده‌های MDM را فراهم خواهد نمود. قابل‌ذکر است که داده‌های موجود در پایگاه داده‌ی کیفیت توان عیناً مشابه داده‌های موجود در MDMها نیست و عملیاتی چون کاهش حجم داده‌ها با استفاده از معیار ۹۵ درصد بر روی داده‌ها انجام گرفته است.



شکل ۱-۳۶ نمودار توالی دسترسی برنامک کاربردی به سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان

پیوست ۱: نمودارهای UML

پیوست ۲:
سؤال‌ها و پاسخ‌های ارایه‌شده در خصوص ویرایش اول گزارش

- **ایرادات اساسی در بخش نمودارهای UML ارایه‌شده و تحلیل‌های صورت پذیرفته**

اهم موارد مربوطه بدین شرح است:

1. **در خصوص دیاگرام‌های مورد کاربرد، متأسفانه این دیاگرام‌ها اصلاً قابل‌استفاده نیستند. درواقع هیچ‌کدام از ارتباطات به‌صورت مشخص استخراج نشده‌اند. معلوم نیست کدام رابطه include است و یا کدام رابطه extendاست. ارتباط تعمیم (generalization) نیز به‌درستی استفاده‌نشده است. به‌صورت جزئی‌تر باید جریان اصلی و جایگزین مورد کاربرد مشخص باشد که این امر محقق نشده است. درمجموع دیاگرام‌های ارائه‌شده درست نیست و نیاز به بازبینی اساسی توسط شخصی با تخصص نرم‌افزار دارد.**

دیاگرام مورد کاربرد، مورد بازبینی مجدد قرار گرفت.

2. **در مورد دیاگرام‌های کلاس، نیز مشکلات متعددی وجود دارد. در این دیاگرام‌ها، کلاس‌های استخراج‌شده عمدتاً از جنس entity هستند و کلاس‌های control و boundary نیز به‌درستی معلوم نشده‌اند . ارتباط بین کلاس‌های entity نیز جای کار با جزئیات بیشتر دارد. جای ابهام دارد که چطور گردش داده‌ها بدون کلاس‌های کنترلی در سیستم مدل‌سازی شده‌اند؟**

دیاگرام‌های کلاس انواع مختلف control و boundary را ندارند، بلکه این مورد در نمودار boundary control entity نمایش داده می‌شود.

دیاگرام کلاس مجدد مورد بازبینی قرار گرفت و اصلاح شد و هم‌چنین در قسمت نمودار مورد کاربرد، هدف نمودار boundary control entity نیست بلکه نمایش نمودار UseCase است.

3. **با توجه به اشکالات موجود در مدل‌سازی دیاگرام کلاس که مبنای دیاگرام‌های نرم‌افزاری هستند، متأسفانه دیاگرام‌های ترتیب نیز قابل صحت‌سنجی نیست چراکه دقیقاً باید سناریوها مبتنی بر تبادل پیام بین Actor و نمونه‌های کلاس باشند. ولیکن وقتی کلاس‌های کنترلی و مرز استخراج نشده‌اند چگونه می‌توان رفتار سیستم را مبتنی بر اجزاء سازنده بررسی نمود؟**

دیاگرام‌ها مورد بازبینی قرار گرفتند.

4. **بقیه نمودارها (مانند نمودارهای ارتباطی و ...) هنوز طراحی نشده‌اند فلذا هنوز طراحی کامل نیست.**

به‌طور کلی، نمودارهای مختلف UML با توجه به نیاز و خواسته‌های مسئله و یا پروژه‌ی در حال طراحی استفاده می‌شود و نیازی به استفاده از همه‌ی این نمودارها نیست؛ بلکه باید مجموعه‌ای آن‌ها را که در پروژه کارآمد و مفید هستند، برای کمک به طراحی‌های بعدی رسم نمود.

- **ایرادات مفهومی و بنیادی در طرح ارایه‌شده**

اهم موارد مربوطه بدین شرح است:

۱. عطف به مذاکرات صورت گرفته در جلسه مورخ ۲۰ - ۶ - ۱۴۰۰ با حضور کارشناسان شرکت مونتکو، نماینده شرکت توانیر، نماینده پژوهشگاه و اعضای تیم محقق دانشگاهی نیاز است موارد ذیل در طرح ارایه‌شده مدنظر قرار گیرند:

- ✓ **در نظر گرفتن یک پایگاه داده مجزا برای پارامترهای کیفیت توان، درست نیست. ارتباط می‌تواند از طریق Web Service با سرورهای محلی داخل شرکت‌های توزیع باشد.**
- ✓ **آیا اطلاعات کیفیت توان در سامانه پایش شرکت توانیر ذخیره می‌گردد یا خیر؟**
- ✓ **آیا از ظرفیت سرور "طرح چاوش" می‌توان در این پروژه، استفاده نمود؟**

نیاز است نتیجه بررسی‌های انجام‌شده در خصوص موارد فوق‌الذکر در گزارش آورده شود و توضیحات مکفی در خصوص آن‌ها ارایه گردد. سپس مشخص شود که طرح ارایه شده، بر چه مبنایی است؟

مطابق ابلاغیه شرکت توانیر، امکان قرائت مستقیم پارامترهای کیفیت توان از MDM و محاسبه‌ی شاخص‌ها بر مبنای آن وجود ندارد:

با توجه به این مورد پایگاه داده‌ی مربوطه یا باید به‌صورت مجتمع درون یک سرور باشد و یا از mirrorهایی که در سرورهای شرکت توزیع به‌صورت گسترده، داده‌ها را جمع‌آوری می‌کنند استفاده کرد. استفاده از هریک از این روش‌ها، تفاوتی در کلیت سامانه ایجاد نمی‌کند و قاعدتاً در مرحله‌ی اجرای سامانه نسبت به انتخاب روش موردنیاز تصمیم‌گیری خواهد شد. در زمان اجرای سامانه با توجه به موارد متعدد مدنظر کارفرما همچون پیچیدگی اجرای سامانه، هزینه، میزان اعتبارات موجود و دارایی‌های سخت‌افزاری مثلاً در سرور طرح چاوش یا هر جای دیگر، کارفرما نسبت به نحوه‌ی روش ذخیره‌ی داده‌ها تصمیم‌گیری خواهد کرد. به نظر می‌رسد با توجه به مشکلات هماهنگ کردن شرکت‌های توزیع مختلف جهت ارائه وب‌سرویس از mirror، روش اجرایی در نظر گرفتن یک سرور برای استفاده‌های توانیر از طرح فهام جهت بررسی عملکرد شرکت‌های توزیع مختلف همچون سامانه‌ی پایش کیفیت توان است.

۲. در خصوص دسترسی به پارامترهای کیفیت توان کنتورهای مربوط به شرکت مدیریت شبکه نیاز است، پاسخ سؤالات ذیل مشخص باشد:

- **وضعیت فعلی پایش پارامترهای کیفیت توان کنتورهای مربوط به شرکت مدیریت شبکه چگونه است؟ آیا سامانه مجزای برای این کار دارند؟ پاسخ این سؤال تعیین‌کننده خواهد بود، زیرا طرح ارایه شده در این پروژه را تحت تأثیر قرار خواهد داد.**
- **آیا اطلاعات کیفیت توان به‌صورت خام دریافت می‌گردد؟ چه پردازشی روی آن‌ها صورت می‌پذیرد؟**
- **دسترسی به اطلاعات MDM شرکت مدیریت شبکه در طرح ارایه شده، چگونه خواهد بود؟**

- **لزوم دسترسی شرکت مدیریت شبکه به سامانه طراحی‌شده در این پروژه که در شرکت توانیر مستقر خواهد شد چیست؟**

مطابق اطلاعات دریافت شده از شرکت مدیریت شبکه، در حال حاضر پارامترهای کیفیت توان کنتورها پایش نمی‌شود. به‌طور کلی کنتورهای مدیریت شبکه در اسکادا قرائت شده و بخشی از اطلاعات آن به‌صورت وب‌سرویس (سامانه‌ی مدام) در اختیار شرکت‌های توزیع قرار می‌گیرد.

فراهم کردن امکان قرائت پارامترهای کیفیت توان از همه‌ی کنتورهای MK6E نیازمند سرمایه‌گذاری و توسعه‌ی زیرساخت ارتباطی در پست‌های فوق توزیع خواهد بود که بخشی از این فرآیند در حال انجام است. بدون شک فراهم کردن امکان استفاده از کنتورهای MK6E شرکت مدیریت شبکه در سامانه‌ی پایش کیفیت توان نیازمند مذاکرات مدیریتی و هم‌چنین سرمایه‌گذاری در بستر ارتباطی و نرم‌افزاری سمت شرکت مدیریت شبکه خواهد بود.

شرکت مدیریت شبکه تنها به‌عنوان یکی از کاربران سیستم در نظر گرفته شده است و لزوم خاصی بر دسترسی این شرکت به سامانه‌ی طراحی‌شده وجود ندارد.

۳. **در جدول ۱-۳ به دستگاه‌های Power Analyzer اشاره شده است ولی مشخص نیست که اطلاعات این دستگاه‌ها چطور و به کجا ارسال می‌شوند و چگونه وارد سامانه جامع پایش کیفیت توان خواهد شد؟ گزارش را اصلاح و تکمیل نمایید.**

به دلیل عدم نیاز به دستگاه پاورآنالایزر حذف شد.

۴. **در بند ۲-۱-۱ از المان‌هایی در طرح جامع پایش کیفیت توان نام برده شده است که در ادامه نقش آن‌ها در طرح مذکور، مشخص نشده است. نیاز است توضیحات مربوطه در گزارش ارایه شود. همچنین در طرح ارایه شده جایگاه آن‌ها تبیین گردد. مانند GIS، سامانه Billing، نیاز است توضیحات مربوطه در گزارش ارایه شود. همچنین در طرح ارایه شده جایگاه آن‌ها تبیین گردد. همچنین ارتباطات مربوطه در قالب نمودارهای UML ارایه گردد.**

تنها کاربردی که برای GIS در نظر گرفته شده بود، نمایش گرافیکی وضعیت پایش کیفیت توان هر شرکت توزیع بر روی نقشه کشور با استفاده از رنگ‌های مختلف است – مشابه شکل ۴-۱۶ که در فاز ۳ آورده شده است –که می‌توان این کار را بدون استفاده از GIS و تنها با استفاده از اطلاعات کنتورها که مربوط به کدام شرکت توزیع است انجام داد، لذا این بخش حذف شد.
هم‌چنین توان کنتورها را می‌توان از هر کنتور هوشمند برداشت کرد و سامانه‌ی Billing حذف شد.

۵. **در طرح ارایه شده مشخص نیست که آیا یک داشبورد مدیریتی در توانیر خواهیم داشت که همه شرکت های توزیع بدان دسترسی خواهند داشت یا هر شرکت توزیع داشبورد مدیریتی مربوط به خود را خواهد داشت؟**

هر شرکت توزیع داشبورد مدیریتی خود را با قابلیت شخصی‌سازی دارد که جزئیات آن در فاز سوم به‌تفصیل آمده است.

۶. **طرح کلی سامانه جامع پایش کیفیت توان ارایه شده در شکل ۱-۱ نیاز به بازبینی دارد.**

اصلاح شد.

۷. نیاز است در بند ۳-۳-۱ توضیحات کافی داده شود که از استاندارد IEC 61968 در این پروژه چه استفاده‌ای خواهد شد؟ در کجای طرح ارایه‌شده، دیده شده است؟

در فاز بعدی نیز از این استاندارد استفاده شده است و این استاندارد به‌منظور برقراری ارتباط بین برنامه‌هایی که با یکدیگر متفاوت هستند، از طریق ESB[1]، استفاده خواهد شد.

۸. لازم به ذکر است که وظیفه سامانه HES/MDM به‌هیچ‌وجه تحلیل داده‌ها نیست و اساساً چنین کاری را هم انجام نمی‌دهد. بلکه وظیفه تحلیل با برنامه‌های کاربردی است که از طریق Web Service اطلاعات می‌گیرند. در گزارش اصلاح نمایید.

موضوع مطرح‌شده کاملاً صحیح و موردقبول است. جهت اصلاح در گزارش، موضوع اشاره‌شده در متن گزارش پیدا نشد. لطفاً درصورتی‌که طی اصلاحات انجام‌شده در گزارش، موضوع مرتفع نشده است، جهت تصحیح مورد اعلام شود.

۹. در بخش‌های مختلف گزارش ذکر شده است "توانایی تغییر و تنظیم پارامترهای کیفیت توان کنتورها". نیاز است مشخص شود در خصوص پارامترهای کیفیت توان طبق سند FID2 چه مواردی مدنظر بوده است؟ و آیا امکان تغییر آن‌ها وجود دارد یا خیر؟ اگر آری، چگونه و توسط چه کسی؟

پارامترهای مرتبط با کیفیت توان، طبق سند FID2، تنظیم می‌گردد که در فاز سوم تمامی این موارد همراه با جداول پارامترها به‌تفصیل توضیح داده شده است. برای مثال می‌توان به تنظیمات دوره‌ی ثبت پروفایل‌ها و یا آستانه‌ی ولتاژ قطع[2] اشاره کرد. طبق سند FID2 بسیاری از تنظیمات کنتورها در یک سری بازه‌ی مشخص وجود دارد که اعمال این تنظیمات از طریق MDM باید قابل انجام باشد.

۱۰. در طرح ارایه شده موضوع مقیاس‌پذیری چگونه دیده شده است؟ لازم است در گزارش به فرضیات، محدودیت‌ها و الزامات طرح ارایه‌شده به‌طور واضح پرداخته شود.

اگر منظور از مقیاس‌پذیری، امکان استفاده از شاخص‌های ارائه شده در شرکت‌های توزیع مختلف و برای هر مجموعه از کنتورها است، روش ارائه شده در فصل اول جهت محاسبه‌ی شاخص‌های کیفیت توان مقیاس‌پذیر است.

بسیاری از مفروضات، الزامات و محدودیت‌های مربوط به المان‌های سامانه، موضوع فصل‌های مراحل مختلف پروژه است. برای مثال یکی از اصلی‌ترین المان‌های سامانه، کنتورهای فهام هستند که در فصل دوم فاز اول به‌تفصیل موردبررسی قرار گرفته است.

در واقع هدف از انجام بخش‌های مختلف پروژه تا این نقطه، آشنا شدن با مفروضات، الزامات و محدودیت‌های المان‌های مختلف سامانه است. در بخش‌های بعدی پروژه نیز، الزامات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری سامانه با تفصیل بیش‌تری موردبررسی قرار خواهد گرفت و برای مثال در فاز سوم، دو فصل تحت عنوان، "الزامات نرم‌افزاری سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان" و "الزامات

[1] Enterprise Service Bus

[2] Missing Voltage Threshold

نرم‌افزاری سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان" وجود دارد. عنوان فصل حاضر ارائه‌ی معماری و طرح مفهومی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان در محدوده شرکت توزیع برق و شرکت توانیر است و در این بخش تنها به طرح مفهومی سامانه پرداخته می‌شود.

۱۱. بحث زمان (توالی زمانی) در نمودارهای ارایه شده چگونه دیده شده است؟ به‌عنوان مثال تعریف Eventها و فرایند ارسال آن‌ها چگونه است؟ در قالب نمودارهای UML بدان پرداخته شود.

این موارد در فاز سوم پروژه با جزئیات بررسی شده است.

۱۲. سایر ابهامات و ایرادات فنی جزیی‌تر در فایل گزارش (به‌پیوست) کامنت گذاشته شده است که نیاز است بررسی گردیده و اصلاحات لازم در گزارش صورت پذیرد.

همچنین در متن گزارش ایرادات نگارشی و ویرایشی وجود دارد که در فایل پیوست هایلایت شده و کامنت‌گذاری شده است. نیاز است اصلاح گردند.

اصلاح شد.

پیوست ۳:
سؤال‌ها و پاسخ‌های ارایه‌شده در خصوص ویرایش دوم گزارش

۱. در شکل ۱-۲ (طرح کلی سامانه جامع پایش کیفیت توان) ارتباط بین بخش‌های مختلف اصلاح گردد.

اصلاح شد.

۲. در جدول ۱-۱ ذکر شرکت توزیع و شرکت توانیر به‌عنوان المان صحیح نیست از بخش‌های داشبورد مدیریت سرور یا .... در این شرکت‌ها استفاده شود.

اصلاح شد.

۳. در صفحه ۳۴ عبارت " سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان، با توجه به اطلاعات کیفیت توان موجود، شاخص کیفیت توان را محاسبه ..."ایراد دارد. درواقع، سامانه به کل المانها گفته می‌شود. این مسئله مجدداً در صفحه ۳۵ در جدول تکرار شده است.

سطر جدول صفحه‌ی ۳۵ حذف و عبارت موجود در صفحه ۳۴ اصلاح شد.

۴. در شکل ۱-۲۴ مورد کاربردی ابلاغ تنظیمات .... با این جمله جایگزین شود: ابلاغ تغییر تنظیمات مرتبط با کیفیت توان در مراکز MDM و کنتورهای هوشمند شرکت‌های توزیع و شرکت مدیریت شبکه

اصلاح شد.

۵. در نمودار مورد کاربردی شکل ۱-۲۴، MDM کنتورهای فهام و کنتورهای مدیریت شبکه و همچنین کنتورهای هوشمند و سرورها نباید به‌عنوان "کنشگر" وارد شوند؟

طبق تعریف کنشگر به شخص، اشخاص و یا سامانه‌هایی اطلاق می‌شود که هدف خاصی را دنبال می‌کند. متناسب با اهداف کلی در هر سامانه، می‌توان بخش‌هایی از سامانه را به‌عنوان کنشگر در نظر گرفت و یا آن بخش را به‌صورت زیرسرویس (زیرساختار) مدل کرد. با توجه به اینکه MDM کنتورهای فهام و کنتورهای مدیریت شبکه و هم‌چنین کنتورهای هوشمند و سرورها، در سامانه‌ی پایش کیفیت توان هدف خاصی را دنبال نمی‌کنند و تنها به بخش‌های دیگر سرویس می‌دهند به‌عنوان کنشگر در نظر گرفته نشده‌اند.

۶. آیا اندازه‌گیری پارامترهای کیفیت توان یک use case نیست؟

پارامترهای کیفیت توان از کنتورهای فهام برداشت شده و درنهایت در سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان، مطابق الگوریتم محاسبه‌ی شاخص‌های کیفیت توان، شاخص‌ها محاسبه می‌گردد که در فاز سوم به‌تفصیل بیان شده است. Use case مرتبط با این کار تحت عنوان جمع‌آوری اطلاعات کیفیت توان در پایگاه داده در شکل ۱-۲۵ نمایش داده شده است.

۷. **آیا سامانه‌ی subject مورد کاربردی نیست؟**سؤال واضح نیست.

۸. به نظر می‌رسد نمودار مورد کاربردی شکل ۱-۲۴ با توجه به فرایند و هدف سامانه کیفیت توان باید موردبررسی مجدد قرار گیرد.

با توجه به نکات ذکرشده شکل ۱-۲۵ موردبررسی مجدد قرار گرفت.

۹. از کلمه کنشگر به‌جای اکتور استفاده شود.

اصلاح شد.

۱۰. در شکل ۱-۲۶ آیا پاورآنالایزر زیرمجموعه کلاس meter نیست؟

به دلیل عدم استفاده از پاورآنالایزر، حذف گردید.

۱۱. در شکل ۱-۲۶ آیا کلاس سامانه جامع پایش کیفیت توان نباید حذف شود و کلاس‌هایی چون داشبورد توانیر، داشبورد شرکت توزیع، سرور توانیر، سرور شرکت توزیع و ... اضافه شود؟

نمودار کلاس موردبازنگری اساسی قرار گرفت و در شکل ۱-۲۷ نمایش داده شد.

۱۲. نمودار ۱-۲۹ از وضوح موردنیاز برای بررسی برخوردار نیست اما با توجه به این مطلب که سرورهای توانیر و شرکت‌های توزیع جداگانه می‌باشد نمودارهای مورد کاربردی کلاس و نمودار توالی باید اصلاح گردد. لازم به ذکر است که در حال حاضر که سروری موجود نیست اطلاعات از طریق وب‌سرویس ازMDM دریافت می‌شود.

فایل‌های PDF مربوط به نمودارهای UML به همراه گزارش، ارسال می‌گردد.
امکان استفاده مستقیم از پایگاه داده‌ی فهام جهت محاسبه شاخص‌ها بنا بر ابلاغیه‌ی .... توانیر فراهم نیست و استفاده‌کنندگان از فهام ملزم هستند سرورهای mirror خود را فراهم سازند.

البته امکان استفاده از mirrorهای فراهم شده در شرکت‌های توزیع به‌عنوان پایگاه داده فراهم است که در این صورت موضوع با روش ارائه‌شده در گزارش تفاوت خاصی ندارد و درواقع دیتابیس به‌صورت توزیع‌شده در شرکت‌های توزیع در دسترس خواهد بود البته در این شرایط هماهنگی‌ها جهت دسترسی به این mirrorها و همچنین نگهداری آن‌ها ضروری خواهد بود که با توجه به هزینه‌ی این کار، این راهکار ازنظر مجری دانشگاهی اقتصادی و عملی به نظر نمی‌رسد.

۱۳. نمودار توالی‌های مختلف برای شرکت توزیع نیز مشخص گردد.

آن دسته از نمودارهای توالی که با توجه به تعریف صورت گرفته در شرح خدمات، در فاز دوم نمی‌گنجید، به‌تفصیل در فاز سوم آورده شده است.

۱۴. برخی از اشکال از وضوح کافی برخوردار نیستند.

فایل‌های PDF مربوط به نمودارهای UML به همراه گزارش، ارسال می‌گردد.

مراجع

[۱] Fowler, M. (2004). UML distilled: a brief guide to the standard object modeling ..language. Addison-Wesley Professional

[۲] ."IEC Interface architecture and general requirements, IEEE Standard 1, 2012"

[۳] ."IEC Glossary, IEEE Standard 2, 2011"

[۴] ."IEC Interface for Network Operations, IEEE Standard 3, 2004"

[۵] ."IEC Interfaces for Records and Asset management , IEEE Standard 4, 2020"

[۶] ."Construction, IEEE Standard 6, 2007 & IEC Interfaces for Maintenance"

[۷] ."IEC Interfaces for Customer Support, IEEE Standard 8"

[۸] ."Control, IEEE Standard 9, 2013 & IEC Interface Standard for Meter Reading"

[۹] Interfaces for Business functions external to distribution management, IEEE IEC" ."Standard 10

[۱۰] ."IEC Common Information Model (CIM), IEEE Standard 11, 2013"

[۱۱] ."IEC Common Information Model (CIM), IEEE Standard 12"

[۱۲] IEC Common Information Model (CIM) RDF Model exchange format for " ."distribution, IEEE Standard 13, 2008

[۱۳] ."IEC Application Integration, IEEE Standard 100, 2013"

www.nri.ac.ir

تهران - شهرک قدس - انتهای بلوار شهید دادمان (پونک باختری) - صندوق پستی ۵۱۷-۱۴۶۶۵
تلفن : ۸۸۰۷۹۴۰۰ - فاکس : ۸۸۰۷۸۲۹۶

پژوهشگاه نیرو
Niroo Research Institute

طراحی پایه‌ی سامانه جامع پایش کیفیت توان



کارفرما: پژوهشگاه نیرو به نمایندگی شرکت توانیر

به نام خدا

پژوهشگاه نیرو

نام گزارش: طراحی پایه‌ی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان

کد گزارش–ویرایش: PDPN29/T3 –ویرایش ۳

عنوان پروژه: طراحی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان در شبکه‌ی توزیع برق هوشمند

واحد مجری پروژه: طرح اکتساب دانش فنی طراحی و پیاده‌سازی شبکه توزیع هوشمند، ریزشبکه (میکرو/نانو) و نیروگاه مجازی

مجری پروژه: خانم مهندس لیلا عبدی

مدیر واحد مجری پروژه: خانم مهندس لیلا عبدی

مدیر پروژه: خانم مهندس لیلا عبدی

ناظر پروژه: خانم دکتر آذین شجاعی

تهیه‌کننده: دانشگاه فردوسی مشهد

دی ماه ۱۴۰۱

پیشگفتار

این گزارش مربوط به مطالعات صورت گرفته در مرحله‌ی سوم پروژه‌ی طراحی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان در شبکه‌ی توزیع برق هوشمند با عنوان "طراحی پایه‌ی سامانه‌ی پایش جامع کیفیت توان" است که در چهار فصل با عناوین زیر تدوین شده است:

فصل اول: تعیین الزامات فنی نرم‌افزاری سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان

فصل دوم: الزامات سخت‌افزاری سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان

فصل سوم: طراحی ماژول‌های نرم‌افزاری موردنیاز سرور سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان

فصل چهارم: طراحی رابط کاربری و داشبورد مدیریتی نرم‌افزار

کارفرما: پژوهشگاه نیرو به نمایندگی شرکت توانیر

دانشگاه مجری: فردوسی مشهد

مدیر پروژه (پژوهشگاه نیرو): خانم مهندس لیلا عبدی

مدیر واحد مجری پروژه: خانم مهندس لیلا عبدی

محقق دانشگاهی: آقای دکتر حسین ابوترابی زارچی

تهیه‌کنندگان گزارش: آقای دکتر حسین ابوترابی زارچی، آقای مهندس نوید یکتای، آقای مهندس مسعود رضوانیان، خانم مهندس سارینا نعیمی، خانم مهندس لیلا سمیع‌زاده، خانم مهندس فاطمه دبوری فریمانی، آقای مهندس محمد حکمت، خانم مهندس نگار حشمت، آقای مهندس سینا شریفی، خانم مهندس سارا ملائی

ناظر پروژه: خانم دکتر آذین شجاعی (از دفتر هوشمندسازی و فن‌آوری‌های نوین شرکت توانیر)

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: تعیین الزامات فنی نرم‌افزاری سامانه‌ی جامع پایش کیفیت ۱۱
۱-۱-مقدمه ۱۲
۱-۲-ساختارهای معماری نرم‌افزاری ۱۲
۱-۲-۱-ساختارهای ماژول ۱۲
۱-۲-۲-ساختارهای مولفه و اتصال ۱۳
۱-۲-۳-ساختارهای تخصیص ۱۵
۱-۲-۴-ساختار پیشنهادی معماری نرم افزار سامانه پایش کیفیت توان ۱۵
۱-۳-ساختار پایگاه داده ۱۷
۱-۳-۱-پایگاه داده MYSQL ۱۸
۱-۳-۲-پایگاه داده ORACLE ۱۹
۱-۳-۳-ساختار پیشنهادی پایگاه داده ۲۱
۱-۴-سیستم‌عامل سرور ۲۲
۱-۴-۱-سیستم‌عامل ویندوز ۲۲
۱-۴-۲-سیستم‌عامل لینوکس ۲۲
۱-۴-۳-ساختار پیشنهادی سیستم‌عامل ۲۳
۱-۵-زبان‌های برنامه‌نویسی ۲۳
۱-۵-۱-زبان پایتون ۲۴
۱-۵-۲-زبان PHP ۲۴
۱-۵-۳-زبان جاوا ۲۵
۱-۵-۴-زبان سی‌شارپ ۲۵
۱-۵-۵-زبان برنامه‌نویسی پیشنهادی ۲۶
۱-۶-فرآیند توسعه نرم‌افزار ۲۷
۱-۶-۱-متدولوژی CDM ۲۸
۱-۶-۲-متدولوژی RUP ۲۹
۱-۶-۳-متدولوژی SCRUM ۳۰
۱-۶-۴-متدولوژی پیشنهادی توسعه نرم‌افزار ۳۲
۱-۷-پردازش‌های لبه‌ای ۳۲
۱-۷-۱-معماری پردازش لبه‌ای ۳۳
۱-۷-۲-مزایای استفاده از پردازش لبه‌ای ۳۴
۱-۸-الزامات امنیتی ۳۵
۱-۸-۱- طرح ارزیابی امنیتی ۳۵
۱-۸-۲- تعیین سطوح دسترسی کاربران ۳۹

فصل دوم: الزامات سخت‌افزاری سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان ۴۳
۲-۱- مقدمه ۴۴
۲-۲- حافظه‌ی موردنیاز پایگاه داده ۴۴
۲-۲-۱- اولویت‌بندی داده‌های سامانه‌ی پایش کیفیت توان ۴۵
۲-۲-۲- پردازش داده‌های خام ۴۵
۲-۲-۳- مدت‌زمان نگه‌داری داده‌های سامانه‌ی پایش کیفیت توان در پایگاه داده ۴۵
۲-۲-۴- بهینه‌سازی حجم اطلاعات ۴۷
۲-۲-۵- محاسبه‌گر تخمین حافظه‌ی پایگاه داده ۴۸
۲-۲-۶- سناریوهای تخمین حافظه‌ی موردنیاز پایگاه داده ۴۸
۲-۳- تخمین ظرفیت RAM ۵۲
۲-۴- تخمین تعداد هسته‌های CPU ۵۳
۲-۵- میزان تأخیر مجاز در ارسال اطلاعات بین سامانه‌های مختلف ۵۳
۲-۶- تخمین پهنای باند موردنیاز سرورها ۵۴
فصل سوم: طراحی ماژول‌های نرم‌افزاری موردنیاز سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان ۵۵
۳-۱- مقدمه ۵۶
۳-۲- ماژول جمع‌آوری و اکتساب داده ۵۷
۳-۲-۱- اطلاعات مرتبط کیفیت توان کنتورهای فهام ۵۸
۳-۲-۲-اطلاعات مرتبط با کیفیت توان کنتورهای MK6E ۷۵
۳-۳- ماژول ذخیره‌سازی ۸۳
۳-۳-۱- انتقال اطلاعات به پایگاه داده کیفیت توان ۸۳
۳-۳-۲- دوره‌ی بازنویسی اطلاعات ۸۵
۳-۴- ماژول پردازش، تجزیه‌وتحلیل داده و استخراج شاخص ۸۷
۳-۴-۱- داده‌های پردازش‌شده روزانه ۸۸
۳-۴-۲- داده‌های پردازش‌شده هفتگی ۸۹
۳-۴-۳- شاخص‌های گسسته ۱۰۱
۳-۴-۴- محاسبات شاخص تجمیعی ۱۰۴
۳-۵- ماژول گزارش‌دهی کیفیت توان ۱۰۸
۳-۵-۱- منحنی‌های مقایسه‌ای پارامترهای کیفیت توان ۱۰۸
۳-۵-۲- شاخص‌های آماری پارامترهای کیفیت توان ۱۱۴
فصل چهارم: طراحی رابط کاربری و داشبورد مدیریتی نرم‌افزار ۱۱۷
۴-۱- مقدمه ۱۱۸
۴-۲- صفحه‌ی ورود به سامانه ۱۱۸
۴-۳-صفحه‌ی شخصی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان ۱۲۰
نتیجه‌گیری و جمع‌بندی ۱۴۴
پیوست ۱ ..... ۱۴۷

پیوست ۲ ..... ۱۴۸
مراجع..... ۱۵۱

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۱–۱: جدول مقایسه‌ای ساختارهای معماری نرم‌افزاری [۱] ۱۵
جدول ۱–۲: تفاوت‌های اساسی بین پایگاه داده‌ی ORACLE و MYSQL [۹] ۲۱
جدول ۱–۳: تفاوت‌های سرور لینوکس و ویندوز [۱۰] ۲۳
جدول ۱–۴: سطح دسترسی کاربران در سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان ۳۹
جدول ۲–۱: اولویت‌بندی داده‌های سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان ۴۵
جدول ۲–۲: زمان پیشنهادی نگه‌داری اطلاعات پایگاه داده بر اساس اهداف چهارگانه ۴۶
جدول ۲–۳: مقادیر ورودی‌های سناریو ۱ ..... ۴۸
جدول ۲–۴: تخمین حافظه‌ی موردنیاز پایگاه داده (گیگابایت) سناریو ۱ ..... ۴۹
جدول ۲–۵: مقادیر ورودی‌های سناریو ۲ ..... ۴۹
جدول ۲–۶: تخمین حافظه‌ی موردنیاز پایگاه داده (گیگابایت) سناریو ۲ ..... ۵۱
جدول ۲–۷: مقادیر ورودی‌های سناریو ۳ ..... ۵۱
جدول ۲–۸: تخمین حافظه‌ی موردنیاز پایگاه داده (گیگابایت) سناریو ۳ ..... ۵۱
جدول ۳–۱: ساختار ماژول جمع‌آوری و اکتساب داده ۵۸
جدول ۳–۲: پروفایل‌های کنتورهای فهام [۲۷] ۵۸
جدول ۳–۳: پارامترهای اندازه‌گیری‌شده در پروفایل‌های کنتورهای فهام [۳۰] ۶۰
جدول ۳–۴: گزارش وقایع مرتبط با کیفیت توان کنتورهای فهام [۲۷] ۶۶
جدول ۳–۵: جزئیات وقایع مرتبط با کیفیت توان کنتورهای فهام [۳۱] ۶۸
جدول ۳–۶: تنظیمات کنتورهای فهام [۳۰] ۷۳
جدول ۳–۷: پارامترهای مرتبط با کیفیت توان در پروفایل‌های کنتورهای MK6E ۷۵
جدول ۳–۸: رخدادهای گروه سیستمی MK6E [۳۲] ۷۹
جدول ۳–۹: هشدارهای مرتبط با پایش کیفیت توان کنتورهای MK6E [۳۳] [۲۹] ۸۰
جدول ۳–۱۰: موارد ذخیره‌شده در SAG/SWELL LOG کنتورهای MK6E [۳۳] ۸۱
جدول ۳–۱۱: موارد ذخیره‌شده در پروفایل‌های کنتورهای MK6E [۳۳] ۸۲
جدول ۳–۱۲: ساختار ماژول جمع‌آوری و اکتساب داده ۸۳
جدول ۳–۱۳: ساختار ماژول جمع‌آوری و اکتساب داده ۸۷
جدول ۳–۱۴: لیست پارامترهایی که بر اساس روال هفتگی (الف) ذخیره می‌شوند ۹۰
جدول ۳–۱۵: لیست پارامترهایی که بر اساس روتین هفتگی (ب) ذخیره می‌شوند ۹۱
جدول ۳–۱۶: مقادیر مجاز هارمونیک‌های ولتاژ متوسط بر اساس استاندارد EN 50160 [28] ۹۸
جدول ۳–۱۷: ساختار ماژول گزارش کیفیت توان ۱۰۸
جدول ۱: پروفایل‌های مرتبط با کیفیت توان کنتورهای فهام [۲۷] ۱۴۸
جدول ۲: پارامترهای ذخیره‌شده در پروفایل‌های کنتورهای MK6E [۳۳] ۱۴۹

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۱–۱: رتبه‌بندی پایگاه‌های داده ۱۸
شکل ۱–۲: متدولوژی RUP ۳۲
شکل ۱–۳: فرآیند ارزیابی امنیتی محصولات [۲۲] ۳۷
شکل ۲–۱: نحوه‌ی ارتباط کنتورها، MDM و پایگاه داده ۵۳
شکل ۳–۱: نحوه‌ی تعامل ماژول‌های سامانه‌ی پایش کیفیت توان ۵۷
شکل ۳–۲: نحوه‌ی ذخیره‌ی اطلاعات کیفیت توان در پروفایل‌های بار کنتورهای فهام ۵۹
شکل ۳–۳: نحوه‌ی ارسال اطلاعات پروفایل‌های بار کنتورهای فهام به MDM ۶۵
شکل ۳–۴: روند ذخیره‌ی اطلاعات رویدادها در گزارش وقایع ۶۶
شکل ۳–۵: روند ارسال گزارش وقایع به MDM ۶۷
شکل ۳–۶: ابلاغ تنظیمات کنتور از توانیر به شرکت‌های توزیع ۷۲
شکل ۳–۷: روند ذخیره‌ی اطلاعات در پروفایل‌های بار در کنتورهای MK6E ۷۵
شکل ۳–۸: نمودار ارسال اطلاعات پروفایل‌های بار کنتورهای MK6E ۷۷
شکل ۳–۹: نمودار ذخیره‌ی اطلاعات وقایع در کنتورهای MK6E ۷۷
شکل ۳–۱۰: قالب خروجی گزارش وقایع در کنتورهای MK6E [۳۲] ۷۸
شکل ۳–۱۱: ارسال اطلاعات گزارش وقایع کنتورهای MK6E به MDM ۷۸
شکل ۳–۱۲: تشکیل گزارش رویداد در کنتورهای MK6E [۳۳] ۷۹
شکل ۳–۱۳: اعمال تنظیمات جدید کنتورهای MK6E ۸۲
شکل ۳–۱۴: جمع‌آوری اطلاعات کیفیت توان پایگاه داده کیفیت توان ۸۴
شکل ۳–۱۵: روال روزانه مربوط به دوره‌ی نگه‌داری اطلاعات کوتاه‌مدت ۸۶
شکل ۳–۱۶: نمودار فعالیت روال روزانه مربوط به دوره‌ی نگه‌داری اطلاعات میان‌مدت ۸۶
شکل ۳–۱۷: نمودار فعالیت روال روزانه مربوط به دوره‌ی نگه‌داری اطلاعات بلندمدت ۸۷
شکل ۳–۱۸: نمودار فعالیت روال روزانه مربوط به دوره‌ی نگه‌داری اطلاعات دائمی ۸۷
شکل ۳–۱۹: نمودار فعالیت روال مربوط به استخراج و ذخیره‌ی آماره‌های روزانه اطلاعات ۸۹
شکل ۳–۲۰: نمودار فعالیت روال هفتگی (الف): مربوط به استخراج و ذخیره‌ی آماره‌های هفتگی اطلاعات به‌صورت مجزا ۹۰
شکل ۳–۲۱: نمودار فعالیت روال هفتگی (الف) مربوط به استخراج و ذخیره‌ی آماره‌های هفتگی توالی مثبت ولتاژ ۹۱
شکل ۳–۲۲: نمودار فعالیت روال هفتگی (ب): روند مربوط به استخراج و ذخیره‌ی آماره‌های هفتگی اطلاعات به‌صورت ادغام‌شده ۹۲
شکل ۳–۲۳: روال هفتگی مربوط به استخراج و ذخیره‌ی آماره‌های هفتگی ولتاژ سه فاز ۹۲
شکل ۳–۲۴: نمودار فعالیت محاسبه‌ی شاخص انحراف ولتاژ مؤثر ۹۴
شکل ۳–۲۵: نمودار فعالیت روال مربوط به استخراج و ذخیره‌ی شاخص هفتگی اعوجاج هارمونیکی کل ولتاژی کنتورهای فهام و مدیریت شبکه ۹۵
شکل ۳–۲۶: نمودار فعالیت روال هفتگی مربوط به استخراج و ذخیره‌ی آماره‌های هفتگی هارمونیک ولتاژی سه‌فاز کنتورهای فهام و مدیریت شبکه ۹۶
شکل ۳–۲۷: نمودار فعالیت روال مربوط به محاسبه شاخص هارمونیک ۹۷

شکل ۳–۲۸: نمودار فعالیت روال مربوط به استخراج شاخص عدم تعادل ولتاژ سه فاز ۹۹
شکل ۳–۲۹: نمودار فعالیت روال مربوط به استخراج شاخص هفتگی اضافه جریان بار سه فاز ۱۰۱
شکل ۳–۳۰: روال مربوط به استخراج و ذخیره‌ی فرورفتگی ولتاژ به شکل هفتگی ۱۰۲
شکل ۳–۳۱: نمودار فعالیت روال مربوط به استخراج و ذخیره‌ی شدت برآمدگی ولتاژ به شکل هفتگی ۱۰۳
شکل ۳–۳۲: نمودار فعالیت روال مربوط به محاسبه‌ی شدت وقفه گذرا ولتاژ به شکل هفتگی ۱۰۴
شکل ۳–۳۳: نمودار فعالیت روال مربوط به محاسبه‌ی شاخص تجمیعی ولتاژی سایت ۱۰۵
شکل ۳–۳۴: نمودار فعالیت روال مربوط به محاسبه‌ی شاخص تجمیعی جریانی سایت ۱۰۵
شکل ۳–۳۵: نمودار فعالیت روال مربوط به محاسبه‌ی شاخص تجمیعی هر اغتشاش برای کل سیستم ۱۰۶
شکل ۳–۳۶: نمودار فعالیت روال مربوط به محاسبه‌ی شاخص تجمیعی ولتاژی سیستم ۱۰۷
شکل ۳–۳۷: نمودار فعالیت روال مربوط به محاسبه‌ی شاخص تجمیعی جریانی کل سیستم ۱۰۷
شکل ۳–۳۸: منحنی هیستوگرام ۱۰۹
شکل ۳–۳۹: نمودار فعالیت منحنی هیستوگرام سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان ۱۱۰
شکل ۳–۴۰: منحنی رتبه‌بندی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان ۱۱۱
شکل ۳–۴۱: نمودار فعالیت منحنی رتبه‌بندی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان ۱۱۲
شکل ۳–۴۲: منحنی سری زمانی ۱۱۳
شکل ۳–۴۳: نمودار فعالیت منحنی سری زمانی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان ۱۱۴
شکل ۳–۴۴: نمودار فعالیت گزارش هارمونیک‌های جریان و ولتاژ کنتورهای فهام و MK6E ۱۱۵
شکل ۳–۴۵: گزارش عدم‌تعادل ولتاژ در سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان ۱۱۶
شکل ۴–۱: صفحه اصلی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان ۱۱۹
شکل ۴–۲: اشتباه بودن نام کاربری و یا رمز عبور ۱۱۹
شکل ۴–۳: نمودار فعالیت صفحه اصلی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان ۱۲۰
شکل ۴–۵: نمودار فعالیت صفحه‌ی شخصی سامانه جامع پایش کیفیت توان برای شرکت‌های توزیع و شرکت توانیر ۱۲۲
شکل ۴–۶: صفحه شخصی مشترک بزرگ در سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان ۱۲۳
شکل ۴–۷: نمودار فعالیت صفحه‌ی شخصی مشترک بزرگ ۱۲۳
شکل ۴–۸: صفحه‌ی مشاهده‌ی کارنامه‌ی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان ۱۲۴
شکل ۴–۹: نمودار فعالیت مشاهده‌ی کارنامه‌ی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان ۱۲۵
شکل ۴–۱۰: صفحه‌ی گزارش پارامتر و دانلود داده در سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان ۱۲۷
شکل ۴–۱۱: نمودار فعالیت گزارش پارامتر و دانلود داده در سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان ۱۲۸
شکل ۴–۱۲: داشبورد مدیریتی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان ۱۳۰
شکل ۴–۱۳: نمودار فعالیت داشبورد مدیریتی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان ۱۳۱
شکل ۴–۱۴: صفحه‌ی تنظیمات سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان ۱۳۲
شکل ۴–۱۵: نمودار فعالیت تنظیمات سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان ۱۳۲
شکل ۴–۱۶: تنظیمات حساب کاربری سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان ۱۳۳
شکل ۴–۱۷: نمودار فعالیت تنظیمات حساب کاربری سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان ۱۳۴
شکل ۴–۱۸: تعیین سطح دسترسی کاربران در سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان ۱۳۵

شکل ۴–۱۹: نمودار فعالیت تعیین سطح دسترسی کاربران در سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان ۱۳۶
شکل ۴–۲۰: مشاهده فعالیت کاربران از طریق صفحه تعیین سطح دسترسی کاربران..... ۱۳۶
شکل ۴–۲۱: تغییر رمز عبور در سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان ۱۳۷
شکل ۴–۲۲: نمودار فعالیت تغییر رمز عبور در سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان..... ۱۳۷
شکل ۴–۲۳: مشاهده آخرین اتصالات..... ۱۳۸
شکل ۴–۲۴: تنظیمات داشبورد مدیریتی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان..... ۱۳۹
شکل ۴–۲۵: نمودار فعالیت تنظیمات داشبورد مدیریتی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان ۱۴۰
شکل ۴–۲۶: تنظیمات مقادیر ویژگی‌های سایت در سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان..... ۱۴۱
شکل ۴–۲۷: نمودار فعالیت تنظیمات مقادیر ویژگی‌های سایت در سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان..... ۱۴۱
شکل ۴–۲۸: نمودار فعالیت تنظیمات دوره‌ی نگه‌داری اطلاعات در سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان..... ۱۴۲
شکل ۴–۲۹: نمونه ای از تنظیمات دوره‌ی نگه‌داری اطلاعات در سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان ۱۴۳

مقدمه

در این مرحله از پروژه، ابتدا الزامات فنی سخت‌افزاری و نرم‌افزاری سامانه‌ی جامع کیفیت توان تعیین شده و سپس ماژول‌های نرم‌افزاری موردنیاز سرور سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان برای گزارش‌دهی کیفیت توان و استخراج شاخص‌های ترکیبی و مدیریتی کیفیت توان طراحی می‌شود.

ماژول‌های موردنظر شامل موارد زیر است:

- ماژول جمع‌آوری و اکتساب داده
- ماژول ذخیره‌سازی داده
- ماژول پردازش، تجزیه‌وتحلیل داده و استخراج شاخص‌ها
- ماژول گزارش کیفیت توان

طراحی تمامی الگوریتم‌های ارائه‌شده در قالب UML صورت می‌گیرد. پس از طراحی ماژول‌ها، درنهایت رابط کاربری و داشبورد مدیریت نرم‌افزار برای دو سطح شرکت توزیع برق و شرکت توانیر طراحی می‌شود.

فصل اول: تعیین الزامات فنی نرم‌افزاری سامانه‌ی جامع پایش کیفیت

۱-۱-مقدمه

در این بخش، الزامات نرم‌افزاری موجود، برای طراحی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان بررسی می‌گردد. در ابتدا، به بررسی ساختارهای معماری نرم‌افزار پرداخته می شود، سپس، بانک‌های اطلاعاتی موجود در دنیا معرفی می‌گردد و ویژگی‌های بهترین بانک‌های اطلاعاتی بررسی شده و بانک اطلاعاتی پیشنهادی، برای سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان ارائه می شود. همچنین، سیستم‌عامل‌های موجود معرفی شده و پیشنهاد یک سیستم‌عامل بین دو سیستم‌عامل ویندوز و لینوکس ارائه می‌گردد.

زبان‌های برنامه‌نویسی مختلف نرم‌افزاری نیز معرفی شده و هرکدام بررسی می‌گردد. در انتها، دو زبان برنامه‌نویسی برای ایجاد سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان معرفی می‌گردد و روش‌های توسعه‌ی نرم‌افزاری متفاوت نیز ارائه می‌گردد.

الزامات امنیتی جهت جلوگیری از هک شدن و از دست رفتن اطلاعات نیز بررسی شده و نکات و دستورالعمل‌های مرتبط در این بخش معرفی می‌گردد.

۱-۲-ساختارهای معماری نرم‌افزاری

معماری نرم‌افزار یعنی ساختار و سازمان یک سیستم نرم‌افزاری که به‌منظور پشتیبانی از عملیات مشخص، بر روی سازمان‌دهی اجزاء متمرکز می‌باشد. در واقع اجزاء را در حوزه‌های مرتبط به هم گروه‌بندی می‌کند. دیگر حوزه‌های مرتبط به هم بر روی تبادل و تعامل با این حوزه متمرکز می‌شوند.

معماری نرم‌افزار در واقع انتخاب یک ساختار کلی برای پیاده سازی یک پروژه‌ی نرم‌افزاری بر مبنای مجموعه‌ای از نیازهای کاربری و تجاری یک سیستم نرم‌افزاری است تا هم بتوان کاربردهای موردنظر را پیاده‌سازی کرد و هم بتوان کیفیت نرم‌افزار، تولید و نگهداری آن را نیز بهینه کرد و سرعت بخشید. به عبارتی دیگر معماری نرم‌افزار یک برنامه یا سیستم محاسباتی، ساختار یا ساختارهای آن سیستم محاسباتی است که خصوصیات قابل‌رؤیت از بیرون، عناصر و ارتباطات بین آن‌ها را نشان می‌دهد.

ساختار مجموعه‌ای از المان‌ها یا مؤلفه‌ها است که از طریق رابطه‌هایی به هم مرتبط می‌شوند. هر سیستم نرم‌افزاری شامل ساختارهای مختلف معماری است که در طراحی، مستندسازی و تحلیل معماری نقش دارند [۱].

۱-۲-۱-ساختارهای ماژول[1]

برخی از ساختارها، سیستم نرم‌افزاری را به واحدهای پیاده‌سازی تقسیم می‌کنند که معمولاً آن‌ها را ماژول می‌نامند. البته این‌که چگونه این تقسیم انجام می شود وابسته به نوع پروژه است. اگر از مدل شیءگرا برای تحلیل استفاده شود خروجی را می‌توان از طریق کلاس دیاگرام حاصل شود. حتی می‌توان مجموعه‌ای از ماژول‌ها را در لایه تجمیع کرد و

[1] Module structures

ســـاختار ماژول جدیدی ایجاد کرد. معمولاً در پروژه‌های بزرگ هر تیم روی یک ماژول کار می‌کنند. ســـاختار ماژول اســتاتیک اســت و بر روی کارکرد ســیســتم متمرکز اســت. ســاختارهای ماژولی امکان پاسـخ به پرسـش‌هایی همچون مسـئولیت عملکردی هر ماژول، مجوز اسـتفاده از عناصـر نرم‌افزاری دیگر و وابسـتگی‌های سـاختار را فراهم می‌آورد. بررسی ساختارهای ماژولی سیستم روشی برای استدلال در مورد تغییرپذیری سیستم است. برخی از ساختارهای ماژول به شرح زیر هستند [۱].

- ساختار تجزیه[1]: واحدها، ماژول‌هایی هستند که با رابطه «یک زیرماژول» به یکدیگر مرتبط هستند که نشان می‌دهند چگونه ماژول‌های بزرگ‌تر به‌صورت بازگشتی به ماژول‌های کوچک‌تر تجزیه می‌شوند تا زمانی که به‌اندازه کافی کوچک باشند که به‌راحتی قابل‌درک باشند.

- ساختار استفاده[2]: واحدهای این ساختار ماژول‌ها، رویه‌ها و منابع رابط‌های ماژول‌ها هستند. واحدها از طریق رابطه‌ی "استفاده می‌کند از" به واحدهای دیگر مرتبط می‌شوند و منظور این است که صحت واحدی که از واحد دیگر استفاده می‌کند به صحت واحد استفاده‌شده بستگی دارد. این ساختار به مهندس سیستم اجازه می دهد که به‌راحتی قابلیت جدید را به سیستم اضافه کند که این امر یک توسعه تدریجی را امکان‌پذیر می‌کند.

- ساختار لایه‌ای[3]: ماژول‌ها در این ساختار لایه نامیده می‌شوند و از طریق واسط با هم ارتباط برقرار می‌کنند.

- ساختار کلاس[4]: واحدهای ماژول در این ساختار کلاس نامیده می‌شوند. رابطه‌ی بین ماژول‌ها "ارث می‌برد" یا "نمونه‌ای از" است.

۱-۲-۲-ساختارهای مؤلفه و اتصال[5]

این ساختار به ساختارهای تعاملی نیز شناخته می‌شود. ساختارهای دینامیک و پویایی هستند که بر روی شیوه تعامل مؤلفه‌ها به‌ویژه در زمان اجرا متمرکز هســتند. این ســاختارها به‌گونه‌ای کمک می‌کنند تا مؤلفه‌های اصــلی زمان اجرا و شیوه تعاملی، منابع مشترک اصلی داده و بخش‌هایی که می‌توانند به‌صورت موازی اجرا شوند را تبیین کنند. ساختارهای مبتنی بر مؤلفه و اتصال به شرح زیر هستند [۱]:

- فرآیند یا فرآیندهای ارتباطی[6]: مانند تمام ساختارهای مؤلفه و اتصال، این ساختار با ساختارهای مبتنی بر ماژول متعامد است و به جنبه‌های دینامیکی یک سیستم در حال اجرا می‌پردازد. واحدها در اینجا فرآیندها

[1] Decomposition

[2] Use

[3] Layered

[4] Class

[5] Component-and-Connector structures

[6] Process, or communicating processes

یا اتصالاتی هستند که توسط عملیات ارتباطی، همگام‌سازی و/یا حذف با یکدیگر مرتبط هستند. رابطه در این ساختار (و در تمام ساختارهای مؤلفه و اتصال) پیوست است که نشان می‌دهد چگونه اجزا و اتصالات به هم متصل می‌شوند. ساختار فرآیند برای کمک به مهندسی عملکرد اجرای سیستم و در دسترس‌بودن آن مهم است.

- همزمانی[1]: ساختار همزمانی به تشخیص فرصت‌های موازی‌سازی و به اشتراک‌گذاری منابع کمک می‌کند. واحدهای این ساختار مؤلفه‌ها و اتصال‌ها از نوع رشته‌های منطقی هستند. یک اتصال منطقی مجموعه‌ای از محاسبات پی‌درپی است که می‌تواند به اتصال فیزیکی جداگانه در فرآیند طراحی تخصیص داده شود. ساختار همزمانی باعث می‌شود که نیازمندی‌های اجرای همزمان شناسایی شود.

- مخزن یا داده‌ی مشترک[2]: این ساختار دربرگیرنده مؤلفه‌ها و اتصال‌هایی است که برای ایجاد، ذخیره و دسترسی به داده‌های پایدار مورداستفاده قرار می‌گیرند. این ساختار نشان می‌دهد که داده‌ها چگونه تولید و مصرف می‌شوند و همچنین به تضمین کارایی و یکپارچگی داده‌ها کمک می‌کند.

- سرویس‌گیرنده–سرویس‌دهنده[3]: ساختار سرویس‌گیرنده–سرویس‌دهنده برای تشریح سیستم‌هایی مناسب است که در آن تعدادی سرویس‌دهنده و سرویس‌گیرنده با یکدیگر جهت دستیابی به اهداف سیستم مشارکت می‌کنند. واحدها در این ساختار سرویس‌گیرنده‌ها و سرویس‌دهنده‌ها هستند و اتصالات قراردادهایی هستند که این واحدها از آن برای برقراری ارتباط و انجام کار سیستم استفاده می‌کنند. کاربرد این ساختار در جداسازی دغدغه‌ها برای توزیع‌پذیری فیزیکی و تنظیم بار کاری سیستم است.

- سرویس‌گرا[4] (SOA): واحدها در این ساختار سرویس هستند. سرویس‌ها اجزای توزیع‌شده با رابط‌های تعریف‌شده و مشخص هستند که پیغام‌های XML[5] را پردازش و تبادل می‌کنند. با رویکرد سرویس‌گرا می‌توان راه‌حل‌هایی ارائه داد که به مرز دامنه‌های سازمان، شرکت یا دپارتمان محدود نیستند. با استفاده از معماری سرویس‌گرا می‌توان در شرکتی که دارای سیستم‌ها و برنامه‌های کاربردی مختلف روی پلتفرم‌های متفاوت است، یک راه‌حل یکپارچه‌سازی با استقلال زیاد ساخت که جریان یکنواخت و ناهماهنگ کار را تضمین کند [۲].

---

[1] Concurrency

[2] Shared data, or repository

[3] Client-server

[4] Service Oriented Architecture

[5] Extensible Markup Language

۱-۲-۳-ساختارهای تخصیص[1]

ساختارهای مبتنی بر تخصیص به شرح زیر است [۱].

- استقرار[2]: عناصر ساختار استقرار موجودیت‌های نرم‌افزاری، سخت‌افزاری و مسیرهای ارتباطی هستند که نشان می‌دهند چگونه نرم‌افزار به عناصر ارتباطی و پردازنده‌ها انتساب شده است. در این ساختار، رابطه "تخصیص داده شده به" نشان می‌دهد واحدهای فیزیکی عناصر نرم‌افزاری به چه چیزی تخصیص داده شده‌اند و رابطه‌ی "منتقل‌شده به" نیز برای تخصیص پویا استفاده می‌شود. این نوع ساختار به مهندس سیستم کمک می‌کند که پیرامون کارایی، یکپارچگی داده‌ها، قابلیت دسترس‌پذیری و امنیت سیستم استدلال‌های لازم را انجام دهد.

- پیاده‌سازی[3]: این ساختار نشان می‌دهد چگونه عناصر نرم‌افزاری به ساختارهای فایل در طی فرآیند توسعه، به‌منظور فراهم آوردن یکپارچگی یا محیط کنترل پیکربندی سیستم نگاشت شده‌اند. این ساختار برای مدیریت فعالیت‌های توسعه و ساخت فرآیندها، حیاتی است.

- انتساب کار[4]: این ساختار برای تخصیص فعالیت‌های پیاده‌سازی و یکپارچگی به تیم‌های توسعه مناسب است. ساختار انتساب کار به کنترل عملکرد افراد کمک می‌کند و حتی مشخص می‌کند که تجارب موردنیاز هر تیم چه چیزی باید باشد تا بتواند کار را خوب تحویل دهند. همچنین برای پروژه‌های بزرگ توزیع‌شده که کار به تیم‌های مختلف واگذار می‌شود این ساختار کاربرد دارد.

۱-۲-۴-ساختار پیشنهادی معماری نرم‌افزار سامانه پایش کیفیت توان

انتخاب ساختار و طرح موردنظر، از میان ساختارهای مختلف موجود در معماری نرم‌افزار با مقایسه ساختارها و بررسی شرایط سیستم موردنظر امکان‌پذیر است. در جدول ۱-۱ ساختارهای مختلف نرم‌افزار با نوع عملکرد مقایسه شده است.

جدول ۱-۱: جدول مقایسه‌ای ساختارهای معماری نرم‌افزاری [۱]

ساختار نرم‌افزار	موارد استفاده
تجزیه	اختصاص منابع و ساختاردهی پروژه و برنامه‌ریزی، مخفی‌سازی اطلاعات، محصورسازی، کنترل پیکربندی
استفاده	مهندسی زیرمجموعه‌ها و گسترش‌ها
لایه	توسعه تدریجی، پیاده‌سازی سیستم‌ها بر پایه مفهوم ماشین مجازی

[1] Allocation structures

[2] Deployment

[3] Implementation

[4] Work assignment.

کلاس	طراحی سیستم‌های شیءگرا، توسعه‌ی سریع سیستم یا همان توسعه با استفاده از قالب‌های مشترک
فرآیند	تحلیل زمان‌بندی، تحلیل کارایی
هم‌زمانی	شناسایی محل‌هایی که رقابت منابع وجود دارد، محل‌هایی که اتصالات تقسیم شوند، به هم متصل شوند، ایجاد یا از بین روند.
مخزن داده	کارایی، یکپارچگی داده و قابلیت اصلاح
سرویس‌دهنده–سرویس گیرنده	عملیات توزیع‌شده، جداسازی دغدغه‌ها، تحلیل کارایی، توازن بار
سرویس‌گرا	سیستم‌های توزیع‌شده، یکپارچه‌سازی با استقلال زیاد
استقرار	تحلیل کارایی، قابلیت دسترس‌پذیری و امنیت
پیاده‌سازی	کنترل پیکربندی، یکپارچگی، فعالیت‌های آزمایشی
انتساب کار	مدیریت پروژه، استفاده‌ی بهتر از تجارب، مدیریت دارایی‌ها

با توجه به این‌که ماهیت سامانه‌ی پایش کیفیت توان مبتنی بر سیستم‌های توزیع‌شده است، همچنین معماری سامانه‌ی فهام بر پایه‌ی سرویس ا ست. پی شنهاد می شود که معماری نرم‌افزاری سامانه‌ی پایش کیفیت توان برمبنای سرویس انتخاب شود. دو ساختار سرویس‌دهنده–سرویس‌گیرنده و سرویس‌گرا بر اساس سرویس بنا شده‌اند. تفاوت این دو ساختار به این‌گونه است که اجزای شبکه در معماری سرویس‌دهنده–سرویس‌گیرنده بر اساس منابعی که ارائه می‌دهند مرتب می‌شوند و سرویس‌دهنده‌ها و سرویس‌گیرنده‌ها در نقش‌های مجزا تعریف می‌شوند. در معماری سرویس‌گرا، مجموعه‌ای از خدمات مختلف در د سترس هر جزئی قرار دارد تا برای د ستیابی به یک کار یا هدف خاص ا ستفاده شود. در معماری سرویس‌گرا هر جزئی قابلیت این را دارد که نقش سرویس‌گیرنده و سرویس‌دهنده را دا شته باشد ولی این بحث در مورد معماری سرویس‌گرا–سرویس‌دهنده صادق نیست.

با توجه به توضیحات فوق پیشنهاد می‌شود، سامانه‌ی پایش کیفیت توان بر اساس معماری سرویس‌گرا طراحی شود تا علاوه بر سرویس‌دهی به دیگر سامانه‌ها از سامانه‌های دیگر نیز سرویس بگیرد. علاوه بر موارد ذکرشده یکی از ویژگی‌های معماری سرویس گرا، این ا ست که در صورت درد سترس نبودن بخ شی از سرویس، نباید تمامی اقدامات متوقف شود و باقی بخش‌ها به کار خود ادامه خواهند داد. به‌عنوان‌مثال، اگر نقصی در سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان ایجاد گردد و باعث از د سترس خارج شدن اطلاعات MDM[1] کنتورهای MK6E گردد اما MDM کنتورهای فهام در دسترس باشد، سیستم به کار خود ادامه داده و اطلاعات کنتورهای فهام را برداشت خواهد کرد. این عمل، باعث افزایش قابلیت اطمینان سیستم خواهد شد.

[1] Metering Data Management

۱-۳-ساختار پایگاه داده

مفهوم پایگاه داده[1] از دهه ۱۹۶۰ برای کاهش مشکلات فزاینده در طراحی، ساخت و نگهداشت سیستم‌های اطلاعاتی (معمولاً با تعداد زیادی کاربرِ نهایی هم‌زمان و با تعداد زیادی داده مختلف) ایجاد شده است.

اولین کاربردهای اصطلاح پایگاه داده به ژوئن ۱۹۶۳ بازمی‌گردد، یعنی زمانی که شرکت System Development Corporation مسئولیت اجرایی یک طرح به نام «توسعه و مدیریت محاسباتی یک پایگاه داده‌ی مرکزی» را بر عهده گرفت. پایگاه داده به‌عنوان یک واژه‌ی واحد در اوایل دهه‌ی ۷۰ در اروپا و در اواخر دهه‌ی ۷۰ در خبرنامه‌های معتبر آمریکایی به کار رفت.

اولین سیستم مدیریت پایگاه داده در دهه‌ی ۶۰ گسترش یافت. از پیشگامان این شاخه چارلز بکمن است. مقالات بکمن این را نشان داد که فرضیات او کاربرد بسیار مؤثرتری برای دسترسی به وسایل ذخیره‌سازی را مهیا می‌کند. در آن زمان ها پردازش داده بر پایه کارت های منگنه و نوار های مغناطیسی بود. اولین محصول موفق برای میکروکامپیوترها dBASE بود که برای سیستم‌عامل‌های CP/M و PC-DOS/MS-DOS ساخته شد. در جریان سال ۱۹۸۰ پژوهش بر روی پایگاه‌های مدل توزیع‌شده و ماشین‌های پایگاهی[2] متمرکز شد، اما تأثیر کمی بر بازار گذاشت. در سال ۱۹۹۰ توجهات به‌طرف مدل شیءگرا جلب شد. این مدل جهت کنترل داده‌های مرکب لازم بود و به سادگی بر روی پایگاه داده‌های خاص، مهندسی داده (شامل مهندسی نرم‌افزار منابع) و داده‌های چندرسانه‌ای کار می‌کرد.

در سال ۲۰۰۰ نوآوری تازه‌ای رخ داد و پایگاه XML به وجود آمد. هدف این مدل از بین بردن تفاوت بین مستندات و داده‌ها است و کمک می‌کند که منابع اطلاعاتی چه ساخت‌یافته باشند یا نه در کنار هم قرار گیرند [۳].

پایگاه داده‌ها، بانک اطلاعاتی یا دادِگان به مجموعه‌ای از داده‌ها با ساختار منظم و سازمان‌یافته گفته می شود. به بیان دیگر بانک اطلاعاتی به مجموعه‌ای از اطلاعاتی می‌گویند که به‌صورت منظم و مرتب سازمان‌دهی و نگه‌داری می‌شود. پایگاه داده را به‌صورت خیلی ساده می‌توان به یک جدول تشبیه کرد که از آن برای سازمان‌دهی، جمع‌آوری، مرتب کردن و جستجوی اطلاعات و بررسی فرضیه‌های مختلف بر روی اطلاعات و روابط بین آن‌ها استفاده نمود [۴].

هر بانک اطلاعاتی شامل دو ساختار فیزیکی و منطقی است. ساختار فیزیکی، فایل‌های ذخیره شده بر روی هارد دیسک[3] است و ساختار منطقی نیز، دسترسی کاربران را به ساختار فیزیکی مقدور می‌سازد.

اطلاعات مدنظر در قسمت ساختار فیزیکی ذخیره می‌شود و لایه منطقی روی RAM و CPU قرار می‌گیرد اما لایه‌ی فیزیکی روی هارد دیسک بوده و برای دسترسی به هارد، حتماً باید از RAM و یا CPU استفاده کرد تا بتوان پردازش را انجام داد [۵].

---

[1] Database

[2] Database Machines

[3] Hard Disk

پایگاه داده انواع بسیار متنوعی دارد. چند پایگاه داده معروف عبارت‌اند از:

MySQL: پایگاه داده‌ی وب بسیار ساده و رایگان که کاربرد بالایی دارد.

SQLite: پایگاه داده‌ی کوچک و سبک که معمولاً در گوشی‌های تلفن همراه استفاده می‌شود.

Oracle: پایگاه داده‌ی تجاری و بزرگ که معمولاً برای بانک‌ها و سازمان‌های بزرگ استفاده می‌شود.

SQL Server: این پایگاه داده، در سیستم‌های ویندوزی استفاده می‌شود که تجاری به‌حساب می‌آیند.

طبیعتاً هر پایگاه داده‌ی فوق خواص خاص خود را دارد و بر اســـاس نیازی که در یک پروژه به پایگاه وجود دارد، سعی می‌شود از پایگاه داده‌ی مفید برای آن پروژه بهره برد.

در شکل ۱–۱، رتبه‌بندی ده پایگاه داده‌ی برتر در سال ۲۰۲۲ توسط سایت DB-Engines نشان داده شده است [۶].

Rank			DBMS	Database Model	Score		
Aug 2022	Jul 2022	Aug 2021			Aug 2022	Jul 2022	Aug 2021
1.	1.	1.	Oracle	Relational, Multi-model	1260.80	-19.50	-8.46
2.	2.	2.	MySQL	Relational, Multi-model	1202.85	+7.98	-35.37
3.	3.	3.	Microsoft SQL Server	Relational, Multi-model	944.96	+2.83	-28.39
4.	4.	4.	PostgreSQL	Relational, Multi-model	618.00	+2.13	+40.95
5.	5.	5.	MongoDB	Document, Multi-model	477.66	+4.68	-18.88
6.	6.	6.	Redis	Key-value, Multi-model	176.39	+2.77	+6.51
7.	7.	7.	IBM Db2	Relational, Multi-model	157.23	-3.99	-8.24
8.	8.	8.	Elasticsearch	Search engine, Multi-model	155.08	+0.75	-2.01
9.	9.	10.	Microsoft Access	Relational	146.50	+1.41	+31.66
10.	10.	9.	SQLite	Relational	138.87	+2.20	+9.06

شکل ۱–۱: رتبه‌بندی پایگاه‌های داده

۱–۳–۱–پایگاه داده MySQL

یک شرکت سوئدی به نام MySQL AB در ابتدا MySQL را در سال ۱۹۹۴ توسعه داد. شرکت فنی آمریکایی Sun Microsystems پس از خرید MySQL AB در ســـال ۲۰۰۸، مالکیت کامل را به دســـت آورد. Oracle Corporation، در سال ۲۰۱۰ خود Sun Microsystems را به دست آورد و MySQL از آن سال به بعد، متعلق به Oracle Corporation بود.

با توجه به تعریف کلی، MySQL یک سیستم مدیریت پایگاه داده رابطه‌ای منبع باز[1] مبتنی بر SQL[2] است. این برنامه برای برنامه‌های تحت‌وب طراحی و بهینه شـده اسـت و می‌تواند بر روی هر پلتفرمی اجرا شـود. با ظهور الزامات جدید و متفاوت با اینترنت، MySQL به پلتفرم انتخابی برای توســعه‌دهندگان وب و برنامه‌های کاربردی مبتنی بر وب تبدیل شد.

[1] Open source

[2] Structured Query Language

RDBMS[1] نرم‌افزار یا خدماتی است که برای ایجاد و مدیریت بانک‌های اطلاعاتی بر اساس مدل رابطه‌ای استفاده می‌شود. اگر نرم‌افزار از مدل داده‌های رابطه‌ای پشتیبانی نمی‌کند، فقط آن را DBMS[2] می‌نامند. کامپیوترهایی که نرم‌افزار RDBMS را نصب و راه‌اندازی می‌کنند، سرویس‌گیرنده نامیده می شوند و هر زمان که نیازمند دستر سی به داده‌ها باشند، به سرور RDBMS متصل می‌شوند [۷]. MySQL یکی از گزینه‌های مختلف نرم‌افزار RDBMS است.

مزایای استفاده از پایگاه داده‌ی MySQL به شرح زیر است:

- استفاده‌ی رایگان
- یادگیری آسان و سهولت پیکربندی
- کارایی بالا
- سازگاری با تمام سیستم‌عامل‌های ویندوزی و لینوکسی
- امنیت بالا
- در دسترس بودن کد اصلی

۱-۳-۲-پایگاه داده Oracle

این پایگاه داده از نوع پلتفرم متقابل[3] است؛ یعنی روی پلتفرم های مختلف قابل‌اجرا بوده و می‌تواند روی سخت‌افزارها و سیستم‌عامل‌های مختلف مثل ویندوز و یونیکس مورداستفاده قرار گیرد.

پایگاه داده اوراکل[4] به پشتوانه‌ی ساختار شبکه‌ای، امکان برقراری ارتباط بین اپلیکیشن‌های مختلف از پلتفرمی دیگر را فراهم می‌کند. برای مثال اپلیکیشنی که روی ویندوز اجرا شده است، می‌تواند به پایگاه داده اوراکلی که روی لینوکس قرار دارد متصل شود.

اوراکل همیشه آماده‌ی استقبال از تکنولوژی‌های جدید است. پایگاه داده این کمپانی جزو اولین‌هایی بود که از سیستم‌عامل لینوکس در آغاز عرضه (اوایل دهه‌ی ۹۰) پشتیبانی کرد.

این پایگاه داده با ACID سازگار است. به این ترتیب استفاده از اطلاعات به صورت یکپارچه و مطمئن ممکن می شود. پایگاه داده اوراکل با ACID سازگار است، یعنی [۸]:

- Atomicity: در فرآیندهای نقل‌وانتقال در پایگاه داده، داده‌ها به اجزای بسیار ریزی تبدیل می‌شوند تا انتقال راحت‌تر انجام شود.
- Consistency: برای این‌که یک پایگاه داده کارش را انجام دهد، باید از یک سری قوانین مشخص پیروی کند. اگر نقل و انتقالی در پایگاه داده انجام شود که تابع قوانین نباشد، کار به سرانجام نمی‌رسد.

[1] Relational Database Management System

[2] Database Management System

[3] Cross Platform

[4] Oracle

- Isolation: پردازش هم‌زمان پروسه‌ها بدون تأثیر یکی بر دیگری است.
- Durability: این قابلیت برای مقابله با مشکلات احتمالی مفید است. در پایگاه داده‌هایی که دارای قابلیت پایداری هستند، بعد از انجام هر عملیات انتقال، داده‌ها و اطلاعات ذخیره می‌شوند؛ بنابراین حتی اگر اتفاقاتی مانند قطع برق یا سیستم رخ دهد، مشکل خاصی به وجود نمی‌آید.

این پایگاه داده، دارای نسخه‌های مختلف خریداری شده و رایگان بوده که در هر بخش، امکانات مختلفی را داراست. کمپانی اوراکل در سه نسخه پایگاه داده‌هایش را به کاربران ارائه می‌کند.

پنج نسخه اصلی پایگاه داده‌های این کمپانی شناخته‌شده به شرح زیر هستند [۸]:

- **Enterprise Edition**

این نسخه، پرطرفدارترین و در عین حال گران‌ترین نسخه پایگاه داده اوراکل است که عموماً مورداستفاده سازمان‌ها و شرکت‌ها است و ۳ ویژگی زیر را دارد:

- نداشتن محدودیت در تعداد CPU .
- نبود محدودیت در اندازه‌ی حافظه و پایگاه داده.
- دارای ویژگی‌های بالای عملکردی و امنیتی که در نسخه‌های دیگر دیده نمی‌شود.

- **Standard Edition**

این نسخه محدودتر از نسخه Enterprise است. ویژگی‌های زیر از خصوصیات این نسخه هستند:

- محدود شدن تعداد CPU مورداستفاده به ۴ عدد.
- نبود محدودیت در اندازه‌ی حافظه و پایگاه داده.

- **Express Edition (XE)**

این نسخه به‌صورت رایگان در اختیار مشتریان قرار می‌گیرد و در مقایسه با دو نسخه قبلی محدودیت‌های بیش‌تری دارد.

- محدود شدن تعداد CPU مورداستفاده به ۲ عدد.
- حداکثر RAM قابل‌استفاده ۲ گیگابایت است و نهایتاً امکان ذخیره‌سازی ۱۲ گیگابایت داده وجود دارد.
- دارای ویژگی‌های بسیار محدود.

- **Personal Edition**

این نسخه ویژگی‌های نسخه Enterprise را دارا است با این تفاوت که ویژگی Oracle Real Application Clusters را ندارد.

- **Oracle Lite**

این نسخه برای موبایل طراحی شده است.

۱-۳-۳-ساختار پیشنهادی پایگاه داده

MySQL یکی از محبوب‌ترین پایگاه‌های داده‌ی منبع باز[1] است که استفاده از آن سریع و آسان است. این نرم‌افزار معمولاً در برنامه‌های مبتنی بر وب به همراه ا سکریپت‌های PHP[2] برای ایجاد برنامه‌های قدرتمند و پویا سمت سرور استفاده می‌شود.

اوراکل یک نرم‌افزار پیشرو است که توسط شرکت اوراکل تهیه و منتشر شده است. اوراکل یک سیستم مدیریت پایگاه داده شیء ا ست. این پایگاه داده یک پایگاه داده‌ی محا سباتی شبکه ا ست که رو شی مؤثر برای مدیریت داده‌ها ارائه می‌دهد [۸]. در جدول ۱-۲، تفاوت‌های پایگاه داده‌ی اوراکل و MySQL نوشته شده است.

جدول ۱-۲: تفاوت‌های اساسی بین پایگاه داده‌ی Oracle و MySQL [۹]

تفاوت‌های اساسی	Oracle	MySQL
نوع	اوراکل یک سیستم مدیریت پایگاه داده شیءگرا است.	MySQL یک سیستم مدیریتی پایگاه داده Open-Source Relational دارد.
هزینه	اوراکل دارای مجوز است اما می‌توانیم نسخه اکسپرس را دریافت کنیم. این نسخه از ویژگی های بسیار محدودی برخوردار است و فقط برای اهداف آموزشی و آزمایشی استفاده می‌شود.	رایگان و دارای مجوز عمومی GNU
مقیاس‌پذیری	اوراکل برای استقرار در مقیاس بزرگ بسیار پیشنهاد می‌شود.	هم برای مشاغل کوچک و هم برای مشاغل بزرگ توصیه می‌شود.
روش ذخیره	اوراکل از یک روش ذخیره پشتیبانی می‌کند که درون پایگاه داده تعبیه شده است. روش‌های ذخیره می‌توانند به‌طور مستقل یا توسط برخی از رویدادها صورت بگیرد.	تا نسخه ۵ هیچ‌گونه پشتیبانی از Stored Product وجود ندارد.
قابلیت تنظیم دستی	اوراکل به دلیل منبع بسته بودن قابل‌تنظیم نیست.	یک برنامه‌نویس می‌تواند MySQL را متناسب با نیازهای فردی مبتنی بر محیط تغییر دهد.
تقسیم‌بندی داده‌ها	اوراکل از پارتیشن‌بندی داده پشتیبانی نمی‌کند.	از پارتیشن‌های داده پشتیبانی نکرده و برای هر مجموعه پرونده‌های داده به سرور نیاز دارد.
امنیت	برای ورود به سیستم، به نام کاربری، کلمه‌ی عبور و تأیید اعتبار نیاز است.	برای ورود به سیستم، به نام کاربری، کلمه عبور و هاست نیاز دارد.

[1] Open source

[2] Personal Home Page

پایگاه داده Oracle و MySQL دو پایگاه قدرتمند جهت ذخیره اطلاعات هستند ولی در صورت داشتن مجموعه‌ی زیادی از داده‌ها، بهتر است از پایگاه داده‌ی اوراکل استفاده شود. درنتیجه، در سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان، به دلیل داشتن مجموعه‌ی زیادی از داده‌ها، بهتر است از پایگاه داده‌ی اوراکل استفاده شود.

۱-۴-سیستم‌عامل سرور

سیستمی است که نوعی مدیریت در ایجاد ارتباط بین سخت‌افزارهای محاسباتی و نرم‌افزارهای کاربردی دستگاه شما ایجاد می‌کند. درواقع سیستم‌عامل با تحلیل منابعی که یک قطعه‌ی نرم‌افزاری نیاز دارد و تحلیل دستورهای کامپیوتری عملیاتی را آغاز و فایل‌ها و منابع اطلاعاتی را مدیریت می‌کند. بنابراین سیستم‌عامل، اساسی‌ترین بخش سرور اختصاصی است. نصب سیستم‌عامل کاری است که باید توسط تأمین‌کننده‌ی میزبان[1] یا توسط تیم IT انجام شود؛ اما برخلاف سرویس‌های ابری که با یک سیستم‌عامل پیش‌فرض عرضه می‌شوند، سرورهای اختصاصی بدون سیستم عامل هستند و نوع آن را می‌توان انتخاب کرد [۱۰].

دو گزینه برای انتخاب سیستم‌عاملی که روی سرور تخصصی اجرا می‌شود، وجود دارد: ویندوز[2] یا لینوکس[3].

۱-۴-۱-سیستم‌عامل ویندوز

ویندوزهای مایکروسافت بر بازار سیستم‌عامل‌ها در طول سی سال گذشته، تسلط پیدا کرده‌اند و به‌طور تقریبی بر روی ۱,۵ میلیارد دستگاه در سراسر جهان راه‌اندازی شده‌اند.

نکته‌ی قابل‌توجه این است که راه‌اندازی یک سیستم تجاری IT با یک سرور اختصاصی و یک PC دو چیز کاملاً متفاوت است. اگر تیم IT متخصص نباشد، برای مدیریت منابع سرور، ویندوز گزینه‌ی مناسبی است درحالی‌که لینوکس تماماً دستورهای خطی و زبان سینتکس[4] می‌باشد. سرورهای ویندوز دارای رابط از راه دور دسکتاپ می‌باشند و اجازه مدیریت سرور را می‌دهد.

یکی از دلایل دیگر برای انتخاب سیستم‌عامل ویندوز، بهره‌مندی از حمایت اختصاصی مایکروسافت است.

۱-۴-۲-سیستم‌عامل لینوکس

دسترسی به آمار استفاده از پلتفرم‌های کد باز مثل لینوکس کار سختی است؛ به دلیل این‌که لینوکس به ورژن‌های مختلفی تقسیم می شود اما با این حال سیستم‌عامل‌های گوگل- اندروید بر پایه‌ی لینوکس هستند و همین امر رقابتی تنگاتنگ بین ویندوز و لینوکس در بازار سیستم‌عامل‌ها ایجاد می‌کند.

---

[1] Host

[2] Windows

[3] Linux

[4] Syntax

این سیستم‌عامل در سال ۱۹۷۰ توسط شرکت AT&T توسعه یافت و نقش بسیار مهمی را در توسعه‌ی معماری سرویس‌گیرنده-سرویس‌دهنده در دنیای جهانی وب ایفا کرد. لینوکس به‌عنوان یک معادل کد باز با Unix توسعه یافت و همچنان ۷۰ درصد میزبانی وب جهانی را در اختیار گرفته است.

یکی دیگر از ویژگی‌های مهم لینوکس به‌عنوان یک سیستم کد باز این است که مثل ویندوز تنها با یک نسخه‌ی رسمی عرضه نمی‌شود. توسعه‌دهندگان مختلفی می‌تواند کد باز لینوکس را دریافت کنند و با استفاده از آن سیستم‌عامل موردنظر را طراحی کنند.

۱-۴-۳-ساختار پیشنهادی سیستم‌عامل

با در نظر گرفتن همه‌ی شرایط بخش قبل و با توجه به جدول ۱-۳، درصورتی‌که هزینه‌ای که برای خرید لایسنس ویندوز می‌گردد، صرف آموزش و یادگیری لینوکس گردد، استفاده از لینوکس به‌صرفه‌تر و مفیدتر است و می‌توان بر قانون "دانش بهترین سرمایه است" صحه گذاشت.

جدول ۱-۳: تفاوت‌های سرور لینوکس و ویندوز [۱۰]

تفاوت‌ها	لینوکس	ویندوز
تخصص	استفاده از لینوکس نسبت به ویندوز نیاز به تخصص بالاتری دارد.	-
انعطاف‌پذیری و کنترل	بیش‌تر از ویندوز	-
شخصی‌سازی کامل	توانایی شخصی‌سازی کامل	-
سرعت عمل	بالا بودن سرعت عمل که بدون نیاز به Reboot خود را به‌طور فعال اصلاح کند.	-
هزینه	بسیاری از نسخه‌های لینوکس، رایگان است.	برای یک نسخه سرور، هزاران دلار است.
زبان برنامه‌نویسی	PHP, Python, Perl, … پیکربندی بهتری برای پشتیبانی از این زبان‌ها را دارد.	PHP, Python, Perl, … ASP, ASP.net
پایگاه داده سرور	در خصوص پایگاه داده اوراکل ازنظر کارایی، در دسترس بودن و امنیتی، پیشتاز است.	استفاده آسان
امنیت	نسبت به ویندوز بسیار بهتر است.	-
تشخیص خطا	تشخیص خطای بهتر	-
کنترل باگ‌ها	نصب RDBMS Patch بر روی لینوکس برای کنترل باگ‌ها بسیار آسان است.	-

۱-۵-زبان‌های برنامه‌نویسی

این بخش از گزارش به معرفی زبان‌های برنامه‌نویسی نرم‌افزار می‌پردازد. در ابتدا چندی از پرتقاضاترین زبان‌های برنامه‌نویسی سال ۲۰۲۲ معرفی می‌شود [۱۱] و پس از مقایسه، زبان پیشنهادی برای برنامه‌نویسی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان ارائه خواهد شد.

۱-۵-۱-زبان پایتون

پایتون[1] یک زبان برنامه‌نویسی شیءگرا، تفسیری، سطح بالا و همه‌منظوره است که خیدو فان روسوم[2] آن را طراحی کرده است. اولین بار در سال ۱۹۹۱ منتشر شده است. فلسفه‌ی اصلی طراحی پایتون «خوانایی بالای کد» است و نویسه های فا صله خالی در آن معنادار ه ستند و مکرر ا ستفاده می شوند. ساختار زبانی و دیدگاه شیءگرا در پایتون به‌گونه‌ای طراحی شده است که به برنامه‌نویس امکان نوشتن کد منطقی و واضح (بدون ابهام) را برای پروژه‌های کوچک و بزرگ می‌دهد. همچنین، پایتون در میان جوامع علمی از محبوبیت فوق‌العاده‌ای برخوردار اســـت، زیرا از آن برای محاســـبه معادلات پیچیده و تحلیل‌های داده استفاده می‌شود. [۱۲]

یادگیری این زبان بسیار ساده است و منابع یادگیری زیادی برای آن وجود دارد. همچنین پایتون دارای کتابخانه‌های بسیار زیادی است که باعث می‌شود بسیاری از امکانات را با تعداد خطوط کم‌تری از کد پیاده‌سازی کرد. این زبان برای کار با پایگاه داده‌های بزرگ نیز مناسب است. در موتور جستجوگر گوگل هم از این زبان استفاده شده است.

یکی از نکات منفی موجود در زبان پایتون، کندتر بودن سرعت اجرای کدها ن سبت به سایر زبان‌های برنامه‌نوی سی مثل جاوا ا ست. این کندی علل مختلفی دارد و از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به مفسری بودن و پویایی ذاتی پایتون ا شاره کرد.

۱-۵-۲-زبان PHP

PHP یک زبان برنامه‌نویسی شیءگرا و برای سرور است که برای طراحی وب توسعه یافته است، اما می‌توان از آن به‌عنوان یک زبان عمومی نیز اســـتفاده‌کرد. تا ژانویه‌ی ســـال ۲۰۱۳ میلادی PHP روی ۲۴۴ میلیون وب‌گاه و ۲۰۱ میلیون سرور وب ن صب شده ا ست. این زبان در سال ۱۹۹۵ میلادی تو سط را سموس لِردورف[3] ساخته شده و در حال حاضر توسعه آن بر عهده‌ی گروه پی‌اچ‌پی است. در ابتدا، پی‌اچ‌پی از عبارت صفحه خانگی شخصی[4] گرفته شده بود. اما اکنون این کلمه مخفف PHP: Hypertext Preprocessor به معنی پی‌اچ‌پی پیش‌پردازنده‌ی ابرمتن است [۱۳].

ساختار زبان PHP بسیار شبیه به زبان C می‌با شد، به همین دلیل از محبوبیت فراوانی برخوردار ا ست. این زبان بر روی تمامی پلتفرم‌های معروف مثل ویندوز، لینوکس و مکینتاش قابل‌اجرا ا ست. بالا بودن سرعت اجرای کد، یادگیری آ سان آن، رایگان بودن ابزار کار با PHP و وجود منابع آموز شی فراوان از دیگر مزیت‌های این زبان محسوب می شوند. بیش از ۷۸ در صد از وب سایت‌ها از PHP بهره برده‌اند و سایت‌های معروفی همچون فی سبوک و ویکی‌پدیا از PHP استفاده کرده‌اند. این زبان به‌طور گسترده در صنعت استفاده می‌شود و بازار کار نسبتاً خوبی در ایران دارد؛ اما زبان PHP

[1] Python

[2] Guido van Rossum

[3] Rasmus Lerdorf

[4] Personal Home Page

ماژولار نیست، بنابراین برای اپلیکیشن‌های بسیار گسترده و پیچیده چندان مناسب به نظر نمی‌رسد. از دیگر معایب این زبان می‌توان به مشکلات امنیتی و کمبود کتابخانه‌های تخصصی اشاره کرد.

۱-۵-۳-زبان جاوا

جاوا[1] زبان برنامه‌نویسی شیءگرا است که نخستین بار توسط جیمز گاسلینگ در شرکت سان‌مایکروسیستمز[2] ایجاد گردید و در سال ۱۹۹۱ به‌عنوان بخشی از پلتفرم جاوا منتشر شد. این زبان شیءگرا و همه‌منظوره، بسیار شبیه زبان C++ است؛ اما مدل شیءگرایی آسان‌تری دارد و از قابلیت‌های سطح پایین کمتری پشتیبانی می‌کند. یکی از قابلیت های بنیادین جاوا این است که مدیریت حافظه را به‌طور خودکار انجام می‌دهد. ضریب اطمینان عملکرد برنامه‌های نوشته‌شده به این زبان نسبت به زبان‌های نسل اول C بالاتر است. برنامه‌های جاوا به‌صورت بایت کد می‌شوند و توسط ماشین مجازی جاوا (JVM۳) به کدهای ماشین تبدیل و اجرا می‌شوند. در صورت وجود JVM مانند سایر زبان‌های مبتنی بر آن‌که وابسته به سیستم‌عامل خاصی نیستند، برنامه‌های نوشته شده به جاوا بر روی هر نوع سیستم‌عامل و هرگونه و سیله‌ی الکترونیکی قابل‌اجرا می‌باشند. شعار جاوا «یک‌بار بنویس و همه‌جا اجرا کن» که به همین ویژگی اشاره دارد. یعنی برنامه‌ی نوشته و کامپایل شده به زبان جاوا در کامپیوترهای مختلف با سخت‌افزارهای متفاوت اجرا می شود. جاوا برای نوشتن انواع برنامه‌های تحت وب، موبایل، دسکتاپ، سیستم‌های تعبیه، ربات و حتی برنامه‌های پیچیده‌تر کاربرد دارد [۱۴].

۱-۵-۴-زبان سی‌شارپ

زبان سی‌شارپ[4]، یک زبان برنامه‌نویسی چند الگویی و منظم شده مدل‌های تابعی، امری، عمومی، شیءگرا و جزگرا و در بستر دات‌نت می‌باشد. این زبان توسط مایکروسافت و جزئی از دات‌نت به وجود آمد و بعداً استانداردهای ECMA و ISO را نیز دربرگرفت. سی‌شارپ یکی از ۴۴ زبان برنامه‌نویسی است که توسط زمان اجرای زبان مشترک از چارچوب دات‌نت پشتیبانی و در همه جا به‌وسیله‌ی مایکروسافت ویژوال استودیو شناخته می‌شود [۱۵].

این زبان بر پایه‌ی سادگی، مدرن بودن، همه‌منظوره و شیءگرا بودن ساخته شد. آندرس هجلزبرگ[5]، طراح زبان برنامه‌نویسی دلفی، سرپرستی تیم طراحان زبان سی شارپ را برعهده داشت. این زبان دارای دستوری شیءگرا مشابه C++ است و به‌شدت از زبان‌های جاوا و دلفی تأثیر پذیرفته است. در کنار مزیت‌هایی که برای زبان سی‌شارپ بیان شد، معایبی را هم می‌توان برای آن برشمرد. مهم‌ترین این معایب به شرح زیر می‌باشند:

---

[1] Java

[2] Sun Microsystems

[3] Java Virtual Machine

[4] C#

[5] Anders Hejlsberg

۱. دستورات اصلی در زبان سی شارپ برگرفته از زبان C هستند، به همین دلیل این موضوع روند یادگیری آن را کمی سخت می‌کند. هر چند استفاده از این نرم‌افزار برای برنامه‌نویسان بسیار ساده‌تر و راحت‌تر از بسیاری دیگر از زبان‌ها است، اما با این وجود یادگیری آن برای افراد مبتدی کمی سخت خواهد بود.

۲. امکان ارتباط با api در سی‌شارپ بسیار ضعیف است؛

۳. این زبان برنامه‌نویسی به دلیل یکپارچگی که با Net. دارد، امکان استفاده در محیط‌های خارج از آن را نداشته و امکان استفاده مستقیم از زبان اسمبلی را هم ندارد.

۱-۵-۵-زبان برنامه‌نویسی پیشنهادی

با بررسی چهار زبان برنامه‌نویسی، زبان PHP به دلیل مشکلات امنیتی و کمبود کتابخانه‌های تخصصی و زبان سی‌شارپ به دلیل ارتباط ضعیف با API و یادگیری نسبتاً مشکل برای مبتدیان، توصیه نمی‌شود. بنابراین با مقایسه دو زبان جاوا و پایتون تصمیم‌گیری راحت‌تر خواهد شد.

مقایسه زبان جاوا و پایتون:

پایتون یک زبان برنامه‌نویسی داده‌ای پویا است، یعنی، نوع داده‌ای متغیرها، برحسب مقادیر آن‌ها و در زمان اجرا به‌طور خودکار توسط مفسر[1] مشخص می‌شوند. برخلاف پایتون، زبان برنامه‌نویسی جاوا، یک زبان برنامه‌نویسی با نوع‌های داده‌ای ایستا[2] است، یعنی نوع داده‌ای متغیرها، باید هنگام تعریف آن‌ها در برنامه مشخص شوند. این تفاوت باعث سادگی زبان پایتون در هنگام کدنویسی و سرعت بالای زبان جاوا در اجرا می‌شود.

هر دو زبان پایتون و جاوا درزمینه‌ی توسعه backend موردا ستفاده قرار می‌گیرند. backend در واقع بخش سمت سرور در پروژه‌های نرم‌افزاری وب می‌باشد. نوشتن backend شخصی به‌گونه‌ای که از ابتدا نوشته شود و تمام نیازهای طراحی و امنیت را برطرف کند، بسیار سخت و طاقت فرسا ست. به همین دلیل برنامه‌نویسان پایتون و جاوا برای این حوزه چارچوب‌هایی از پیش تعریف‌شده ساخته‌اند که به آن‌ها فریمورک[3] می‌گویند. در زبان پایتون و جاوا فریمورک‌های قدرتمند برای کار در زمینه backend نوشته شده است، برای نمونه می‌توان به فریمورک‌های Django برای پایتون و Springبرای جاوا اشاره کرد.

در انتها چنانچه سادگی یادگیری زبان برنامه‌نویسی مهم است، زبان پایتون پیشنهاد می‌شود. این زبان بسیار شبیه به زبان انگلیسی است و دانشگاه‌های سراسر جهان در رشته‌های مختلف آن را آموزش می‌دهند و از آن استفاده می‌کنند. ولی اگر عملکرد سریع و سازمان‌یافته مدنظر باشد زبان جاوا پیشنهاد می‌شود.

[1] Interpreter

[2] Static

[3] Framework

۱-۶-فرآیند توسعه نرم‌افزار

چابک[1] مجموعه‌ای از ارزش‌ها و اصول جهت توسعه نرم‌افزارهای کارا توسط تیم‌های خودسازمانده است. ارزش‌ها و اصول چابک در سال ۲۰۰۱ توسط ۱۷ نفر از اساتید معتبر جهانی صنعت توسعه نرم‌افزار طی یک بیانیه با عنوان بیانیه‌ی توسعه چابک تنظیم و ارائه گردید. اساس و هدف این اصول و ارزش‌ها ارائه نرم‌افزار کارا به مشتری است و بر ۱۲ اصل استوار است [۱۶]:

- رضایت مشتری از طریق تحویل زود و مداومِ نرم‌افزار مفید؛
- استقبال از تغییر نیازمندی‌ها، حتی در اواخر توسعه؛
- تحویل زودهنگام نرم‌افزار قابل‌استفاده (هفتگی به‌جای ماهانه)؛
- نرم‌افزار قابل‌استفاده اصلی‌ترین معیار سنجش پیشرفت است؛
- توسعه‌ی پایدار که قادر به حفظ سرعت ثابت است؛
- همکاری نزدیک و روزانه بین افراد کسب‌وکار و تیم توسعه؛
- گفتگوی رودررو بهترین شکل ارتباطات است (محل مشترک)؛
- پروژه‌ها در اطراف افراد باانگیزه که باید به آن‌ها اعتماد کرد، شکل می‌گیرند؛
- توجه مستمر به برتری فنی و طراحی خوب؛
- سادگی– هنر به حداکثر رساندن کارهای انجام‌نشده– ضروری است؛
- بهترین معماری‌ها، نیازمندی‌ها و طراحی‌ها از تیم‌های خودسازمان‌ده پدیدار می‌شوند؛
- در فواصل منظم تیم بر چگونگی مؤثرتر شدن تأمل و تفکر می‌نماید و سپس رفتار خود را بر اساس بازتاب این تفکر تنظیم و هم‌سو می‌کند.

متدولوژی Agile، مجموعه روش‌هایی است که باعث می‌شود تا نرم‌افزار تولیدشده کاملاً با نیازهای مشتریان مطابقت داشته باشد. در این روش محصول به‌صورت فازبندی به مشتری تحویل داده می‌شود. درواقع مشتری با گروه پروژه، به‌طور کامل در ارتباط است. از دیدگاه این متدولوژی، مشتری یکی از مهم‌ترین افراد در تولید پروژه است، چراکه پروژه برای مشتری است و تنها کسی است که از نیازمندی‌های واقعی نرم‌افزار مطلع است. درنهایت باید گفت که محصول نهایی دقیقاً همان چیزی خواهد بود که مدنظر اوست.

در سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان، این فازها به شرح زیر است:

۱- تغییر تنظیمات مرتبط با کیفیت توان کنتورها و MDM در یک شرکت توزیع (مثلاً شرکت توزیع خراسان)

۲- دریافت اطلاعات کنتورهای فهام توزیع موردنظر و ذخیره در پایگاه داده‌ی پایش کیفیت توان

۳- راه‌اندازی قسمت دانلود اطلاعات خام کنتورهای توزیع موردنظر در سایت سامانه‌ی پایش کیفیت توان

[1] Agile

۴- پیاده‌سازی منوی تنظیمات در داشبورد مدیریتی در سامانه‌ی پایش کیفیت توان

۵- اضافه کردن منوی داشبورد مدیریتی و محاسبه‌ی شاخص تجمیعی

۶- افزودن همه‌ی کنتورهای فهام به سامانه‌ی پایش کیفیت توان

۷- افزودن کنتورهای مدیریت شبکه

۸- آزمون سامانه و تحویل نهایی و آموزش به کاربران اصلی

۹- انتشار نسخه‌ی نهایی سامانه

در ادامه سه متدولوژی توسعه نرم‌افزار معرفی شده است که هر متدولوژی شامل فازهایی برای تعریف و انجام پروژه‌های نرم‌افزاری است.

۱-۶-۱-متدولوژی CDM[1]

این متدولوژی برای درک درست و دقیق از نیازمندی‌های موجود برای رسیدن به یک نرم‌افزار کامل بوده و برای پروژه‌های متوسط و بزرگ تدوین شده است. البته برای پروژه‌های کوچک‌تر نیز قابل‌استفاده می‌باشد.

این متدولوژی دارای شش فاز بوده که به ترتیب به‌صورت زیر است [۱۷].

فاز تعریف: این فاز برای تعیین نیازمندی‌های سیستم بوده و در بالاترین سطح اهمیت قرار دارد. با کمک این فاز می‌توان به اهداف تعریف‌شده برای سیستم مدنظر رسید.

فاز تحلیل: در این فاز، نیازمندی‌های تفصیلی برای سیستم کاربردی کامپیوتری، تنظیم می‌شود و بررسی می‌گردد.

فاز طراحی: گرفتن نیازمندی‌ها از فاز تحلیل و تبدیل آن‌ها به مشخصات تفصیلی سیستم است.

فاز ساخت: در این مرحله تبدیل سیستم مدنظر به کد و تست آن جهت صحیح کارکردن است.

فاز انتقال: نصب سیستم کاربردی، آماده سازی پرسنل مشتری برای استفاده و راهبری سیستم و بهره‌برداری از آن است.

فاز بهره‌برداری: پشتیبانی از کاربردها، اطمینان از اجرای روان کاربردها و طرح‌ریزی برای توسعه‌های کارکردی آن‌ها.

همچنین هر فاز دارای فرآیندهایی است که شامل تعریف نیازمندی‌های کسب‌وکار، بررسی سیستم‌های موجود، معماری فنی، طراحی و ساخت پایگاه داده، تبدیل داده‌ها، مستندسازی، تست، آموزش، انتقال و پشتیبانی بعدی سیستم است.

در موارد زیر از متدولوژی CDM استفاده می‌شود [۱۷]:

- برای پروژه‌هایی با زمان تحویل ثابت.
- برای پروژه‌هایی که طول پروژه بین ۳ الی ۳۶ ماه زمان می‌برد.
- با هر مقیاس، اندازه و پیچیدگی پروژه قابل‌استفاده باشد.

[1] Custom Development Method

- در پروژه‌هایی که نیازهای سازمان بعد از تحلیل مشخص و غیرقابل تغییر باشد.
- وجود مقدار بودجه‌ی معین برای پروژه.
- قانونی بودن ارتباطات و وجود قوانین رسمی

۱-۶-۲-متدولوژی RUP[1]

این متدولوژی، یک فرآیند توسعه نرم‌افزار است. هدف آن اطمینان از تولید یک نرم‌افزار با کیفیت بالا بر اساس بودجه تعیین‌شده بوده که پاسخ‌گوی نیاز کاربران باشد. این فرآیند، توسط نرم‌افزار Rational توسعه و نگه‌داری می‌شود و راهنمای چگونگی استفاده مؤثر از زبان UML است.

متدولوژی RUP را به دلیل انعطاف‌پذیری مناسبش در انواع سازمان‌ها با ابعاد کوچک یا بزرگ و در هر نوع پروژه‌ای می‌توان استفاده کرد. با توجه به پروژه نقش‌ها را تعریف می‌کند، وظایف را بر حسب صلاحیت‌ها به هر بخش محول می‌کند و تمام این موارد را با استفاده از ابزارهایی مثل نمودار، گزارش، کد و ... به نحو احسن اداره می‌کند.

تولید یک محصول نرم‌افزاری در RUP شامل چهار فاز است. البته میزان استفاده از نیروی انسانی و زمان صرف شده در هر فاز متفاوت است [۱۸].

فاز اول Inception: این فاز چه در توسعه و چه در تولید نرم‌افزار اهمیت ویژه‌ای دارد. شامل به‌دست آوردن دید عملیاتی، امکان‌سنجی، بررسی نیازمندی‌ها و به دست آوردن محدوده‌ی نرم‌افزاری پروژه و محدودیت‌های آن است.

فاز دوم Elaboration: در این بخش ما اطمینان حاصل می‌کنیم که معماری، نیازمندی‌ها و طرح‌ها به‌اندازه‌ی کافی پایدارند و ریسک‌ها به‌اندازه‌ی کافی کاهش یافته‌اند. به‌طوری‌که بتوان هزینه و زمان‌بندی لازم برای تکمیل تولید نرم‌افزار را پیش‌بینی کرد.

فاز سوم Construction: فاز ساخت درواقع به‌نوعی یک فرآیند ساخت است که در آن تأکید بر مدیریت منابع و کنترل عملیات به‌منظور بهینه سازی هزینه‌ها، زمان‌بندی‌ها و کیفیت است. به‌علاوه شامل کامل کردن تحلیل، طراحی، تولید و تست کارایی موردنیاز نیز هست.

فاز چهارم Transition: در این فاز، بخش زیادی از تمرکز بر این است که تضمین نماید نرم‌افزار برای کاربران نهایی آماده شده است یا خیر. همچنین این فاز می‌تواند به چندین تکرار تقسیم شود و شامل تست کردن محصول برای آماده‌سازی جهت انتشار و ایجاد تنظیمات کوچک بر اساس بازخورد کاربران باشد.

مزایای اصلی متدولوژی RUP به شرح زیر است:

به‌راحتی ریسک‌ها را حل‌وفصل می‌کند.

فرآیند RUP معمولاً به حل‌وفصل ریسک پروژه‌ها کمک می‌کند تا اطمینان حاصل شود که مشتری‌ها در راستای موارد موردنیاز خود قرار گرفته‌اند. علاوه بر این، منابع کمتری برای ادغام فرایندها در توسعه نرم‌افزارها استفاده می‌شود.

[1] Rational Unified Process

تغییرات را کنترل می‌کند.

این فرآیند، هماهنگ سازی اجزای مختلف پروژه که توسط تیم‌های مختلف انجام می شود را آسان‌تر می‌کند. با این حال، باید اطمینان حاصل شود که تغییرات را می‌توان به‌راحتی کنترل کرد.

دربرگیرنده‌ی الگوهای انعطاف‌پذیری است.

تو سعه‌ی نرم‌افزارها به مدیران این فر صت را می‌دهد تا از فرآیندهای ر سیدگی به م شکلات رایج، مجدد ا ستفاده کنند. از آنجایی که پروژه‌ها مشـــابه هم نیســـتند، امکان تغییر فرآیندهای خاص به‌منظور رســـیدگی به نیازهای پروژه، راه‌حلی کارآمد خواهد بود.

پروژه‌ی کارآمدتری را تحویل می‌دهد.

در RUP، فرآیند تحویل کارآمد ا ست و به مدیران پروژه فر صتی برای برنامه‌ریزی و شروع پروژه را می‌دهد. فرآیند توسعه، منابع موردنیاز کل پروژه را در اختیار مدیران می‌گذارد و بهترین شیوه‌هایی که در جهان پذیرفته شده است را در طول پروژه استفاده می‌کند.

از توسعه تکرارشونده حمایت می‌کند.

سیستم تو سعه نرم‌افزار RUP، در مرحله‌ای ا ست که اطمینان می‌دهد در هر فرآیند، تکرارها قابل‌اجرا هستند. البته نمی‌توان گفت فرآیند تکرار همیشه با موفقیت در سازمان‌ها ا ستفاده شده ا ست. بسیاری از برنامه‌نویسان این روش را آ شفته و پیچیده دان ستند. از سوی دیگر، پروژه‌هایی که نیازمند فناوری جدیدی ه ستند، به شما اجازه ا ستفاده مجدد فرآیندها و یا اجزاء را نمی‌دهد.

۱-۶-۳-متدولوژی SCRUM

ا سکرام یک روش گروهی برای تولید و تو سعه نرم‌افزار ا ست. این متدولوژی یک مدل تکرار[1] از متدولوژی Agile برای حل مسائل پیچیده است. با اسکرام این امکان وجود خواهد داشت که مسائل پیچیده به‌راحتی مدیریت گردد.

در واقع اسکرام یک فرآیند و یا تکنیک تولید محصول نیست، بلکه چارچوبی است که به‌وسیله آن می‌توان مدیریت تولید محصـــول را بهینه نمود. این متدولوژی ســـاده و آســـان اســـت و همه می‌توانند به‌راحتی قوانین موجود در آن را فراگرفته و به کار گیرند، اما تسلط کامل به اسکرام معمولاً دشوار است [۱۹].

در ادامه به چند مفهوم در متدولوژی اسکرام پرداخته می‌شود.

ا سپرینت[2]: ه سته‌ی ا صلی ا سکرام را ا سپرینت ت شکیل می‌دهد. در متدولوژی‌های تکرار شونده دوره‌های زمانی تکراری وجود دارد که در این دوره‌ها به‌تدریج، محصول کامل می‌گردد. بدین صورت که در تولید یک محصول، تعدادی تکرار در نظر گرفته می‌شـــود که در پایان دوره‌ی زمانی هر تکرار، یک محصـــول قابل‌ارائه وجود دارد. به این دوره‌های

[1] iterative

[2] Sprint

زمانی تکرار شونده در ا سکرام ا سپرینت می‌گویند. در پایان هر ا سپرینت، مح صول کامل‌تر شده و درنهایت مح صول نهایی تولید می گردد. هر اسپرینت دارای تعریفی است که در آن باید مشخص شده باشد که چه چیزی قرار است ساخته شود، نیازمندی‌ها، راهنمای ساخت و محصول خروجی نیز باید مشخص باشند.

سند محصول[1]: سند محصول در ابتدای لیست قرار گرفته و باید توسط صاحب محصول یا مدیر محصول انجام شود. این لیستی پویا از ویژگی‌ها، الزامات، پیشرفت‌ها و ا صلاحاتی ا ست که به‌عنوان ورودی سند مح صول ا سپرینت عمل می‌کنند. این در واقع لیستی از تکالیف یا کارهایی است که تیم باید انجام دهد. سند محصول مدام بازبینی و اولویت‌بندی مجدد می‌شود و توسط صاحب محصول نگه‌داری می‌شود.

سند اسپرینت[2]: سند اسپرینت لیستی از آیتم‌ها، داستان‌های کاربران یا رفع اشکالات است که توسط تیم توسعه برای اجرا در چرخه اسپرینت فعلی انتخاب شده است. پیش از هر اسپیرینت، در جلسه‌ی برنامه‌ریزی اسپرینت تیم انتخاب می‌کند کدام آیتم از سند محصول بر روی ا سپرینت کار خواهد کرد. سند ا سپرینت می‌تواند انعطاف‌پذیر با شد و در طول اسپرینت تکامل یابد.

معمولاً تعداد اعضای تیم اسکرام ۲+/–۷ نفر است و هیچ رهبری برای تفویض وظایف یا تصمیم‌گیری در خصوص نحوه‌ی حل م شکلات ندارد. تیم به‌عنوان یک واحد ت صمیم می‌گیرد که چطور م سائل را پی گرفته و م شکلات را حل کند. هر یک از اعضای تیم ا سکرام بخش جدایی‌ناپذیری از راه‌حل هستند و انتظار می‌رود از ابتدا تا انتهای محصول را پیگیری و به انجام برسانند. نقش‌های عمده در اسکرام عبارت‌اند از:

Scrum Master: یک تسهیل‌گر می‌باشد که وظیفه‌ی نگهداری و حفظ فرآیند را برعهده دارد.

Product Owner: که نماینده ذی‌نفعان پروژه و تجارت است.

development team: افراد این تیم در چارچوب قوانین اسکرام، به تولید آنچه صاحب پروژه درخواست کرده ا ست، می‌پردازند. تعداد اعضای تیم تولید نه باید آن‌قدر کم با شد که همکاری گروهی و کار تیمی بی‌معنا شود و نه آن قدر زیاد باشد که هماهنگی بین اعضای تیم تبدیل به امری دشوار و وقت‌گیر گردد.

تعریف هر نوع نقش یا سمت به‌جز سه نقش گفته‌شده در ا سکرام ممنوع است. به‌عنوان‌مثال اعضای تیم نمی‌توانند سمت‌های متفاوتی داشته باشند.

تفاوت روش اسکرام و RUP بدین صورت است که هر دو روش از سری روش‌های چابک هستند و در فعالیت‌های پروژه از رویکردی تکرارشونده استفاده می‌شود. با این حال، متدولوژی RUP خواستار یک تعریف رسمی از هدف و نقاط عطف پروژه به همراه تاریخ‌های خاص ا ست. ولی روش ا سکرام از سند مح صول به‌جای هدف ا ستفاده می‌کند و این ا جازه را می‌د هد تا در پا یان هر تکرار (معمولاً هر ۴ هفته) دو باره تعریف شوند. علاوه بر این، چر خه‌ی عمر پروژه‌های RUP به ۴ فاز ا صلی (آغازین، تحلیل جزئیات، ساخت، انتقال) تقسیم می‌شود. این روش، مشوق جریان‌های

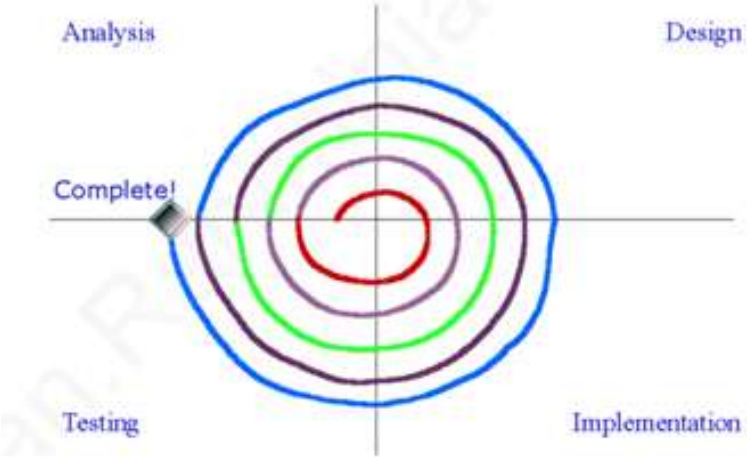
[1] Product Backlog

[2] Sprint Backlog

کاری هم‌زمان در سراسر چرخه است. در این روش، برخی فعالیت‌ها در طول برخی مراحل به اوج خود می‌رسد (به‌عنوان‌مثال: تجزیه‌وتحلیل نیازمندی ها در مرحله‌ی تحلیل جزئیات افزایش می‌یابد.(در مقابل، اسکرام حکم چرخه عمر «سنتی» متناسب با یک تکرار را دارد.) به‌عبارت‌دیگر، برای هر تکرار یک حجم کاری در یک زمان تعیین می‌شود، سپس کل چرخه در یک تکرار رخ می دهد (به‌عنوان‌مثال: الزامات موردنیاز برای یکی از ویژگی‌های خاص جمع‌آوری می‌شود، مستند به‌عنوان یک داستان کاربر است که بعد از آن کدگذاری و سپس تست و در آخر، برای کاربر ارائه می‌شود.)

۱-۶-۴-متدولوژی پیشنهادی توسعه نرم‌افزار

در این پروژه، متدولوژی پیشنهادی توسعه نرم‌افزار، متدولوژی RUP می‌باشد که راهنمای کاملی برای چگونگی استفاده از زبان UML نیز بوده و همان‌طور که در بخش قبل ذکر شد، شامل چهار فاز است. هر فاز مانند شکل ۱-۲ به صورت جداگانه به حالت Agile پیش می‌رود.



شکل ۱-۲: متدولوژی RUP

۱-۷-پردازش‌های لبه‌ای[1]

به دلیل عدم تمرکز داده های کنتورهای فهام در یک MDM نیاز است یک رویکرد مناسب جهت انجام پردازش‌های کیفیت توان در پیش‌گرفته شود. به‌طور خاص در این رویکرد، نباید داده‌های خام MDM به هسته‌ی مرکزی نرم‌افزار منتقل شود (چون این امر تبعات امنیتی گ سترده‌ای در پی دارد)، بلکه پردازش‌ها باید در محل شرکت توزیع موردنظر (که د ستر سی امن به داده دارد) صورت پذیرد. با توجه به این نکات بای ستی رویکرد پردازش لبه‌ای در پیاده‌سازی نرم‌افزار در پی گرفته شود.

[1] Edge computing

پردازش لبه‌ای رویکردی جدید در پردازش ابری، با ویژگی هایی مانند کاهش تأخیر برنامه های تعاملی، کاهش ازدحام شبکه و افزایش مقیاس‌پذیری زیرساخت است. همه‌ی دستگاه‌های موجود اعم از کارگزارهای کوچک، مسیریاب‌های شبکه، مدخل‌ها[1]، نقاط دسترسی[2]، آنتن‌های فرستنده–گیرنده شبکه‌ی تلفن همراه و حتی تلفن‌های همراه می‌توانند یک گره پردازشی در رویکرد پردازش لبه‌ای باشند. در رویکرد پردازش لبه‌ای، حجم چشم‌گیری از منابع پرداز شی و ذخیره سازی در نزدیکی د ستگاه‌های کاربر و حسگرهای محیطی قرار می‌گیرند. به‌طور کلی پردازش لبه‌ای بیش‌تر از آن‌که جایگزین پردازش ابری باشد، تلاشی برای گسترش و توانمندسازی آن است [۲۰].

۱-۷-۱-معماری پردازش لبه‌ای

قبل از پیدایش مفهوم پردازش لبه‌ای در اینترنت اشیا، در اکثر کاربردهای مبتنی بر ابر مرکزی، برنامه به دو بخش کار و کارگزار تقسیم می‌گردید. به‌عبارت‌دیگر، تنها دو سطح پرداز شی با قدرت متفاوت در معماری سنتی پردازش ابری وجود دا شت. د ستگاه‌های انتهایی واقع در سطح اول، با توجه به توان پرداز شی خود قسمتی از اجرای برنامه را برعهده می‌گرفتند و ابر مرکزی با توان ذخیره‌سازی و پردازشی بالا، در سطح دوم قرار داشت.

م شکل ا صلی این معماری در بسیاری از کاربردها، توان پرداز شی ناکافی د ستگاه‌های سطح اول و هزینه‌ی بالای دسترسی به ابر از جهت تأخیر و پهنای باند موردنیاز بود. با ظهور رویکرد پردازش لبه‌ای و ایجاد سطح دیگری از قدرت پرداز شی در بین د ستگاه‌های کاربر و ابر مرکزی، این نیازها تا حد منا سبی پا سخ داده شدند. از این‌رو، در بسیاری از کاربردها مانند اینترنت اشیا به استفاده از این معماری جدید روی آورده شد.

در نگاه اول، پردازش لبه‌ای معماری سه سطحی را به ذهن متواتر می‌کند. با این حال، در بسیاری از مقالاتی که همچنان بر معماری پردازش ابری استوار هستند، از مفهوم پردازش لبه‌ای یاد می‌شود. بنا بر فرض این مقالات، دستگاه‌های انتهایی تنها وظیفه‌ی تولید داده را برعهده نداشته و در صورت امکان پردازش داده‌ی تولیدشده را نیز انجام می‌دهند. بنابراین می‌توان آن‌ها را به‌عنوان گره پردازش در نظر گرفت. با توجه به افزایش توان پردازشی دستگاه‌های تلفن همراه، این دیدگاه منطقی و عملی به نظر می‌ر سد. لازم به ذکر ا ست که این معماری دو سطحی با در نظر گرفتن دستگاه‌های متحرک مانند تلفن همراه در سطح اول آن، همان پردازش ابری متحرک با دیدگاه قدیمی است.

پردازش در م سیر[3] مفهومی گ سترش‌یافته از پردازش لبه‌ای ا ست که معماری آن چند سطح ا ست. در این مفهوم، به‌جای وجود تنها یک کارگزار ابری، کارگزاران متعددی برای خدمت‌رسانی آماده هستند که در فواصل جغرافیایی متفاوتی نسبت به کاربر نهایی قرار دارند. هرچه این کارگزاران به کاربران نهایی نزدیک‌تر باشند، قدرت پردازشی و تأخیر کمتری دارند. برنامه‌سازان با توجه به محتویات و ماهیت برنامه می‌توانند تصمیم بگیرند که برنامه با همکاری کدام کارگزار اجرا شود. امکان اجرا کردن بخش‌های مختلف یک برنامه‌ی واحد به‌صورت مشارکتی بر روی کارگزاران مختلف

[1] Gateway

[2] Access point

[3] Path computing

نیز وجود دارد. با بهره‌مندی از این معماری، در کاربردهایی با هدف کاهش تأخیر، برنامه بر روی نزدیک‌ترین کارگزاری قرار می‌گیرد که قدرت پردازشی لازم را دارد. در مقابل، در کاربردهایی با هدف افزایش کارایی، دورترین کارگزاری برای اجرای برنامه انتخاب می‌شود که تأخیرش بیش از آستانه تحمل تأخیر سامانه نیست [۲۱].

۱-۷-۲-مزایای استفاده از پردازش لبه‌ای

پردازش لبه‌ای می‌تواند ویژگی‌هایی نظیر زمان اجرا، تأخیر ارتباط و ازدحام کم‌تر در شـــبکه و از طرف دیگر قدرت پردازشـــی بالاتر را به قابلیت‌های پردازش ابری اضـــافه کند. در این بخش ویژگی‌های اصـــلی پردازش لبه‌ای با توجه به کاربردهای مختلف معرفی می‌شوند.

- بهبود ترافیک شبکه گسترده[1]

با استفاده از پردازش لبه‌ای، در بسیاری از کاربردها می‌توان حجم داده‌ی ارسالی به ابر مرکزی را کاهش داد. به عبارتی دیگر با استفاده از پردازش ابری، می‌توان داده را به‌صورت محلی پردازش و از افزایش ترافیک شبکه جلوگیری کرد.

- بهبود خدمت‌رسانی در همه‌ی نقاط

به‌طور معمول، ارتباطات بین نقاط دورافتاده و شبکه‌ی جهانی اینترنت از کیفیت بالایی برخوردار نیست. به همین دلیل، ارسال داده‌های بزرگ و یا داده با نرخ بالا، می‌تواند مدت‌زمان بسیاری به طول انجامد که این تأخیر در بسیاری از کاربردها قابل‌قبول نیست.

- کاهش تأخیر ارتباط

در برخی کاربردها، برنامه‌ها نیاز به پردازش داده با تأخیر کم دارند. درنتیجه، به دلیل تأخیر فراوان انتقال داده به ابر مرکزی، امکان انجام تمام پردازش توسط ابر وجود ندارد. بازی‌های برخط گروهی، خودروهای فاقد راننده یا خودران، کاربردهای واقعیت افزوده، واقعیت مجازی و کنترل‌کننده‌های صنعتی بی‌درنگ ازجمله این کاربردها هستند.

- مقیاس‌پذیری

در مقایسه با زیرساخت وسیع، متمرکز و پرهزینه مراکز داده برای پردازش ابری، شبکه‌ی پردازش لبه‌ای و گره‌های آن می‌توانند سریع‌تر پیکربندی شده و در چرخه‌ی استفاده قرار بگیرند. ویژگی مقیاس‌پذیری علاوه بر قابلیت گسترش و توزیع سریع شبکه، می‌تواند راه‌حل مناسبی برای محدودیت‌هایی ازجمله انتقال داده با حجم بالا باشد.

[1] Wide-area network (WAN)

- خدمات مکان محور

در پردازش لبه‌ای خدمات می‌توانند بر اساس مکان کاربر، برای او شخصی‌سازی شوند. هم‌چنین با آگاهی از مکان می‌توان کیفیت خدمات ارائه‌شده به کاربران را بهبود بخشید. ویژگی‌هایی مانند توزیع جغرافیایی گره‌های لبه، تحرک کاربران، آگاهی از مکان و پشتیبانی از تعاملات با تأخیر کم، بستر پردازش لبه‌ای را در مقایسه با پردازش ابری به بستری مناسب‌تر برای ارائه‌ی خدمات مبتنی بر مکان تبدیل کرده است [۲۰].

۱-۸-الزامات امنیتی

در این بخش، به بررسی و معرفی الزامات امنیتی لازم، برای سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان پرداخته شده است و رعایت این الزامات به حفظ اطلاعات کمک کرده و باعث جلوگیری از بروز خطاها، مشـــکلات و حملات احتمالی به سامانه می‌گردد.

۱-۸-۱- طرح ارزیابی امنیتی

نگرانی‌های امنیتی سـبب شـده تا تولیدکنندگان محصـولات درصـدد ارتقاء امنیت محصـولاتشـان برآیند. همچنین مصرف‌کنندگان در هنگام انتخاب محصول موردنظر با طیف وسیعی از محصولات با قابلیت‌ها و محدودیت‌های متفاوت روبه‌رو هسـتند. برای آن‌ها مسـئله مهم انتخاب محصـولی اسـت که بتواند نیازهای مصـرف‌کننده را برآورده نماید و از اطلاعات آن‌ها در حد مناسبی محافظت نماید.

به‌منظور کمک به مصـــرف‌کننده در انتخاب محصـــولی که نیازهای امنیتی‌اش را برآورده نماید و کمک به ســـازنده محصول در مقبول واقع‌شدن در داخل کشور و بازارهای جهانی، بر اساس استاندارد ارزیابی معیار مشترک و توسط مرکز افتا و سازمان تدوین "طرح ارزیابی امنیتی"، سایر ا ستانداردها و د ستورالعمل‌های ابلاغی مرکز افتا گردیده ا ست. در ادامه به مفهوم طرح ارزیابی امنیتی معیار م شترک پرداخته خواهد شد. آنچه در این بخش ارائه شده دیدگاه کلی از طرح ارزیابی امنیتی بوده که برای اطلاع از جزئیات این طرح به دیگر ا سناد تهیه شده مرتبط که در بند ۱–۸–۱–۱ این بخش معرفی شده، مراجعه شود [۲۲].

اهداف اصلی از ایجاد طرح ارزیابی امنیتی عبارت‌اند از:

- حصول اطمینان از انجام ارزیابی امنیتی محصولات فتا منطبق بر استاندارد ارزیابی معیار مشترک و قابل‌دسترس، تکرارپذیر و امتحان‌پذیر بودن ارزیابی
- رفع مخاطرات و دغدغه‌های امنیتی ناشی از به‌کارگیری محصولات ارزیابی‌نشده
- برآوردن نیازهای صنعت و دولت برای ارزیابی محصولات فتا با هزینه‌ی منطقی
- بهبود دسترسی‌پذیری محصولات فتای ارزیابی‌شده

- حمایت از ایجاد و توسعه‌ی آزمایشگاه‌های ارزیابی امنیتی
- حمایت از توسعه‌ی بومی‌سازی محصولات فتا

۱-۸-۱-۱- سندهای مرتبط طرح ارزیابی امنیتی

سندهای مرتبط با طرح ارزیابی امنیتی که توسط مرکز افتا تدوین می‌شوند عبارت‌اند از :[22]
سند ۱: طرح ارزیابی امنیتی

سند ۲: نظام‌نامه‌ی کیفیت

سند ۳: راهنمای اعتبارسنج

سند ۴: راهنمای آزمایشگاه‌های ارزیابی امنیتی محصولات فتا

سند ۵: راهنمای تولیدکننده

سند ۶: تداوم گواهی: راهنمایی برای نگه‌داری و ارزیابی مجدد

سند ۷: راهنمای نوشتن پروفایل حفاظتی/سند هدف امنیتی

سند ۸: راهنمای اعتباربخشی آزمایشگاه‌ها

۱-۸-۱-۲- دید کلی طرح ارزیابی امنیتی

در ارزیابی امنیتی محصولات، نهادهای مختلفی شرکت دارند تا بتوان این طرح را پیاده‌سازی نمود. ذی‌نفعان اصلی در طرح ارزیابی امنیتی عبارت‌اند از:

- تولیدکننده
- آزمایشگاه
- مرکز افتا
- سازمان
- مصرف‌کننده

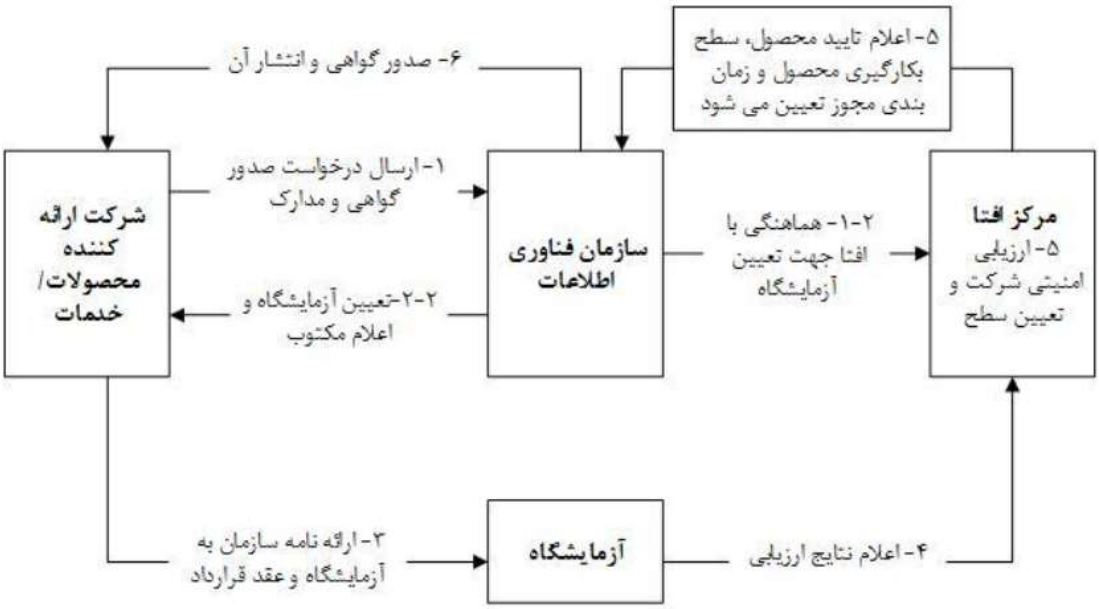
۱-۸-۱-۳- ارزیابی امنیتی محصولات

در این بخش فرآیند ارزیابی امنیتی محصولات و اقدامات ذی‌نفعان طرح ارزیابی امنیتی در طول مراحل مختلف ارزیابی محصول شرح داده می‌شود [۲۲].

لازم به تأکید اســـت که علاوه بر محصـــولات، پروفایل های حفاظتی نیز باید مورد ارزیابی قرار گیرند. جهت ارزیابی پروفایل حفاظتی لازم ا ست ن شان داده شود که این سند کامل بوده و محتوای ق سمت‌های مختلف آن باهم سازگار اســت. ارزیابی پروفایل حفاظتی ممکن اســت به‌تنهایی انجام شــود (بر اســاس کلاس APE[1] اســتاندارد ارزیابی معیار مشــترک) یا ممکن اســت به‌عنوان بخشــی از ارزیابی اولیه محصــول در قبال پروفایل حفاظتی صــورت گیرد. پروفایل حفاظتی ارزیابی شده و به تأیید رسیده توسط سازمان منتشر می‌شود.

آزمای شگاه‌ها باید قادر به انجام ارزیابی بی‌طرفانه در رابطه با برآورده نمودن الزامات امنیتی تو سط هدف ارزیابی با شند. این فرآیند تأیید می‌کند که ارزیابی مطابق آنچه در گزارش فنی طرح ارزیابی امنیتی ارائه‌شــده، انجام می‌شــود و نتایج آزمایشگاه با حقایق ارائه‌شده در سند سازگار است.

در شکل ۱-3 فرآیند ارزیابی امنیتی محصولات نشان داده شده است.



شکل ۱-۳: فرآیند ارزیابی امنیتی محصولات [۲۲]

مطابق شکل ۱-۳ فرآیند کلی ارزیابی امنیتی محصولات به شرح ذیل است [۲۲]:

۱- تهیه مقدمات ارزیابی و آماده‌ســازی اســناد و مدارک موردنیاز توســط تولیدکننده و مراجعه به ســازمان و ارائه درخواست ارزیابی امنیتی محصول

۲- ارجاع درخواست ارزیابی از طرف سازمان به مرکز افتا و تعیین آزمایشگاه با هماهنگی با آن مرکز، اعلام مکتوب به تولیدکننده و ارسال رونوشت نامه‌ی مذکور به آزمایشگاه

۳- مراجعه‌ی تولیدکننده به آزمایشــگاه معرفی‌شــده همراه با نامه معرفی ســازمان و انعقاد قرارداد بین تولیدکننده و آزمایشگاه

[1] Assurance Protection Profile Evaluation

۴– انجام ارزیابی امنیتی محصول و اعلام نتایج به مرکز افتا

۵– ارزیابی امنیتی شرکت و تعیین سطح فعالیت آن توسط مرکز افتا

۶– اعلام تأیید/عدم‌تأیید محصول، سطح به‌کارگیری آن و مدت اعتبار مجوز توسط مرکز افتا بر اساس جمع‌بندی نهایی نتایج ارزیابی‌ها که توسط مرکز افتا انجام می‌شود.

۷– صدور گواهی توسط سازمان بر اساس اعلام نظر مرکز افتا و انتشار آن

فرآیند فوق در چهار فاز اصلی انجام می‌شود که عبارت‌اند از:

فاز اول: آماده‌سازی، درخواست تولیدکننده، توافق اولیه بین آزمایشگاه و تولیدکننده

فاز دوم: ارزیابی اسناد هدف امنیتی، بررسی و نهایی‌سازی سند هدف امنیتی

فاز سوم: ارزیابی فنی، ارزیابی روش تست محصول و روش تست آسیب‌پذیری

فاز چهارم: پایان ارزیابی محصول، صدور گواهی، نگه‌داری

۱-۸-۱-۴- گواهی ارزیابی امنیتی محصول

مرکز افتا بر اساس بررسی ارزیابی‌ها، سطح به‌کارگیری محصول و مدت اعتبار را تعیین و جهت صدور گواهی به سازمان معرفی می‌نماید و در پایان گواهی محصول توسط سازمان منتشر می‌شود. پیش از صدور گواهی لازم است تا تولیدکننده نسبت به امضای تعهدنامه استفاده از گواهی اقدام نماید.

۱-۸-۱-۵- سند الزامات امنیتی برنامه‌های کاربردی تحت شبکه

مرکز افتا و سازمان فناوری اطلاعات ایران با همکاری آزمایشگاه‌های ارزیابی امنیتی، به‌منظور چابک سازی فرآیند ارزیابی امنیتی «سند الزامات امنیتی برنامه‌های کاربردی تحت شبکه» تهیه و تدوین کرده‌اند. هدف از سند الزامات امنیتی، ساده‌سازی مفاهیم الزامات مطرح‌شده در پروفایل‌های حفاظتی و نیز کمک به تولیدکننده در جهت سرعت بخشیدن به تدوین سند هدف امنیتی است. ساختار این سند بدین صورت است که برای هر کلاس در پروفایل حفاظتی مربوطه، یک دسته الزام بیان شده است. کلاس‌های این سند به شرح زیر است [۲۳].

۱– ممیزی امنیت (لاگ[1]): در این کلاس توانایی‌های محصول ازنظر امکان تولید داده ممیزی (لاگ) مناسب برای فعالیت‌های مختلفی که در محصول صورت می‌گیرد، در شرایط مختلف سنجیده می‌شود.

۲– رمزنگاری: در این کلاس، توانایی محصول در پیاده‌سازی یا به‌کارگیری ماژول‌های رمزنگاری، بررسی می‌گردد. برای حفظ محرمانگی داده از رمزنگاری استفاده می‌گردد و این رمزنگاری‌ها می‌تواند به‌صورت متقارن و نامتقارن صورت گیرد. در رمزنگاری متقارن از یک کلید مشترک برای رمزگذاری و رمزگشایی، استفاده می‌شود ولی در رمزنگاری نامتقارن این کار با استفاده از یک زوج کلید (کلید عمومی و کلید خصوصی) صورت می‌گیرد. الگوریتم‌ها می‌توانند با طول کلیدهای مختلف و به روش‌های مختلفی (مد عملیاتی) به رمزگذاری و رمزگشایی داده بپردازند که در این کلاس،

[1] Log

توانایی محصول از این حیث موردبررسی قرار گرفته است. در کلاس رمزنگاری همچنین از الگوریتم‌های درهم سازی (هش) برای برقراری جامعیت داده استفاده می‌گردد.

۳- شناسایی و احراز هویت: در این کلاس توانایی‌های محصول ازنظر امکان شناسایی و احراز هویت کاربر در حالت‌های مختلف و اقدامات متقابل در راستای عدم برقراری آن‌ها، بررسی می‌گردد.

۴- حفاظت از داده کاربردی: داده کاربری در واقع هر نوع دادهای است که کاربر تولید می‌کند یا مالک آن است. در این کلاس، توانایی محصول در حفاظت از این داده‌ها موردبررسی قرار می‌گیرد.

۵- مدیریت امنیت: در این کلاس توانایی‌های محصول در مدیریت (حذف، تغییر، فعال کردن و ...) کارکردهای امنیتی (جمع‌آوری داده‌های سیستم، پیکربندی‌ها و ...) موردبررسی قرار می‌گیرد. همچنین توانایی محصول در مدیریت نقش‌ها و دسترسی آن‌ها برای اعمال مدیریت بر روی کارکردهای امنیتی سنجیده می‌شود.

۶- حفاظت از توابع امنیتی محصول: در این کلاس، توانایی محصول در حفظ وضعیت امن در زمان رخ دادن شکست و همچنین حفاظت از داده‌ها هنگام تبادل بین اجزای محصول یا تبادل با موجودیت‌های دیگر، موردبررسی قرار گرفته است.

۷- تخصیص منابع: در این کلاس، به بررسی وضعیت عملکردهای محصول و منابع موردا ستفاده توسط آن در زمان‌های مختلف ازجمله زمان شکست پرداخته می‌شود.

۸- دسترسی به محصول: در این کلاس توانایی محصول در مدیریت نشست‌های صورت گرفته‌شده توسط کاربر، ارزیابی می‌شود.

۹- کانال‌ها/ مسیرهای مورد اعتماد: در این کلاس به بررسی پروتکل‌های امنی که برای برقراری کانال/ مسیر مورداعتماد، بین محصول و موجودیت‌های IT خارجی، یا بین اجزای محصول، استفاده می‌شوند، پرداخته می‌شود.

در هر کلاس جداولی از الزامات امنیتی تبیین شده است که با توجه به حجم بالای مطالب، این موارد به سند الزامات امنیتی برنامه‌های کاربردی تحت شبکه ارجاع داده شده است [۲۳].

۱-۸-۲- تعیین سطوح دسترسی کاربران

کنترل دسترسی کاربران سامانه یکی از موارد مهم امنیتی است. در مورد سطوح دسترسی در سامانه جامع پایش کیفیت توان، باید با توجه به نام کاربری و رمز عبور اختصاص داده شده به هر کاربر و با توجه به این‌که کاربر مدنظر شرکت توانیر، شرکت توزیع و یا مشترک بزرگ است، سطح دسترسی مختلفی به کاربر اختصاص داده شود و صفحه متفاوتی را مشاهده کند. جدول ۱-۴ سطوح دسترسی کاربران مختلف سامانه را مشخص می‌کند.

جدول ۱-۴: سطح دسترسی کاربران در سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان

منوهای مختلف سامانه	شرکت توانیر	شرکت‌های توزیع	مشترکین بزرگ

صفحه اصلی ورود نام کاربری و کلمه‌ی عبور	توانایی دسترسی این صفحه و ورود نام کاربری و رمز عبور را دارد.	توانایی دسترسی این صفحه و ورود نام کاربری و رمز عبور را دارد.	توانایی دسترسی این صفحه و ورود نام کاربری و رمز عبور را دارد.
صفحه شخصی کاربر	توانایی دسترسی به این صفحه و مشاهده و فعال بودن چهار گزینه مشاهده‌ی کارنامه، گزارش پارامترها و دانلود داده، داشبورد مدیریتی و تنظیمات را دارد.	توانایی دسترسی به این صفحه و مشاهده و فعال بودن چهار گزینه مشاهده‌ی کارنامه، گزارش پارامترها و دانلود داده، داشبورد مدیریتی و تنظیمات را دارد.	توانایی دسترسی به این صفحه را داشته و تنها گزینه‌ی گزارش پارامتر و تنظیمات جهت تغییر کلمه‌ی عبور برای مشترکین بزرگ فعال است.
صفحه کارنامه کیفیت توان	توانایی دسترسی به این صفحه و مشاهده و دانلود خروجی را دارد.	توانایی دسترسی به این صفحه و مشاهده و دانلود خروجی را با توجه به محدودیت اعمال‌شده از جانب شرکت توانیر را دارد.	توانایی دسترسی به این صفحه را ندارد.
صفحه گزارش پارامتر و دانلود داده	توانایی دسترسی به این صفحه و مشاهده و دانلود خروجی را دارد.	توانایی دسترسی به این صفحه و مشاهده و دانلود خروجی را با توجه به محدودیت اعمال‌شده از جانب شرکت توانیر دارد.	توانایی دسترسی به این صفحه و مشاهده و دانلود خروجی را دارد.
صفحه داشبورد مدیریتی	توانایی دسترسی به این صفحه و مشاهده‌ی نمودارها با توجه به تنظیمات صورت گرفته در قسمت تنظیمات داشبورد مدیریتی را دارد.	توانایی دسترسی به این صفحه و مشاهده نمودارها با توجه به تنظیمات صورت گرفته در قسمت تنظیمات داشبورد مدیریتی را با توجه به مجوزهای دسترسی داده شده از جانب شرکت توانیر، داشته و روی نقشه کیفیت توان، تنها توانایی مشاهده‌ی شهرستان‌های خود را دارد.	توانایی دسترسی و مشاهده این صفحه را ندارد.
صفحه تنظیمات	توانایی دسترسی به این صفحه و مشاهده پنج گزینه‌ی تنظیمات حساب کاربری. تنظیمات ضرایب شاخص تجمیعی، تنظیمات داشبورد مدیریتی، تنظیمات مقادیر ویژگی‌های سایت و تنظیمات دوره‌ی نگه‌داری اطلاعات را دارد.	توانایی مشاهده این صفحه و دسترسی به پنج گزینه تنظیمات حساب کاربری، تنظیمات داشبورد مدیریتی، تنظیمات مقادیر ویژگی‌های سایت و تنظیمات دوره‌ی نگه‌داری اطلاعات را با توجه به مجوز و محدودیت اعمال شده از جانب شرکت توانیر را دارد.	تنها توانایی تغییر کلمه عبور خود را دارد.
صفحه تنظیمات حساب کاربری	توانایی دسترسی به این صفحه و مشاهده و فعال بودن سه گزینه تعیین سطح دسترسی،	توانایی دسترسی به این صفحه و مشاهده و فعال بودن سه گزینه تعیین سطح دسترسی،	توانایی دسترسی به این صفحه و تغییر کلمه‌ی عبور را دارد.

	تغییر کلمه‌ی عبور و مشاهده آخرین اتصالات را دارد.	تغییر کلمه‌ی عبور و مشاهده آخرین اتصالات را دارد.	
صفحه تنظیمات داشبورد مدیریتی	توانایی دسترسی به این صفحه و انتخاب پارامترها جهت مشاهده‌ی مستقیم در داشبورد مدیریتی را داشته و همچنین توانایی چک کردن رویدادهای رخ‌داده شده در سامانه را دارد.	توانایی دسترسی به این صفحه و انتخاب پارامترها جهت مشاهده مستقیم در داشبورد مدیریتی را دارد.	توانایی دسترسی به این صفحه را ندارد.
صفحه تنظیمات ویژگی‌های سایت	توانایی دسترسی به این صفحه و تغییر مقادیر سطح اتصال کوتاه، میزان بار و تعداد مشترکین را دارد.	توانایی دسترسی به این صفحه و تغییر مقادیر سطح اتصال کوتاه، میزان بار و تعداد مشترکین در محدوده مجاز خود را دارد.	توانایی دسترسی به این صفحه را ندارد.
صفحه تنظیمات دوره نگه‌داری اطلاعات	توانایی دسترسی به این صفحه جهت تعیین دوره نگه‌داری اطلاعات به‌صورت کوتاه‌مدت، میان‌مدت، بلندمدت و دائمی را دارد.	توانایی دسترسی به این صفحه را ندارد.	توانایی دسترسی به این صفحه را ندارد.
صفحه تعیین سطح دسترسی کاربران	در این صفحه، توانایی تعیین سطح دسترسی شرکت‌های توزیع را داشته و می‌تواند تعیین کند هر شرکت توزیع چه منوهایی را مشاهده کند. توانایی افزودن کاربر جدید با تعیین نام کاربری و رمز عبور و تعیین سطح دسترسی داشته و یا می‌تواند کاربران را حذف کند. همچنین توانایی مشاهده فعالیت کاربران را دارد به این صورت که از طریق جدولی، وضعیت فعالیت کاربران و آخرین اتصال کاربران به سامانه را مشاهده می‌کند.	در این صفحه، توانایی تعیین سطح دسترسی کاربران شرکت‌های توزیع را داشته و می‌تواند تعیین کند هر کاربر شرکت توزیع چه منوهایی را مشاهده کند. توانایی افزودن کاربر جدید با تعیین نام کاربری و رمز عبور و تعیین سطح دسترسی داشته و یا می‌تواند کاربران را حذف کند. همچنین توانایی مشاهده فعالیت کاربران را دارد به این صورت که از طریق جدولی، وضعیت فعالیت کاربران و آخرین اتصال کاربران به سامانه را مشاهده می‌کند.	توانایی دسترسی به این صفحه را ندارد.
صفحه تغییر رمز عبور	توانایی دسترسی به این صفحه و تغییر رمز عبور فعلی خود را داشته که با توجه به الزامات امنیتی ذکرشده، باید هر سه ماه رمز عبور خود را تغییر دهد.	توانایی دسترسی به این صفحه و تغییر رمز عبور فعلی خود را داشته که با توجه به الزامات امنیتی ذکرشده، باید هر سه ماه رمز عبور خود را تغییر دهد.	توانایی دسترسی به این صفحه و تغییر رمز عبور فعلی خود را داشته که با توجه به الزامات امنیتی ذکرشده، باید هر سه ماه رمز عبور خود را تغییر دهد.

صفحه مشاهده آخرین اتصالات	توانایی دسترسی به این صفحه و مشاهده آخرین دستگاه‌های متصل شده به سامانه با نام کاربری و کلمه‌ی عبور خود را داشته و در صورت نیاز می‌تواند اجازه دسترسی دستگاه‌های غیرمجاز را محدود کند.		

فصل دوم: الزامات سخت‌افزاری سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان

۲-۱- مقدمه

سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان شامل زیرساخت اندازه‌گیری، نگه‌داری و انتقال داده‌های خام و نیز پردازش اطلاعات تجهیزات سنجش کیفیت توان است. الزامات سخت‌افزاری زیرساخت سامانه‌ی پایش کیفیت توان با توجه به حجم و نوع اطلاعات و پردازش‌های موردنیاز تعیین می شود. کفایت منابع در بخش سخت‌افزاری سامانه نیازمند برآورد حجم داده‌های کیفیت توان در طول زمان است که در این فصل انجام شده است.

به‌منظور تعیین الزامات سخت‌افزاری سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان، در گام اول، لیست داده‌های اخذشده از کنتورها تهیه شده و کاربرد هر کدام با توجه به اهداف پایش کیفیت توان تعیین شده است. با توجه به میزان اهمیت اهداف پایش کیفیت توان، اولویت ذخیره‌سازی داده‌ها در دو دسته تعیین شده است. سپس دوره‌ی نگه‌داری هر یک از داده‌های کیفیت توان تعیین شده است. به‌منظور سادگی چهار حالت برای دوره نگه‌داری داده‌ها درنظر گرفته شده است که با توجه به کاربرد هریک از داده‌ها، در یک دسته قرار گرفته است. همچنین به‌منظور کاهش حافظه موردنیاز پایگاه داده کیفیت توان، پیشنهاد بهینه‌سازی در ذخیره‌سازی داده شده است. حافظه‌ی موردنیاز در سه سناریو ارائه‌شده که در نهایت یک سناریو پیشنهاد شده است. موارد انجام شده در این بخش، در قالب یک پیوست نرم‌افزاری نیز ارائه شده تا مدیر سامانه بتواند سناریوهای موردنظرش را برای اختصاص فضای موردنیاز درنظر بگیرد.

تخمین میزان حافظه‌ی موقت، قدرت پردازشگر و پهنای باند موردنیاز به موارد مختلفی ازجمله تعداد کاربران سامانه، حجم اطلاعات سامانه و تعداد کنتورها بستگی دارد. در این بخش پیشنهادی اولیه ارائه شده است. موارد مذکور با تغییر پارامترهای مرتبط قابل‌تغییر خواهد بود.

۲-۲- حافظه‌ی موردنیاز پایگاه داده

به‌منظور محاسبه‌ی حافظه‌ی موردنیاز پایگاه داده‌ی کیفیت توان، تعیین اطلاعات موردنیاز سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان الزامی است. این اطلاعات شامل داده‌های ارسالی از کنتورهای هوشمند سامانه‌ی فهام و شرکت مدیریت شبکه (کنتورهای MK6E) به مرکز مدیریت داده‌ی کنتورها است. پروفایل‌های بار و گزارش وقایع مرتبط با کیفیت توان، بخش اصلی حافظه‌ی پایگاه داده را تشکیل می‌دهند. تشریح اطلاعات موردنیاز سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان از کنتورهای هوشمند در فصل ماژول‌های نرم‌افزاری به‌تفصیل صورت گرفته است. همچنین به پیوست این گزارش لیست پارامترهای مرتبط به پایش کیفیت توان کنتورهای فهام و MK6E تهیه شده است [۲۴]. در پیوست مذکور حجم و نوع داده‌های کنتورهای فهام و MK6E قید شده است. همچنین محاسبات مربوط به میزان حافظه‌ی موردنیاز برای ذخیره سازی اطلاعات کنتورها، انجام شده است. محاسبات مذکور به صورت یک محاسبه‌گر نرم‌افزاری در قالب فایل اکسل ارائه شده است. بدین ترتیب مدیر سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان از طریق محاسبه‌گر مذکور می‌تواند پارامترهای ورودی محاسبات ذکرشده را تغییر داده و از این طریق بین منابع در دسترس و دسترس‌پذیری داده‌ها مصالحه کند.

۲-۲-۱- اولویت‌بندی داده‌های سامانه‌ی پایش کیفیت توان

کنتورهای فهام و مدیریت شبکه قادر به اندازه‌گیری طیف وسیعی از پارامترهای کیفیت توان هستند. با توجه به اهداف پروژه و شاخص پیشنهادی، به داده‌ها اولویت اختصاص داده می‌شود. اولویت‌های مذکور به‌منظور تسهیل انتخاب، توسط مدیر سامانه صورت گرفته است. توضیح آن‌که در صورت محدودیت منابع، مدیر سامانه می‌تواند با عنایت به اولویت‌بندی صورت‌گرفته، تعداد مشخصی از پارامترها را جهت ذخیره سازی انتخاب کرده و بدین‌ترتیب از منابع در دسترس به شکل بهینه استفاده کند. لازم به ذکر است که در محاسبه‌گر نرم‌افزاری طراحی‌شده، تمامی داده‌های مرتبط با کیفیت توان اولویت‌بندی شدند و محاسبه‌ی حافظه‌ی موردنیاز برای پایگاه داده به تفکیک اولویت داده‌ها صورت گرفته است. جدول ۲-۱ نحوه‌ی اولویت‌بندی اطلاعات را نشان می‌دهد.

جدول ۲-۱: اولویت‌بندی داده‌های سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان

اولویت	توضیحات
اولویت ۱	داده‌های مرتبط با شاخص تجمیعی جریانی و ولتاژی
اولویت ۲	داده‌های مرتبط به مطالعات پیشرفته بر روی شبکه

با توجه به این‌که در مرحله نخست پیشرفت پروژه، دستیابی به شاخص تجمیعی هدف اصلی است. داده‌های اولویت ۱ در سامانه ذخیره می‌شوند و داده‌هایی با برچسب اولویت ۲ به‌منظور گسترش سامانه‌ی پایش کیفیت توان درنظر گرفته شده است. لازم به ذکر است که داده‌های با اولویت ۱ در متن گزارش و اولویت ۲ در پیوست ۲ بررسی شده‌اند.

۲-۲-۲- پردازش داده‌های خام

با توجه به این‌که دوره‌ی نگه‌داری داده‌ها محدود است، به‌منظور حفظ اطلاعات کیفیت توان به‌صورت بهینه، آماره‌های داده‌ی خام کیفیت توان در بازه‌های زمانی روزانه و هفتگی محاسبه و نگه‌داری می‌شود. این آماره‌ها شامل مقادیر حداقل، میانگین، حداکثر، شاخص ۹۵٪، شاخص ۹۹٪ و انحراف معیار می‌با شد [۲۵]. همچنین از شاخص ۹۵٪ هفتگی بخشی از پارامترها، می‌توان در محاسبه‌ی شاخص تجمیعی استفاده کرد.

۲-۲-۳- مدت‌زمان نگه‌داری داده‌های سامانه‌ی پایش کیفیت توان در پایگاه داده

با توجه به محدود بودن منابع و حافظه‌ی پایگاه داده، امکان ذخیره‌ی تمامی اطلاعات برای مدت طولانی وجود ندارد؛ بنابراین اطلاعات بعد از گذشت مدت‌زمان مشخصی حذف می شوند. پیشنهاد می شود که ساختار پایگاه داده به این‌گونه تعریف شود که هرروز داده‌هایی که خارج از دوره‌ی مدت‌زمان نگه‌داری اختصاص داده شده هستند، از پایگاه داده حذف شوند.

مدت‌زمان لازم برای نگه‌داری داده‌ها بر اساس کاربرد آن‌ها در طول زمان، متفاوت است. مدت‌زمان نگه‌داری اطلاعات سامانه‌ی پایش کیفیت توان به ۴ دسته تقسیم می‌شود و داده‌ها بر اساس آن برچسب‌گذاری می‌شوند. برچسب‌گذاری داده‌های پایگاه داده به شرح زیر است:

۱- دوره‌ی نگه‌داری دائمی (P[1]):

۲- دوره‌ی نگه‌داری طولانی‌مدت (L[2]):

۳- دوره‌ی نگه‌داری میان‌مدت (M[3]):

۴- دوره‌ی نگه‌داری کوتاه‌مدت (S[4]):

دوره نگه‌داری دائمی عموماً برای پست‌های فوق توزیع و انتقال در نظر گرفته می شود. با توجه به محدودیت منابع، در حال حا ضر، داده‌ها به صورت دائمی ذخیره نخواهند شد، ولی این امکان در سامانه جامع پایش کیفیت در نظر گرفته شده است که در صورت تخصیص منابع، برخی از اطلاعات به‌صورت دائمی ذخیره شوند.

همچنین داده‌های موجود در پایگاه داده کیفیت توان را می‌توان به چهار دسته زیر تقسیم کرد.

۱- داده‌های خام پروفایل‌های بار مرتبط با کیفیت توان از قبیل پارامترهای ولتاژ، جریان و هارمونیک جریان و ولتاژ

۲- داده‌های مربوط به گزارش وقایع[5] کنتورها مثل sag, swell, under voltage, over voltage

۳- داده‌های پردازش‌شده روزانه

۴- داده‌های پردازش‌شده هفتگی

دوره‌ی نگهداری اطلاعات به هدف پایش کیفیت توان نیز بستگی دارد. در جدول ۲-۲ حداقل زمان پیشنهادی برای نگه‌داری اطلاعات پایگاه داده کیفیت توان بر اساس اهداف پایش آمده است.

جدول ۲-۲: زمان پیشنهادی نگه‌داری اطلاعات پایگاه داده بر اساس اهداف چهارگانه

اطلاعات پایگاه داده / اهداف پایش	داده‌های خام پروفایل‌های بار	داده‌های پردازش‌شده روزانه	داده‌های پردازش‌شده هفتگی	گزارش وقایع
تطابق با الزامات	۱ ماه	۶ ماه	۶ ماه	۱۲ ماه
تجزیه‌وتحلیل عملکرد	۲ ماه	۶ ماه	۲۴ ماه	۲۴ ماه
عیب‌یابی	۱ ماه	۲ ماه	۲ ماه	۲ ماه
توصیف سایت	۱ ماه	۳ ماه	۳ ماه	۱۲ ماه

بر اساس جدول ۲-۲، زمان پیشنهادی نگه‌داری اطلاعات پایگاه داده بر اساس اهداف چهارگانه به شرح زیر است.

[1] Permanent

[2] Long term

[3] Mid term

[4] Short term

[5] Event log

هدف تطابق با الزامات: با توجه به این‌که در این هدف ارزیابی شاخص‌ها بر ا ساس ا ستانداردها و مقادیر مجاز ا ست و همچنین بر ا ساس این ارزیابی ت صمیماتی برای اعمال طرح‌های ت شویقی و تنبیهی صورت می‌گیرد، پی شنهاد می‌شـود که مدت دوره نگه‌داری به‌صـورتی باشـد که روند شـاخص‌ها در حداقل دو فصـل ارزیابی شـوند. بنابراین به داده‌های پردازش‌شـده هفتگی و روزانه حداقل ۶ ماه و داده‌های خام پروفایل‌های بار حداقل ۱ ماه، نیاز اسـت. ازآنجایی که بازه‌ی زمانی ارزیابی پدیده‌های فرورفتگی و برآمدگی ولتاژ حداقل یک‌سـاله اسـت، نیاز اسـت که داده‌های گزارش وقایع به‌صورت یک‌ساله بررسی شوند.

هدف تجزیه‌وتحلیل عملکرد: در این مورد به اطلاعات با دوره‌ی نگه‌داری طولانی‌تر نیاز اسـت؛ بنابراین به داده‌های خام پروفایل‌های بار حداقل ۲ ماه و داده‌های پردازش‌شـده روزانه حداقل ۶ ماه نیاز اسـت تا روند تغییرات پارامترهای کیفیت توان به‌درستی بررسی شود. همچنین برای محاسبه‌ی شاخص تجمیعی به‌صورت سالانه و مقایسه با سال‌های گذشته، به حداقل ۲ سال نگه‌داری داده‌های پردازش‌شده هفتگی و گزارش وقایع نیاز است.

هدف عیب‌یابی: در این مورد به اطلاعات فقط برای رفع معضلات پیش‌آمده نیاز ا ست بنابراین، پیشنهاد می شود داده‌های خام پروفایل‌های بار حداکثر ۱ ماه، داده‌های پردازش‌شـده و گزارش وقایع حداکثر ۲ ماه در پایگاه داده ذخیره شوند.

هدف توصـیف سـایت: در این حالت به داده‌های خام پروفایل‌های بار حداقل ۱ ماه و داده‌های پردازش‌شـده حداقل ۳ ماه، به‌منظور بررسـی روند شـاخص‌های سـایت، نیاز اسـت. همچنین به‌منظور ارزیابی دقیق از وقایع رخ‌داده سایت، حداقل به یک سال داده‌های گزارش وقایع نیاز است.

با توجه به این‌که در این پروژه، ۴ هدف مدنظر ا ست، باید همزمانی ذخیره‌ی داده‌ها برر سی شود و بی شترین زمان نگه‌داری داده‌ها، از میان ۴ هدف مشـخص‌شـده، انتخاب شـود. از میان اهداف مذکور، در هدف تجزیه‌وتحلیل عملکرد، بیشـترین زمان نگه‌داری در پایگاه داده به داده‌ها اختصـاص داده شـده اسـت. بنابراین پیشـنهاد می‌شـود داده‌های خام پروفایل‌های بار به‌صورت کوتاه‌مدت، حداقل ۲ ماه، داده‌های پردازش‌شده‌ی روزانه با دوره‌ی نگه‌داری میان‌مدت، حداقل ۶ ماه و داده‌های پردازش‌شـده‌ی هفتگی و گزارش وقایع به‌صـورت بلندمدت، حداقل ۲ سـال در پایگاه داده سـامانه‌ی پایش کیفیت توان نگه‌داری شوند.

این قابلیت در محا سبه‌گر نرم‌افزاری تخمین حافظه‌ی پایگاه داده درنظر گرفته شده ا ست که بر ا ساس صلاحدید مدیر سـامانه، مدت‌زمان دوره‌ی نگه‌داری اطلاعات را تعیین کند. مدت‌زمان نگه‌داری تمامی پارامترها، شـاخص‌ها و گزارش وقایع در افزونه‌ی نرم‌افزاری پیوست‌شده ذکر شده است [۲۴].

۲-۲-۴- بهینه‌سازی حجم اطلاعات

به‌منظور کاهش حجم حافظه‌ی موردنیاز برای ذخیره‌سـازی اطلاعات، می‌توان از تکنیک‌های ذخیره‌سـازی بهینه ا ستفاده کرد. یکی از تکنیک‌های پی شنهادی تبدیل داده‌ها به integer ا ست. به‌طور مثال، عدد ۲۳۴,۲ به صورت ۲۳۴۲ ذخیره شود. لازم به ذکر است که داده‌های ارسالی از کنتورها هر کدام نوع مشخصی دارند و رزولوشن هر پارامتر از قبل

تعیین شده است؛ بنابراین اختلالی در میزان اختصاص اعشار به پارامترها رخ نمی‌دهد. به‌طور مثال ولتاژهای سه فاز پروفایل‌های بار در کنتورهای فهام به صورت سه عدد صحیح و یک اعشار است؛ بنابراین تمامی اطلاعاتی که با این عنوان به پایگاه داده فرستاده می‌شوند، این ساختار را دارند.

۲-۲-۵- محاسبه‌گر تخمین حافظه‌ی پایگاه داده

اطلاعات مرتبط کیفیت توان در کنتورهای هوشمند در پروفایل‌های بار و گزارش وقایع ثبت می‌شوند. به‌منظور محاسبه و تخمین حافظه‌ی پایگاه داده‌ی تمامی پارامترهای مرتبط، در محاسبه‌گر نرم‌افزاری با جزئیات ذکر شده است [۲۴]. این جزئیات شامل موارد زیر می‌باشد.

۱- پروفایل بار و گزارش وقایع مرتبط با کیفیت توان کنتورها
۲- پارامترهای موجود در پروفایل‌های بار و گزارش وقایع
۳- شماره رجیستر هر پارامتر در کنتورهای MK6E و Obis Code در کنتورهای فهام
۴- نوع و حجم داده (بدون بهینه‌سازی و با بهینه‌سازی)
۵- اولویت[1] داده‌ها در سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان
۶- دوره‌ی نگه‌داری داده‌ها (دوره بازنویسی داده‌ها[2])

علاوه بر موارد فوق، مدیر سامانه می‌تواند با تعیین ورودی‌های محاسبه‌گر مانند تعداد کنتورها، دوره‌ی تناوب ذخیره پروفایل‌ها و دوره‌ی نگه‌داری داده‌ها، حافظه‌ی موردنیاز سامانه را مشاهده نماید.

۲-۲-۶- سناریوهای تخمین حافظه‌ی موردنیاز پایگاه داده

با توجه به موارد بیان‌شده، در این بخش به‌منظور تخمین حافظه‌ی موردنیاز جهت ذخیره‌سازی اطلاعات سه سناریو درنظر گرفته شده است. این سناریوها بر اساس روند رشد تعداد کنتورها و منابع مالی موجود در نظر گرفته شده است. سناریو ۲ به‌منظور پیاده‌سازی در سامانه‌ی پایش کیفیت توان پیشنهاد شده است.

سناریو ۱: در این سناریو فرض بر کمبود منابع و پیاده‌سازی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان برای تعداد کنتورهای موجود در حال حاضر شبکه است. حال با توجه به فرضیاتی که در جدول ۲-۳ درنظر گرفته شده است نتایجی که در محاسبه‌گر به‌دست‌آمده، در جدول ۲-۴ آمده است.

جدول ۲-۳: مقادیر ورودی‌های سناریو ۱

ورودی	مقادیر مفروض
تعداد کنتورهای فهام	۵۰۰۰۰۰

[1] Priority

[2] Overwrite period

تعداد کنتورهای **MK6E**	۳۰۰۰
دوره تناوب ذخیره‌ی اطلاعات پروفایل‌های کنتور[1] (دقیقه)	۱۵
مدت‌زمان بررسی حجم داده‌ها (سال)	۲
دوره نگه‌داری بلندمدت (ماه)	۲۴
دوره نگه‌داری میان‌مدت (ماه)	۶
دوره نگه‌داری کوتاه‌مدت (ماه)	۲

نحوه‌ی محاسبه‌ی حجم پایگاه داده به این‌گونه است که در گام اول تمامی اطلاعات موردنیاز برای سامانه‌ی پایش کیفیت توان و حجم آن‌ها جمع‌آوری می‌شود. سپس اطلاعات اولویت‌بندی می‌شوند و دوره‌ی نگه‌داری آن‌ها مشخص می‌شود. در گام سوم حجم اطلاعات ذخیره‌شده یک کنتور در یک روز محاسبه می‌شود. درنهایت حجم اطلاعات ذخیره‌شده کنتورها در تعداد روزهای مفروض به دست می‌آید. با توجه به حجم بالای اطلاعات و جزئیات این موارد به‌صورت مفصل در افزونه نرم‌افزاری تخمین حجم پایگاه داده سامانه‌ی پایش کیفیت توان آمده است [۲۴].

جدول ۲-۴: تخمین حافظه‌ی موردنیاز پایگاه داده (گیگابایت) سناریو ۱

نوع داده	کنتورهای فهام		کنتورهای MK6E	
	بدون بهینه‌سازی	با بهینه‌سازی	بدون بهینه‌سازی	با بهینه‌سازی
حجم داده‌ها با اولویت_۱	1401.48	672.83	36.32	14.53
حجم داده‌ها با اولویت_۲	246.31	141.82	1.61	0.78
مجموع	1647.79	814.64	37.94	15.31

با توجه به نتایج جدول ۲-۴ پیشنهاد می‌شود که حدوداً حافظه‌ی پایگاه داده ۲ ترابایت درنظر گرفته شود.

سناریو ۲: در این سناریو فرض بر این است که در تخصیص منابع، آزادی عمل بیش‌تری وجود دارد و روند رشد کنتورهای هوشمند در طول سال‌های آینده نیز بررسی شده است. حال با توجه به فرضیاتی که در جدول ۲-۵ درنظر گرفته شده است، نتایجی که در محاسبه‌گر به‌دست‌آمده در جدول ۲-۶ آمده است.

جدول ۲-۵: مقادیر ورودی‌های سناریو ۲

ورودی	مقادیر مفروض
تعداد کنتورهای فهام	۱۰۰۰۰۰۰
تعداد کنتورهای MK6E	۴۰۰۰
دوره تناوب ذخیره‌ی اطلاعات پروفایل‌های کنتور (دقیقه)	۱۵
مدت‌زمان بررسی حجم داده‌ها (سال)	۳

[1] Capture period in faham meters and Load survey period

دوره نگه‌داری بلندمدت (ماه)	۲۴
دوره نگه‌داری میان‌مدت (ماه)	۶
دوره نگه‌داری کوتاه‌مدت (ماه)	۲

جدول ۲-۶: تخمین حافظه‌ی موردنیاز پایگاه داده (گیگابایت) سناریو ۲

نوع داده	کنتورهای فهام		کنتورهای MK6E	
	بدون بهینه‌سازی	با بهینه‌سازی	بدون بهینه‌سازی	با بهینه‌سازی
حجم داده‌ها با اولویت_۱	2802.96	1345.66	48.43	19.37
حجم داده‌ها با اولویت_۲	492.62	283.63	2.15	1.04
مجموع	3295.58	1629.29	50.58	20.42

با توجه به نتایج جدول ۲-۶ پیشنهاد می شود که حدوداً حافظه‌ی پایگاه داده ۳ الی ۴ ترابایت برای ذخیره اطلاعات درنظر گرفته شود.

سناریو ۳: در این سناریو فرض بر این است که در تخصیص منابع مشکلی وجود ندارد و کنتورهای هوشمند رشد فزاینده‌ای داشتند. حال با توجه به فرضیاتی که در جدول ۲-۷ درنظر گرفته شده است نتایجی که در محاسبه‌گر به‌دست‌آمده، در جدول ۲-۸ آمده است.

جدول ۲-۷: مقادیر ورودی‌های سناریو ۳

ورودی	مقادیر مفروض
تعداد کنتورهای فهام	۱۰۰۰۰۰۰۰
تعداد کنتورهای MK6E	۵۰۰۰۰
دوره تناوب ذخیره‌ی اطلاعات پروفایل‌های کنتور (دقیقه)	۱۵
مدت‌زمان بررسی حجم داده‌ها (سال)	۵
دوره نگه‌داری بلندمدت (ماه)	۲۴
دوره نگه‌داری میان‌مدت (ماه)	۶
دوره نگه‌داری کوتاه‌مدت (ماه)	۲

جدول ۲-۸: تخمین حافظه‌ی موردنیاز پایگاه داده (گیگابایت) سناریو ۳

نوع داده	کنتورهای فهام		کنتورهای MK6E	
	بدون بهینه‌سازی	با بهینه‌سازی	بدون بهینه‌سازی	با بهینه‌سازی
حجم داده‌ها با اولویت_۱	28029.60	13456.56	60.54	24.22
حجم داده‌ها با اولویت_۲	4926.24	2836.32	2.69	1.31
مجموع	32955.84	16292.88	63.23	25.52

با توجه به نتایج جدول ۲-۸ پیشنهاد می‌شود که حدوداً حافظه‌ی پایگاه داده ۳۲ الی ۳۶ ترابایت برای ۵ سال ذخیره‌ی اطلاعات درنظر گرفته شود.

۲-۳- تخمین ظرفیت RAM

پا سخ به درخوا ست کاربران به صورت همزمان در این سامانه به حافظه‌ی RAM بـ ستگی ندارد بلکه به تنظیمات سرور مربوط می‌شود. در صورتی‌که تعداد درخواست‌ها از چندین هزار در ثانیه بیشتر شود می‌توان با Load Balancer فشـار بر روی سـرور را کاهش داد. با توجه به این‌که تعداد کاربران هم‌زمان سـامانه پایش کیفیت توان از ۴۰۰ بیشـتر نیست (۳۹ شرکت توزیع برق و شرکت توانیر کاربران سیستم هستند و اگر از هر سازمان ۱۰ کاربر به‌صورت هم‌زمان به سامانه متصل شوند) بنابراین برای پاسخگویی RAM به کاربران همزمان، مشکلی وجود ندارد.

اکثر پردازش‌های سامانه به صورت برون‌خطی[1] انجام می شود و بی شترین پردازش مربوط به محا سبه‌ی شاخص تجمیعی کل سیستم می‌شود. به‌منظور محاسبه‌ی شاخص تجمیعی کل سیستم ابتدا نیاز است که شاخص تجمیعی هر اغتشاش برای کل سیستم محا سبه شود. معادله‌ی ۲-۱ که در گزارش مرحله اول ارائه شد [۲۶]، نحوه‌ی محا سبه‌ی شاخص تجمیعی هر اغتشاش بر اساس ویژگی‌ها سایت را نشان می‌دهد.

$$Index(M)_{system} = \frac{\frac{\sum_{j=1}^{N} w_{SCL,j}.Index_j(M)}{\sum_{j=1}^{N} w_{SCL,j}} + \frac{\sum_{j=1}^{N} w_{L,j}.Index_j(M)}{\sum_{j=1}^{N} w_{L,j}} + \frac{\sum_{j=1}^{N} w_{NC,j}.Index_j(M)}{\sum_{j=1}^{N} w_{NC,j}}}{N_W} \qquad ۱-۲$$

در معادله‌ی ۲-۱، شـاخص $Index(M)_{system}$، شـاخص تجمیعی نرمالایزشـده اغتشـاش Mام کل سـیسـتم اسـت. همچنین $Index_j(M)$ شاخص نرمالایزشده Mام سایت jام است. $W_{SCL,j}$، $W_{L,j}$ و $W_{NC,j}$ به ترتیب مؤلفه‌ی مربوط به سطح اتـ صال کوتاه، میزان بار مـ صرفی و تعداد مـ شترکین سایت jام ا ست. N_W تعداد ویژگی‌های تأثیرگذار بر پارامتر کیفیت توان موردنظر و N تعداد سایت‌های دارای اندازه‌گیری در منطقه موردنظر است.

حافظه‌ی موردنیاز برای محاسـبه‌ی شـاخص تجمیعی را می‌توان به درایه‌های ضـرب داده‌ها نسـبت داد. تعداد ضرب‌های معادله‌ی ۲-۱ برابر با 3*N است. حداقل ۹ اغتشاش برای شاخص تجمیعی درنظر گرفته شده است. با توجه به سناریو ۲ در زیربند ۶-۲-۲ اگر $N=10^6$ درنظر گرفته شود، تعداد تخمینی درایه‌های ضرب شاخص تجمیعی برابر با $9*10^6*3*2$ است. اگر حجم هر درایه، حداکثر 4byte باشد حجم نهایی درایه‌های شاخص تجمیعی کل سیستم 216 Mbyte است. درصورتی‌که ۴۰۰ کاربر به‌صورت هم‌زمان به سامانه درخواست محاسبه‌ی شاخص تجمیعی کنند، 8 GB حافظه نیاز است. حال با درنظرگرفتن موارد غیرقابل‌پیش‌بینی و بهینه نبودن کدهای برنامه در مرحله‌ی اول 16 GB رم کافی است و همچنین با ارتقا سامانه می‌توان آن را افزایش داد.

[1] Offline

۲-۴- تخمین تعداد هسته‌های CPU

تعداد هسته‌های پردازشگر با توجه به نوع برنامه‌نویسی و پیاده‌سازی می‌تواند متفاوت باشد. اکثر پردازش‌های سامانه به صورت برون‌خطی انجام می شود و بیشترین پردازش مربوط به محاسبه‌ی شاخص تجمیعی کل سیستم می شود. همان‌طور که در ۲-۳ اشاره شد، تعداد ضرب‌های شاخص تجمیعی برابر با $27*10^6$ است. اگر هر عملیات ضرب را حداکثر ۲ پالس ساعت[1] در نظر گرفته شود (این مقدار با توجه به نوع برنامه‌نویسی متفاوت است ولی برای تخمین میزان پردازش، عددی مرسوم انتخاب شد). بنابراین تعداد پالس ساعت محاسبه شاخص تجمیعی $54*10^6$ است.

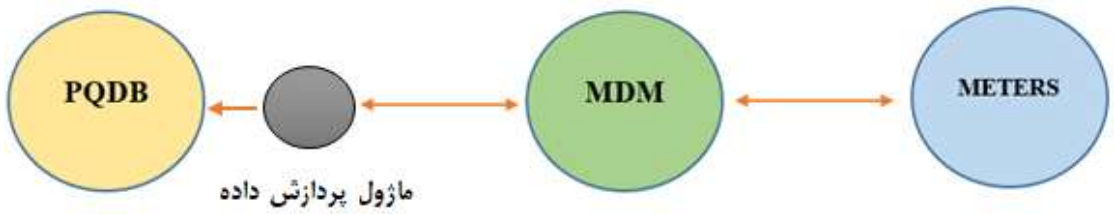
با توجه به محاسبات انجام‌شده، به نظر می‌رسد در فاز اولیه حداقل یک پردازشگر ۱۰ یا ۸ هسته‌ای ۲۵۰۰ مگاهرتز کافی باشد. به‌تدریج با افزایش کاربران می‌توان آن را با استفاده از افزایش تعداد پردازنده‌های سرور ارتقا داد. به‌عنوان‌مثال پردازنده‌ها زیر به نظر مناسب می‌رسند:

Intel® Core™ i9-10900KF Processor
Intel® Core™ i7-10700K Processor

به‌طور مثال سرعت پردازنده Intel® Core™ i9-10900KF Processor، 3.7GHz است (یعنی در هر ثانیه کریستال پردازشگر $3.7*10^{12}$ پالس ساعت نوسان می‌کند. با درگیرکردن یک هسته پردازشگر، کمتر از یک ثانیه ($54*10^6<3.7*10^{12}$) ماتریس مذکور را محاسبه کرد.

۲-۵- میزان تأخیر مجاز در ارسال اطلاعات بین سامانه‌های مختلف

کنتورها پس از ذخیره اطلاعات مرتبط با کیفیت توان، داده‌ها را به MDM ارسال می‌کنند. سپس پایگاه داده‌ی کیفیت توان با واسطه ماژول پردازش داده نیز از MDM درخواست ارسال اطلاعات را می‌کند. نحوه‌ی ارتباط کنتورها، MDM و پایگاه داده‌ی کیفیت توان (PQDB[2]) در شکل ۲-۱ نمایش داده شده است.



شکل ۲-۱: نحوه‌ی ارتباط کنتورها، MDM و پایگاه داده

دوره‌ی به‌روزرسانی MDM و دوره‌ی به‌روزرسانی پایگاه داده‌ی کیفیت توان میزان تأخیر مجاز بین سامانه‌های مختلف را معین می‌کند. در ادامه دوره‌ی تناوب ارسال اطلاعات بین سامانه‌های مختلف (میزان تأخیر) تشریح شده است.

[1] Clock

[2] Power Quality Database

دوره‌ی به‌روزر سانی MDM: ترجیحاً هر ۱۵ دقیقه یا حداکثر یک ساعت برای رخدادها (با توجه به احتمال پر شدن ظرفیت گزارش وقایع) و ترجیحاً هر ۲۴ ساعت و حداکثر هر هفته برای پروفایل‌های بار.

دوره‌ی به‌روزرسانی پایگاه داده‌ی کیفیت توان: ترجیحاً هر ۲۴ ساعت و حداکثر هر هفته[1] برای همه‌ی داده‌های کیفیت توان.

۲-۶- تخمین پهنای باند موردنیاز سرورها

پهنای باند موردنیاز برای ارسال اطلاعات از MDM به پایگاه داده به مواردی چون حجم اطلاعات و مدت‌زمان ارسال اطلاعات بستگی دارد. با توجه به اطلاعات ذخیره‌شده در کنتورها، حدوداً روزانه هر کنتور ۴۸ کیلوبایت داده ذخیره می‌کند. بر اساس سناریو ۱ چنانچه تعداد کنتورها را ۵۰۰۰۰۰، دوره به‌روزرسانی پایگاه داده یک روز و بازه‌ی زمانی ارسال اطلاعات را ۱ ساعت درنظر گرفت، پهنای باند موردنیاز با حاشیه امنیت مناسب با توجه به محاسبات زیر حدوداً 70Mbit/sec است.

پهنای باند موردنیاز = (حجم اطلاعات کنتور در یک روز * تعداد کنتورها) /زمان ارسال

48(Kbyte)*500000/3600(sec)=53.33 Mbit/sec

بر اساس سناریو ۲ چنانچه تعداد کنتورها را ۱۰۰۰۰۰۰، دوره به‌روزرسانی پایگاه داده یک روز و بازه‌ی زمانی ارسال اطلاعات را ۱ ساعت درنظر گرفت، پهنای باند موردنیاز با حاشیه امنیت مناسب با توجه به محاسبات زیر حدوداً 120Mbit/sec است.

پهنای باند موردنیاز = (حجم اطلاعات کنتور در یک روز * تعداد کنتورها) /زمان ارسال

48(Kbyte)*1000000/3600(sec)=106.66 Mbit/sec

بر اساس سناریو ۳ چنانچه تعداد کنتورها ۱۰۰۰۰۰۰۰ درنظر گرفته شود، پهنای باند ۱۰ برابر سناریو ۲ می‌شود (حدوداً 1Gbit/sec) به‌منظور کاهش پهنای باند پیشنهاد می‌شود در ساعات مختلف روز اطلاعات کنتورها به‌مرور ارسال شود.

میزان پهنای باند موردنیاز سرور نیز علاوه بر حجم داده‌های قابل‌ارائه به تعداد کاربران هم‌زمان سامانه نیز بستگی دارد. با توجه به تصادفی بودن این موضوع برای به دست‌آوردن این اطلاعات لازم است تا پهنای باند اولیه‌ای که در سناریو ۲ به دست آورده شد، برای فاز اولیه در نظر گرفته شود و به‌تدریج با آگاهی از رفتار کاربران می‌توان آن را اصلاح کرد.

[1] با توجه به این‌که برای محاسبه شاخص تجمیعی به آماره‌های هفتگی و روزانه نیاز است، بنابراین دوره به‌روزرسانی پایگاه داده روزانه و یا هفتگی تعیین شده است تا شاخص تجمیعی به‌روز باشد.

فصل سوم: طراحی ماژول‌های نرم‌افزاری موردنیاز سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان

۳-۱- مقدمه

به‌منظور افزایش کارایی و مقیاس‌پذیری سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان، طراحی این سامانه به شکل ماژولار صورت گرفته است. ماژول‌های سامانه‌ی پایش کیفیت توان با توجه به جریان اطلاعات در سامانه شکل گرفته است. به‌طوری‌که اطلاعات کیفیت توان پس از جمع‌آوری از دستگاه‌های اندازه‌گیری تا نمایش به کاربران سامانه در قالب ماژول‌های طراحی‌شده، به شکل بهینه‌ای ذخیره و پردازش‌شده و به شکل کاربردی گزارش می‌شوند. به‌طورکلی سامانه از چهار ماژول زیر تشکیل شده است.

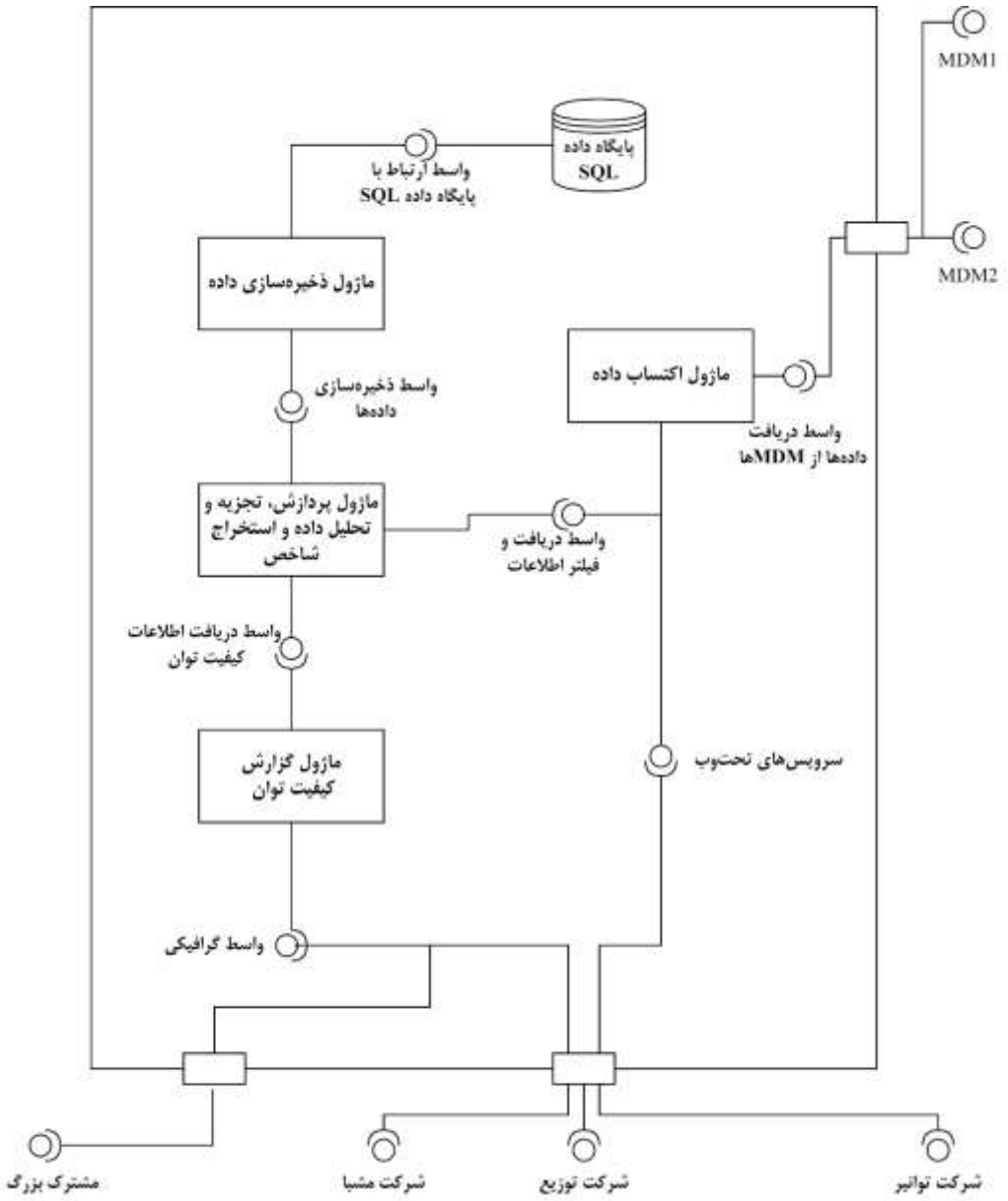
۱- ماژول جمع‌آوری و اکتساب داده

۲- ماژول ذخیره‌سازی داده

۳- ماژول پردازش، تجزیه‌وتحلیل داده و استخراج شاخص‌ها

۴- ماژول گزارش‌دهی کیفیت توان

در شکل ۳-۱ نحوه ارتباط ماژول‌ها در سامانه‌ی پایش کیفیت توان مشخص شده است. در ماژول جمع‌آوری و اکتساب داده، اطلاعات کیفیت توان موردنیاز مشخص‌شده و با واسط دریافت داده‌ها از MDM اطلاعات از کنتورها اخذ می شود. ماژول ذخیره سازی وظیفه‌ی نگه‌داری بهینه اطلاعات کیفیت توان را در پایگاه داده کیفیت توان برعهده دارد. دوره‌ی زمانی نگه‌داری هر دسته از داده‌های کیفیت توان توسط مدیر سامانه تعیین شده و در ماژول ذخیره‌سازی اعمال می‌شود. اطلاعات ذخیره‌شده در پایگاه داده کیفیت توان توسط ماژول پردازش، تجزیه‌وتحلیل داده و استخراج شاخص‌ها، موردا ستفاده قرار می‌گیرد. در این ماژول، شاخص‌های ا ستاندارد پدیده‌های کیفیت توان هفتگی و روزانه و شاخص تجمیعی محا سبه و ذخیره سازی می شوند. در ماژول گزارش‌دهی با ا ستفاده از شاخص‌های محا سبه شده به تهیه‌ی نمودارهای تعریف‌شده پرداخته می‌شود.



شکل ۳-۱: نحوه‌ی تعامل ماژول‌های سامانه‌ی پایش کیفیت توان

۳-۲- ماژول جمع‌آوری و اکتساب داده

ماژول جمع‌آوری و اکتساب داده شامل ذخیره اطلاعات مرتبط با کیفیت توان کنتورها و ارسال اطلاعات به سامانه مدیریت کنتورها[1] است. به‌علاوه، این ماژول باید نسبت به اعتبارسنجی داده‌های ورودی نیز اقدام نماید. در جدول ۳-۱ ساختار ماژول جمع‌آوری و اکتساب داده توضیح داده شده است. در ادامه داده‌های مرتبط با کیفیت توان کنتورهای

[1] Meter data management

سامانه‌ی فهام و شرکت مدیریت شبکه برر سی شده ا ست. همچنین نحوه‌ی ار سال اطلاعات به MDM و تنظیمات موردنیاز کنتورها تشریح شده است.

جدول ۳-۱: ساختار ماژول جمع‌آوری و اکتساب داده

ماژول	ورودی‌ها	خروجی‌ها	پردازش
جمع‌آوری و اکتساب داده	داده‌های پروفایل بار کنتورهای فهام و MK6E	اطلاعات خام کنتورهای فهام و MK6E	ارسال اطلاعات خام به ماژول پردازش
	داده‌های گزارش وقایع کنتورهای فهام و MK6E		خدمات به سرویس‌های تحت‌وب

۳-۲-۱- اطلاعات مرتبط کیفیت توان کنتورهای فهام

از میان اطلاعات ذخیره‌شـــده در کنتورهای فهام، داده‌های مرتبط با پایش کیفیت توان به دو دســـته‌ی کلی تقســـیم می‌شوند.

۳-۲-۱-۱- داده‌های پروفایل‌های بار مرتبط با پایش کیفیت توان

کنتورهای فهام شامل ۱۰ پروفایل هستند که فقط ۴ پروفایل شامل اطلاعات کیفیت توان کنتور است. پروفایل‌های مرتبط با کیفیت توان در جدول ۳-۳ با رنگ سبز مشخص شده‌اند.

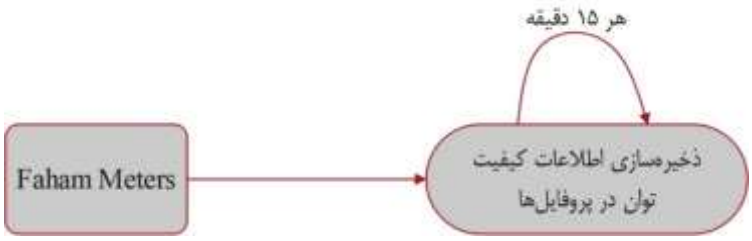
جدول ۳-۲: پروفایل‌های کنتورهای فهام [۲۷]

Profile	OBIS CODE	Description	Number of Channels*
Load Profile 1	7,1-0:99.1.0.255	Energy Values	5
Load Profile 2	7,1-0:99.2.0.255	Daily Billing Data	37
Avg. Profile	7,1-0:99.133.0.255	Power Quality	14
Max. Profile	7,1-0:99.134.0.255	Power Quality	14
Min. Profile	7,1-0:99.135.0.255	Power Quality	14
Harmonics Profile	7, 1-0:99.136.0.255	Harmonics	42
M-bus 1	7,0-1:24.3.0.255	Water Meter	4
M-bus 2	7,0-2:24.3.0.255	Gas Meter	4
M-bus 3	7,0-3:24.3.0.255	Reserved	4
M-bus 4	7,0-4:24.3.0.255	Irrigation Meter	4
* Excluding time stamp and profile status			

داده‌های پروفایل‌های مرتبط با کیفیت توان بر اساس دوره تناوب پروفایل‌های بار[1] کنتورهای فهام، ذخیره می‌شوند. بر ا ساس ا ستانداردهای IEEE 1159 و EN 50160 پنجره‌ی میانگین‌گیری پارامترهای انحراف ولتاژ مؤثر، THD و عدم تعادل ولتاژ ۱۰ دقیقه ذکر شـده اسـت [۲۸] [۲۹]. با توجه به‌این‌که از این داده‌ها برای محاسـبه شـاخص تجمیعی ا ستفاده می شود، دوره‌ی تناوب پروفایل‌های بار کنتور ۱۰ دقیقه پی شنهاد می شود. ولی با توجه به شرایط حال حا ضر

[1] Capture period

سامانه، ۱۵ دقیقه درنظر گرفته شده است. در شکل ۳-۲ روش ذخیره‌ی اطلاعات پروفایل‌های بار کنتورهای فهام آمده است.



شکل ۳-۲: نحوه‌ی ذخیره‌ی اطلاعات کیفیت توان در پروفایل‌های بار کنتورهای فهام

در جدول ۳-۳ پارامترهای ذخیره شده در پروفایل‌های بار مرتبط با کیفیت توان و محاسبه شاخص تجمیعی آمده است. تمامی داده‌ها به همراه جزئیات و توضیح دلیل نیاز به این داده مشخص، در جدول ۳-۳ آمده است. همان‌طور که در جدول ۳-۲ مشخص شد، ۴ پروفایل بار مرتبط با کیفیت توان بودند، ولی با توجه به این‌که در مرحله‌ی نخست پایش کیفیت توان، اطلاعات مرتبط با شاخص تجمیعی در اولویت است، فقط اطلاعات Avg Profile و Harmonics Profile موردنیاز است. لازم به ذکر است تمامی پارامترها بر اساس استاندارد IEEE 1159.2019 انتخاب شده است. دو پروفایل Min Profile و Max Profile اطلاعات بیشتری در مورد پدیده‌های کیفیت توان فراهم می‌آورند و به موارد پیشرفته‌تر پایش کیفیت توان مرتبط هستند. بنابراین، این موارد در پیوست ۲ ذکر شده است تا در مراحل بعدی پیشرفت سامانه‌ی پایش کیفیت توان، در صورت نیاز استفاده شوند.

جدول ۳-۳: پارامترهای اندازه‌گیری‌شده در پروفایل‌های کنتورهای فهام [۳۰]

Profile Name	Capture Period	Capture Object Name	Data Types	Capture Object OBIS Code	Description
Average Values Profile	15 min	Clock	Integer Date & Time YYYYMMDDwwHHmmSS	8,0-0:1.0.0.255	زمان ذخیره‌ی اطلاعات در کنتور را مشخص می‌کند. بنابراین نیاز است که همیشه به همراه داده‌ها قرار گیرد.
		Profile Status 4	Unsigned	1,0-0:96.10.10.255	اطلاعات تکمیلی در مورد وضعیت مقادیر ذخیره‌شده در بافر پروفایل‌ها را فراهم می‌کند. سیستم HES/MDM از این اطلاعات برای تصمیم‌گیری در مورد اعتبار مقادیر جمع‌آوری‌شده استفاده خواهد کرد.
		Last Average Value of Voltage L1	Long Unsigned F31 ###.#	3,1-0:32.25.0.255	برای ارزیابی پدیده‌های Under/Over voltage، به ولتاژ مؤثر برای محاسبه‌ی شاخص انحراف ولتاژ مؤثر (dV_{rms}) فراهم می‌سازد.
		Last Average Value of Voltage L2	Long Unsigned F31 ###.#	3,1-0:52.25.0.255	
		Last Average Value of Voltage L3	Long Unsigned F31 ###.#	3,1-0:72.25.0.255	
		Last Average Value of Current L1	Long Unsigned F32 ###.##	3,1-0:31.25.0.255	با استفاده از این پارامترها ارزیابی پدیده‌های Unbalanced load و Current overload را فراهم می‌آورد.
		Last Average Value of Current L2	Long Unsigned F32 ###.##	3,1-0:51.25.0.255	
		Last Average Value of Current L3	Long Unsigned F32 ###.##	3,1-0:71.25.0.255	
Harmonic Profile	15 min	Clock	Integer Date & Time YYYYMMDDwwHHmmSS	8,0-0:1.0.0.255	زمان ذخیره‌ی اطلاعات در کنتور را مشخص می‌کند.
		Profile Status 3	Unsigned	1,0-0:96.10.9.255	اطلاعات تکمیلی در مورد وضعیت مقادیر ذخیره‌شده در بافر پروفایل‌ها را فراهم می‌کند. سیستم HES/MDM از این اطلاعات برای تصمیم‌گیری در مورد اعتبار مقادیر جمع‌آوری‌شده استفاده خواهد کرد.
		Current Average value of 3th harmonic Voltage L1	Long Unsigned F21##.#	1-0:32.24.3.255	در استاندارد EN 50160 محدودیت برای مؤلفه‌های هارمونیکی ولتاژ کم‌تر از ۲۵ در نظر گرفته است.

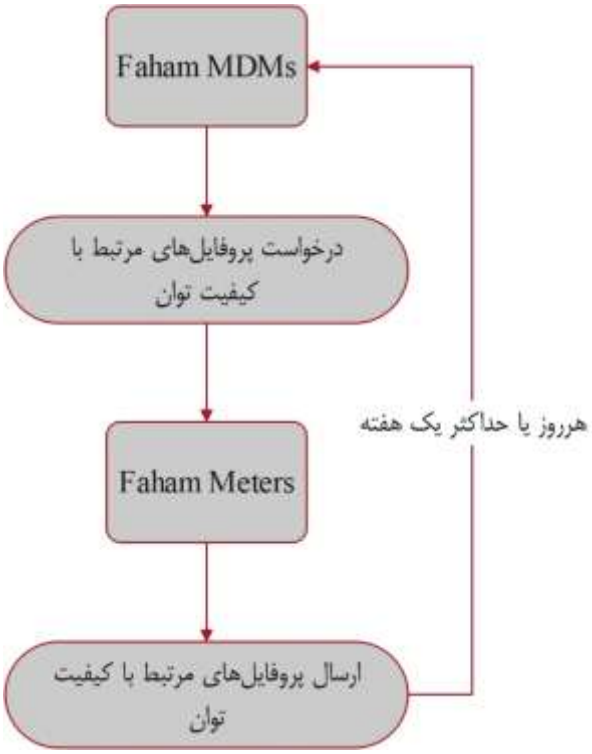
		Current Average value of 3th harmonic Voltage L2	Long Unsigned F21##.#	1-0:52.24.3.255	
		Current Average value of 3th harmonic Voltage L3	Long Unsigned F21##.#	1-0:72.24.3.255	
		Current Average value of 5th harmonic Voltage L1	Long Unsigned F21##.#	1-0:32.24.5.255	
		Current Average value of 5th harmonic Voltage L2	Long Unsigned F21##.#	1-0:52.24.5.255	
		Current Average value of 5th harmonic Voltage L3	Long Unsigned F21##.#	1-0:72.24.5.255	
		Current Average value of 7th harmonic Voltage L1	Long Unsigned F21##.#	1-0:32.24.7.255	
		Current Average value of 7th harmonic Voltage L2	Long Unsigned F21##.#	1-0:52.24.7.255	
		Current Average value of 7th harmonic Voltage L3	Long Unsigned F21##.#	1-0:72.24.7.255	
		Current Average value of 9th harmonic Voltage L1	Long Unsigned F21##.#	1-0:32.24.9.255	
		Current Average value of 9th harmonic Voltage L2	Long Unsigned F21##.#	1-0:52.24.9.255	
		Current Average value of 9th harmonic Voltage L3	Long Unsigned F21##.#	1-0:72.24.9.255	
		Current Average value of 11th harmonic Voltage L1	Long Unsigned F21##.#	1-0:32.24.11.255	

	1-0:52.24.11.255	Long Unsigned F21##.#	Current Average value of 11th harmonic Voltage L2		
	1-0:72.24.11.255	Long Unsigned F21##.#	Current Average value of 11th harmonic Voltage L3		
	1-0:32.24.13.255	Long Unsigned F21##.#	Current Average value of 13th harmonic Voltage L1		
	1-0:52.24.13.255	Long Unsigned F21##.#	Current Average value of 13th harmonic Voltage L2		
	1-0:72.24.13.255	Long Unsigned F21##.#	Current Average value of 13th harmonic Voltage L3		
بررسی THD_v هر فاز را فراهم می‌آورد.	1-0:32.24.124.255	Long Unsigned F21##.#	Current Average value of THD of VoltageL1		
	1-0:52.24.124.255	Long Unsigned F21##.#	Current Average value of THD of Voltage L2		
	1-0:72.24.124.255	Long Unsigned F21##.#	Current Average value of THD of Voltage L3		
در مطالعات آینده به‌منظور تشخیص منشأ ایجاد مؤلفه‌های هارمونیکی مفید است.	1-0:31.24.3.255	Long Unsigned F21##.#	Current Average value of 3th harmonic Current L1		
	1-0:51.24.3.255	Long Unsigned F21##.#	Current Average value of 3th harmonic Current L2		
	1-0:71.24.3.255	Long Unsigned F21##.#	Current Average value of 3th harmonic Current L3		
	1-0:31.24.5.255	Long Unsigned F21##.#	Current Average value of 5th harmonic Current L1		
	1-0:51.24.5.255	Long Unsigned F21##.#	Current Average value of 5th harmonic Current L2		

		Current Average value of 5th harmonic Current L3	Long Unsigned F21##.#	1-0:71.24.5.255	
		Current Average value of 7th harmonic Current L1	Long Unsigned F21##.#	1-0:31.24.7.255	
		Current Average value of 7th harmonic Current L2	Long Unsigned F21##.#	1-0:51.24.7.255	
		Current Average value of 7th harmonic Current L3	Long Unsigned F21##.#	1-0:71.24.7.255	
		Current Average value of 9th harmonic Current L1	Long Unsigned F21##.#	1-0:31.24.9.255	
		Current Average value of 9th harmonic Current L2	Long Unsigned F21##.#	1-0:51.24.9.255	
		Current Average value of 9th harmonic Current L3	Long Unsigned F21##.#	1-0:71.24.9.255	
		Current Average value of 11th harmonic Current L1	Long Unsigned F21##.#	1-0:31.24.11.255	
		Current Average value of 11th harmonic Current L2	Long Unsigned F21##.#	1-0:51.24.11.255	
		Current Average value of 11th harmonic Current L3	Long Unsigned F21##.#	1-0:71.24.11.255	
		Current Average value of 13th harmonic Current L1	Long Unsigned F21##.#	1-0:31.24.13.255	
		Current Average value of 13th harmonic Current L2	Long Unsigned F21##.#	1-0:51.24.13.255	

	1-0:71.24.13.255	Long Unsigned F21##.#	Current Average value of 13th harmonic Current L3		
بررسی THDi هر فاز را فراهم می‌آورد. در مطالعات آینده به‌منظور تشخیص منشأ ایجاد مؤلفه‌های هارمونیکی مفید است.	1-0:31.24.124.255	Long Unsigned F21##.#	Current Average value of THD of current L1		
	1-0:51.24.124.255	Long Unsigned F21##.#	Current Average value of THD of current L2		
	1-0:71.24.124.255	Long Unsigned F21##.#	Current Average value of THD of current L3		

در شـکل ۳-۳ نحوه‌ی ارسـال اطلاعات به MDM در قالب نمودار UML نمایان اسـت. توضـیح آن‌که پس از ذخیره‌ی اطلاعات پروفایل‌های مرتبط با کیفیت توان در کنتورها، MDM از کنتورها درخواست ارسال اطلاعات را دارد. کنتورها پس از دریافت این پیام، داده‌های مذکور را به MDM ارسال می‌کنند. این روند ترجیحاً هر روز و یا حداکثر هر هفته تکرار می‌شود. چنانچه بسترهای مخابراتی امکان ارسال روزانه داده را داشته باشند، انتخاب یک روز است در غیر این صورت با توجه به منابع موجود تا یک هفته افزایش می‌یابد.



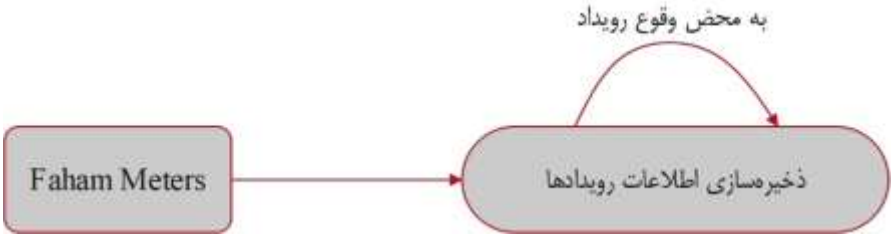
شکل ۳-۳: نحوه‌ی ارسال اطلاعات پروفایل‌های بار کنتورهای فهام به MDM

۳-۲-۱-۲- داده‌های ناشی از رخداد پدیده‌های کیفیت توان

وقایع در کنتورهای فهام به دو دسته کلی رخدادهای عادی[1] و هشدارها[2] تقسیم می‌شوند. رویدادهای عادی به‌عنوان حالت "Pull" توسط سیستم مرکزی جمع‌آوری می‌شوند؛ اما هشدارها از طریق مکانیزم "Push" به سیستم مرکزی ارسال می‌شوند. هشدارها مهم‌ترین وقایع هستند و سیستم مرکزی باید به‌محض وقوع هشدار مطلع شود؛ بنابراین هشـدارها علاوه بر این‌که در گزارش‌های مرتبط با وقایع ذخیره می‌شـوند، به‌محض وقوع هشـدار، شـرایط مرتبط با آن رخداد به MDM ارسال می‌شود. یادآوری این نکته ضروری است که تمامی وقایع از قبیل هشدارها و رخدادهای عادی به‌محض وقوع در گزارش وقایع ذخیره می‌شوند. شکل ۳-۴ روند ذخیره‌ی اطلاعات رویدادها را در گزارش وقایع نشان می‌دهد.

[1] Normal Events (Status)

[2] Alarm



شکل ۳–۴: روند ذخیره‌ی اطلاعات رویدادها در گزارش وقایع

گزارش وقایع کنتورهای فهام به شرح زیر هستند:

- Standard Events Log;
- Fraud Detection Events Log;
- Disconnect Control Events Log;
- Power Quality Events Log;
- Communication Events Log;
- Power Failure Events Log;
- M-bus Events Log;

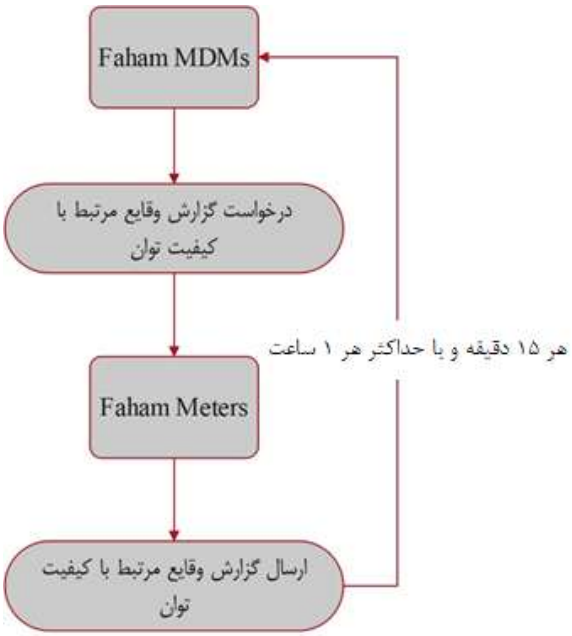
رخدادهای مرتبط با کیفیت توان در Power Quality Event Log، Power Failure Event Log، Standard Event Log و Disconnect Control Events به‌محض وقوع ذخیره می‌شوند. جدول ۳–۴ نشان‌گر اطلاعاتی است که با وقوع رخدادهای مذکور در گزارش وقایع ذخیره می‌شوند.

جدول ۳–۴: گزارش وقایع مرتبط با کیفیت توان کنتورهای فهام [۲۷]

Event Log	Parameter Name	Source COSEM (Capture) Object	Data type
Power Quality Event Log (7, 0-0:99.98.4.255)	Clock (Timestamp)	8,0-0:1.0.0.255,2,0	integer
	Event Code	1,0-0:96.11.4.255,2,0	Unsigned
	Magnitude of Power Quality Event	1,0-0:96.11.11.255,2,0	Long unsigned F31###.#
	Duration of Power Quality Event	1,0-0:96.11.12.255,2,0	Double long unsigned I8########
	Number of Power Quality Event	1,0-0:96.11.12.255,2,0	Long unsigned I5#####
Power Failure Event Log (7,1-0:99.97.0.255)	Clock (Timestamp)	8,0-0:1.0.0.255,2,0	integer
	Event Code	1,0-0:96.11.6.255,2,0	Unsigned
	Duration of Long Power Failure in Any Phase	1,0-0:96.7.19.255,2,0	Double long unsigned I8########
Standard Event Log (7, 0-0:99.98.0.255)	Clock (Timestamp)	8,0-0:1.0.0.255,2,0	integer
	Event Code	1,0-0:96.11.0.255,2,0	Unsigned
	Event Parameter (Sub-events)	1,0-0:96.11.10.255,2,0	integer I2 ##

Disconnect Control Events Log (7,0-0:99.98.2.255)	Clock (Timestamp)	{8,0-0:1.0.0.255,2,0}	integer
	Event Code	{1, 0-0:96.11.2.255, 2, 0}	Unsigned
	Active Threshold Value of Limiter	{71, 0-0:17.0.0.255, 3, 0}	unknown

ظرفیت گزارش وقایع مذکور، ۵۰ رخداد اســت. با توجه به احتمال پر شــدن ظرفیت گزارش، این داده‌ها باید هر ۱۵ دقیقه و حداکثر هر یک ساعت به MDM ارسال شوند. شکل ۳–۵ این روند را نشان می‌دهد.



شکل ۳–۵: روند ارسال گزارش وقایع به MDM

همان‌طور که در جدول ۳–۴ قید شده است، با وقوع یک رخداد کد مربوطه به آن در گزارش وقایع ضبط می‌شود. در کنتورهای فهام ۲۵۵ کد رویداد در نظر گرفته شــده اســت. موارد موجود در جدول ۳–۵ رویدادهای مرتبط به ســامانه‌ی پایش کیفیت توان ا ست. همچنین ارتباط هر رویداد با پدیده‌های کیفیت توان بر ا ساس ا ستاندارد IEEE1159.2019 در جدول مذکور قید شده است.

جدول ۳-۵: جزئیات وقایع مرتبط با کیفیت توان کنتورهای فهام [۳۱]

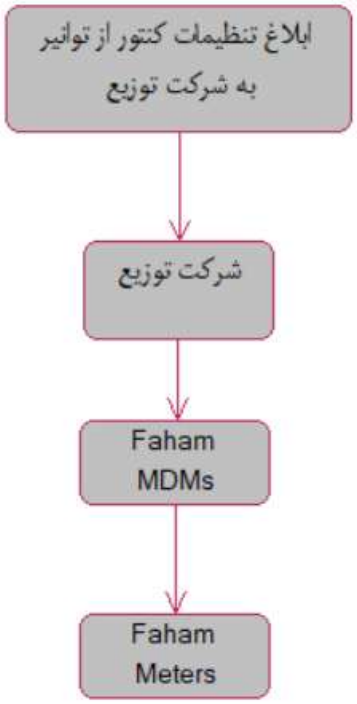
Event Code	Event Name	Group of Events		Group of Logs				Relevant Power Quality Phenomenon According To Table 2 Of IEEE 1159	Description
		Normal	Alarm	Standard	Power Quality	Power Failure	Disconnect Control		
1	Power Down		*	*				2.2.1, 2.3.1, 3.1	در مواقعی که وقفه رخ می‌دهد. با افت شدید ولتاژ کنتور خاموش می‌شود. علاوه بر این مورد یکی از بیت‌های رجیستر Profile status نشان دهنده‌ی خاموشی کنتور هنگام ذخیره‌ی اطلاعات پروفایل‌ها است.
2	Power Up		*	*				2.2.1, 2.3.1, 3.1	بعد از به اتمام رسیدن وقفه و وصل شدن منبع تغذیه، کنتور روشن می‌شود.
3	Daylight Saving Time Activated Regularly	*		*				All	هرگونه تغییری بر روی ساعت کنتور بر روی اطلاعات تأثیرگذار است. این رخداد تغییر ساعت از و یا به‌وقت تابستانی را مشخص می‌کند.
4	Clock Adjust (old time /date)	*		*				All	هرگونه تغییری بر روی ساعت کنتور بر روی اطلاعات تأثیرگذار است.
5	Clock Adjust (new time /date)	*		*				All	هرگونه تغییری بر روی ساعت کنتور بر روی اطلاعات تأثیرگذار است.
6	Indicates Clock Invalid		*	*				All	هرگونه تغییری بر روی ساعت کنتور بر روی اطلاعات تأثیرگذار است.
16	Measurement System Error		*	*				All	اندازه‌گیری‌ها معتبر نیست.
47	Parameter (s) Changed	*		*				2, 3, 4, 5.2	با تغییر پارامترهای کنتور ازجمله پارامترهای مرتبط به کیفیت توان قیدشده در ادامه، این رخداد ثبت می‌شود.

									Avg. Values Profile capture period Min. Values Profile capture period Max. Values Profile capture period Harmonics profile Capture Period Time Threshold for Under Voltage Detection Time Threshold for Over Voltage Detection Threshold for Under Voltage Detection Threshold for Over Voltage Detection Time Threshold for Missing Voltage Threshold for Missing Voltage Time threshold for long power failure با بررسی این رخداد شرکت توانیر می‌تواند از درستی اجرای تنظیمات ابلاغی به شرکت‌های توزیع مطلع شود.
70	Fuse supervision L1, threshold exceeded	*					*	3.4	در صورت افزایش بیش‌ازحد جریان، رله فاز مربوطه جریان را قطع می‌کند.
71	Fuse supervision L1, threshold OK	*					*	3.4	درصورتی‌که جریان در حد نرمال باشد.
72	Fuse supervision L2, threshold exceeded	*					*	3.4	در صورت افزایش بیش‌ازحد جریان، رله فاز مربوطه جریان را قطع می‌کند.
73	Fuse supervision L2, threshold OK	*					*	3.4	درصورتی‌که جریان در حد نرمال باشد.
74	Fuse supervision L3, threshold exceeded	*					*	3.4	در صورت افزایش بیش‌ازحد جریان، رله فاز مربوطه جریان را قطع می‌کند.
75	Fuse supervision L3, threshold OK	*					*	3.4	درصورتی‌که جریان در حد نرمال باشد.
76	Under Voltage (Voltage Sag) L1	*			*			2.2.2, 2.3.2, 3.2	در صورت وقوع فرورفتگی و افت ولتاژ، این رخداد ثبت می‌شود.

77	Under Voltage (Voltage Sag) L2	*			*			2.2.2, 2.3.2, 3.2	در صورت وقوع فرورفتگی و افت ولتاژ، این رخداد ثبت می‌شود.
78	Under Voltage (Voltage Sag) L3	*			*			2.2.2, 2.3.2, 3.2	در صورت وقوع فرورفتگی و افت ولتاژ، این رخداد ثبت می‌شود.
79	Over Voltage (Voltage Swell) L1	*			*			2.2.3, 2.3.3, 3.3	در صورت وقوع برآمدگی و افزایش بیش‌ازحد ولتاژ، این رخداد ثبت می‌شود.
80	Over Voltage (Voltage Swell) L2	*			*			2.2.3, 2.3.3, 3.3	در صورت وقوع برآمدگی و افزایش بیش‌ازحد ولتاژ، این رخداد ثبت می‌شود.
81	Over Voltage (Voltage Swell) L3	*			*			2.2.3, 2.3.3, 3.3	در صورت وقوع برآمدگی و افزایش بیش‌ازحد ولتاژ، این رخداد ثبت می‌شود.
82	Missing Voltage (Voltage Cut) L1		*		*			2.2.1, 2.3.1, 3.1	شروع پدیده‌ی وقفه کوتاه‌مدت یا طولانی‌مدت را مشخص می‌کند.
83	Missing Voltage (Voltage Cut) L2		*		*			2.2.1, 2.3.1, 3.1	شروع پدیده‌ی وقفه کوتاه‌مدت یا طولانی‌مدت را مشخص می‌کند.
84	Missing Voltage (Voltage Cut) L3		*		*			2.2.1, 2.3.1, 3.1	شروع پدیده‌ی وقفه کوتاه‌مدت یا طولانی‌مدت را مشخص می‌کند.
88	Phase Sequence Reversal		*	*				-	تغییر توالی فازها در مواردی موجب خرابی تجهیزات الکتریکی می‌شود. در مطالعات آتی به منظور عیب‌یابی شبکه، بررسی این پارامتر مفید است.
89	Missing neutral		*	*				All	امکان وجود خطا در اندازه‌گیری وجود دارد.
90	Load Unbalance		*	*				4.2	
216	Factory reset	*			*			All	بازگشت به تنظیمات کارخانه، باعث تغییر بخش عمده‌ای از تنظیمات از قبل تعیین‌شده و اختلال در محاسبه شاخص شود.

210	Long power failure in all phases	*				*		3.1	
211	Long power failure in phase1	*				*		3.1	
212	Long power failure in phase2	*				*		3.1	
213	Long power failure in phase3	*				*		3.1	
217	Under Voltage end L1	*			*			2.2.2, 2.3.2, 3.2	
218	Under Voltage end L2	*			*			2.2.2, 2.3.2, 3.2	
219	Under Voltage end L3	*			*			2.2.2, 2.3.2, 3.2	
220	Over Voltage end L1	*			*			2.2.3, 2.3.3, 3.3	
221	Over Voltage end L2	*			*			2.2.3, 2.3.3, 3.3	
222	Over Voltage end L3	*			*			2.2.3, 2.3.3, 3.3	
223	Missing Voltage end L1	*			*			2.2.1, 2.3.1, 3.1	پایان وقفه مشخص می‌شود.
224	Missing Voltage end L2	*			*			2.2.1, 2.3.1, 3.1	پایان وقفه مشخص می‌شود.
225	Missing Voltage end L3	*			*			2.2.1, 2.3.1, 3.1	پایان وقفه مشخص می‌شود.
254	Load profile cleared	*		*				-	برای بررسی صحت عملکرد نرم‌افزار مانیتورینگ کاربرد دارد. برای نظارت بر صحت عملکرد شرکت‌های توزیع نیز کاربرد دارد.
255	Any of event logs were cleared	*		*	*	*		All	برای بررسی صحت عملکرد نرم‌افزار مانیتورینگ کاربرد دارد. برای نظارت بر صحت عملکرد شرکت‌های توزیع نیز کاربرد دارد.

به‌منظور پایش یکپارچه‌ی شبکه، لازم است که تنظیمات مرتبط با کیفیت توان کنتورها، یکسان‌سازی شود. همان‌طور که در شکل ۳-۶ آمده است این تنظیمات توسط توانیر به شرکت‌های توزیع ابلاغ می‌شود. پس از آن شرکت های توزیع به مراکز مدیریت داده های کنتورهای موجود تنظیمات جدید را ابلاغ کرده و این مراکز تغییرات را اعمال می‌کنند. در جدول ۳-۶ تغییرات لازم جهت یکسان‌سازی تنظیمات کنتورهای فهام قید شده است. استانداردهای IEEE 1159 و EN 50160 اساس تنظیمات پایش کیفیت توان در نظر گرفته شده‌اند.



شکل ۳-۶: ابلاغ تنظیمات کنتور از توانیر به شرکت‌های توزیع

جدول ۳-۶: تنظیمات کنتورهای فهام [۳۰]

Power Quality Events	Capture Object Name	Capture Object OBIS Code	Proposed Values	Description
Voltage Sag (Under Voltage)	Threshold for Voltage Sag	3,1-0:12.31.0.255	0.9pu	با تغییر این مورد سطح بالای ولتاژ پدیده‌های Sag و Under voltage نیز تغییر می‌کند.
	Time threshold for Voltage Sag	3,1-0:12.43.0.255	1 sec	با توجه به این‌که در کنتورهای فهام پدیده‌های Sag و Under voltage یکسان درنظر گرفته شده‌اند. در طراحی لایه‌های نرم‌افزار پایش کیفیت توان افت بیش‌ازحد ولتاژی که در بازه‌ی زمانی یک تا ۶۰ ثانیه باشد به پدیده‌ی Sag محسوب می‌شود (فرورفتگی‌های ولتاژ بین یک تا سه ثانیه Momentary sag و بین ۴ تا ۶۰ ثانیه Temporary sag نامیده می‌شوند). چنانچه طول این رخداد از یک دقیقه بیش‌تر باشد Under voltage محسوب می‌شود.
Voltage Swell (Over Voltage)	Threshold for Voltage Swell	3, 1-0:12.35.0.255	1.1pu	با تغییر این مورد سطح بالای ولتاژ پدیده‌های Sag و Under voltage نیز تغییر می‌کند.
	Time threshold for Voltage Swell	3,1-0:12.44.0.255	1 sec	با توجه به این‌که در کنتورهای فهام پدیده‌های Swell و Over voltage یکسان درنظر گرفته شده‌اند. در طراحی لایه‌های نرم‌افزار پایش کیفیت توان افت بیش‌ازحد ولتاژی که در بازه‌ی زمانی یک تا ۶۰ ثانیه باشد به پدیده‌ی Swell محسوب می‌شود (فرورفتگی‌های ولتاژ بین یک تا سه ثانیه Momentary swell و بین ۴ تا ۶۰ ثانیه Temporary swell نامیده می‌شوند). چنانچه طول این رخداد از یک دقیقه بیش‌تر باشد Over voltage محسوب می‌شود.
Voltage Cut	Threshold for Missing Voltage (Voltage Cut)	3, 1-0:12.39.0.255	0.1pu	برش ولتاژ شاخصی است که پدیده‌ی وقفه بر اساس آن تعریف می‌شود. بدین معنا که وقفه‌ای صورت نمی‌گیرد مگر زمانی که کنتور اعلام برش ولتاژ بکند.
	Time Threshold for Voltage Cut	3, 1-0:12.45.0.255	1sec	چنانچه ولتاژ کم‌تر از حد آستانه برش ولتاژ شود ولی زمان آستانه برش ولتاژ نگذرد وقفه‌ای ثبت نمی‌شود. وقفه‌هایی که بین زمان آستانه‌ی برش ولتاژ و آستانه‌ی وقفه طولانی‌مدت قرار می‌گیرند، وقفه‌ی کوتاه‌مدت در نظر گرفته می‌شوند.
Long Power Failure/Interruption	Threshold for Power Failure	based on Voltage Cut threshold(3, 1-0:12.39.0.255)	0.1pu	

	Time Threshold for Long Power Failure	3, 0-0:96.7.20.255	60sec	مرز زمانی بین وقفه طولانی‌مدت و وقفه کوتاه‌مدت است.
Unbalance Load	Minimum Current (A)	1, 0-0:94.98.15.255	1 A	با توجه به این‌که هدف این پروژه تمرکز بر کیفیت توان ولتاژ است، بنابراین مقادیر پیش‌فرض تغییری نمی‌کند.
	Unbalance Threshold (%)		50%	

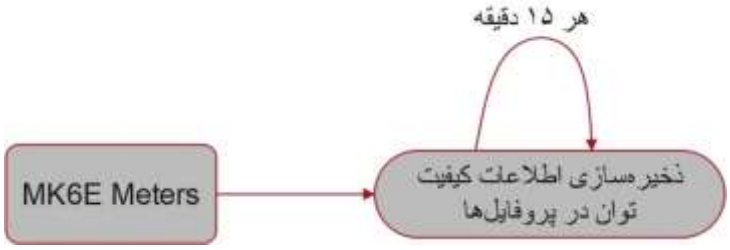
۳-۲-۲-اطلاعات مرتبط با کیفیت توان کنتورهای MK6E

از میان اطلاعات ذخیره‌شده در کنتورهای MK6E، داده‌های مرتبط با پایش کیفیت توان به دو دسته‌ی کلی تقسیم می‌شوند [۳۲].

۳-۲-۲-۱- داده‌های پروفایل‌های بار مرتبط با پایش کیفیت توان

کنتور MK6E قابلیت داشتن ۱۰ پروفایل بار (Load Survey) با حداکثر ۳۰ کانال در هر پروفایل را دارد. حافظه‌ی داخلی اختصاص داده شده به این پروفایل‌ها ۹۰۰ کیلوبایت در نظر گرفته شده است. همان‌طور که در شکل ۳-۷ مشخص است، دوره‌ی تناوب و روند ذخیره‌ی اطلاعات در پروفایل‌های بار، مشابه کنتورهای فهام در نظر گرفته شده است. پروفایل‌های بار بر اساس مقادیر لحظه‌ای یک‌ثانیه‌ای اطلاعات را ذخیره می‌کنند. کنتور MK6E قابلیت عملیات‌های میانگین‌گیری، کمینه‌یابی و بیشینه‌یابی بر روی مجموعه داده‌هایی که در دوره‌ی تناوب پروفایل‌های بار ذخیره می‌شوند را دارا است. همانند کنتورهای فهام، میانگین تعدادی از پارامترهای کیفیت توان مرتبط با شاخص تجمیعی به‌عنوان پارامترهای موردنیاز انتخاب می‌شود. لازم به ذکر است که پارامترهای مرتبط به پایش پیشرفته کیفیت توان در پیوست ۲ بیان شده است.

در جدول ۳-۷ اطلاعات لازم جهت ذخیره در پروفایل‌های بار برای پایش کیفیت توان ذکر شده است [۳۳]. تمامی پارامترها بر اساس استاندارد IEEE 1159 انتخاب شده است.



شکل ۳-۷: روند ذخیره‌ی اطلاعات در پروفایل‌های بار در کنتورهای MK6E

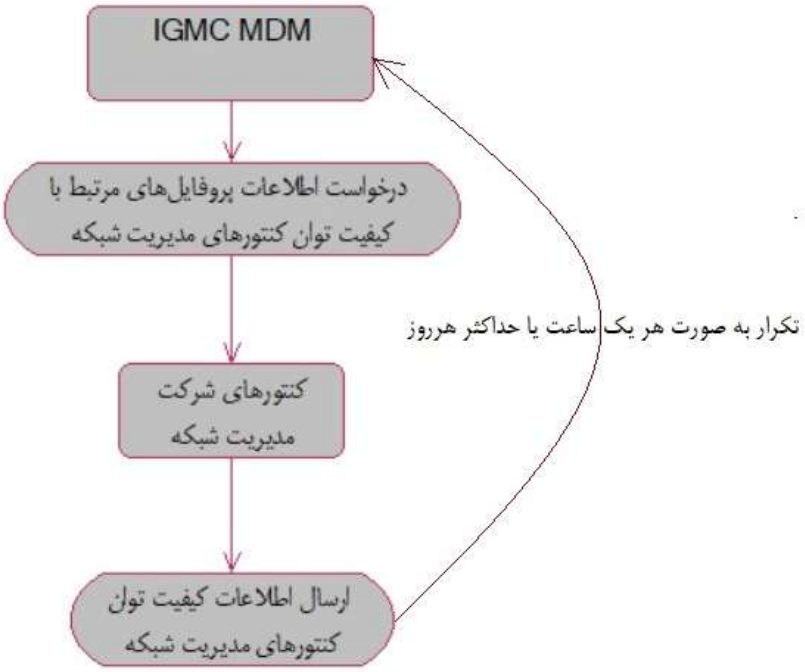
جدول ۳-۷: پارامترهای مرتبط با کیفیت توان در پروفایل‌های کنتورهای MK6E

Register Function	Description
Avg Phase A Voltage	کنتورهای MK6E تنها قادر به ثبت زمان و نوع رخداد پدیده‌های کیفیت توان است بنابراین برای اطلاع از ولتاژ پدیده‌های کیفیت توان به این اطلاعات نیاز است. به‌منظور محاسبه‌ی شاخص انحراف ولتاژ مؤثر (dV_{rms}) به این پارامترها نیاز است.
Avg Phase B Voltage	
Avg Phase C Voltage	
Avg Phase A Voltage offset	بر اساس استاندارد IEEE 1159، برای اطلاع از میزان DC offset به این اطلاعات نیاز است.
Avg Phase B Voltage offset	
Avg Phase C Voltage offset	
Avg Voltage Zero Sequence	

Avg Voltage Positive Sequence	برای محاسبه‌ی میزان عدم تعادل ولتاژ، به توالی‌های ولتاژ نیاز است.
Avg Voltage Negative Sequence	
Avg Phase A current	برای محاسبه‌ی شاخص current overload به این اطلاعات نیاز است.
Avg Phase B current	
Avg Phase C current	
Avg Phase A Current offset	بر اساس استاندارد IEEE 1159، برای اطلاع از میزان DC offset به این اطلاعات نیاز است.
Avg Phase B Current offset	
Avg Phase C Current offset	
Avg Current Zero Sequence	برای محاسبه میزان عدم تعادل جریان، به توالی‌های جریان نیاز است.
Avg Current Positive Sequence	
Avg Current Negative Sequence	
Frequency	فرکانس یکی از شاخص‌های کیفیت توان در استاندارد IEEE 1159 است.
Avg Phase A voltage THD (RMS of harmonics / fundamental)	بررسی میزان کل اعوجاج هارمونیک ولتاژ سه فاز را فراهم می‌سازد.
Avg Phase B voltage THD (RMS of harmonics / fundamental)	
Avg Phase C voltage THD (RMS of harmonics / fundamental)	
Avg Phase A current THD (RMS of harmonics / fundamental)	بررسی میزان کل اعوجاج هارمونیک جریان سه فاز را فراهم می‌سازد.
Avg Phase B current THD (RMS of harmonics / fundamental)	
Avg Phase C current THD (RMS of harmonics / fundamental)	
Avg Phase A voltage Harmonic level from 2 to 50 component	بررسی مؤلفه‌های هارمونیکی ولتاژ را فراهم می‌سازد.
Avg Phase B voltage Harmonic level from 2 to 50 component	
Avg Phase C voltage Harmonic level from 2 to 50 component	
Avg Phase A current Harmonic level from 2 to 50 component	بررسی مؤلفه‌های هارمونیکی جریان را فراهم می‌سازد.
Avg Phase B current Harmonic level from 2 to 50 component	
Avg Phase C current Harmonic level from 2 to 50 component	

پس از ذخیره‌ی اطلاعات در پروفایل‌های بار، داده‌های کیفیت توان به مرکز مدیریت داده‌های کنتورهای شـــرکت مدیریت شبکه[1] ارسال می شود. دوره‌ی به‌روزرسانی IGMC MDM هر یک ساعت و یا حداکثر هر روز درنظر گرفته شده است. روند ارسال اطلاعات به سیستم مرکزی در قالب نمودار UML در شکل ۳–۸ نمایان است.

[1] Iran Grid Management Company Meter data management (IGMC MDM)

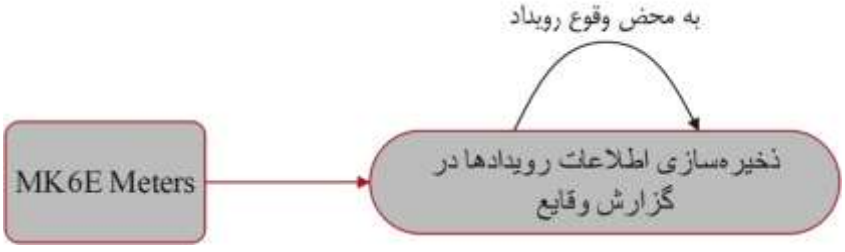


شکل ۳-۸: نمودار ارسال اطلاعات پروفایل‌های بار کنتورهای MK6E

۳-۲-۲-۲- داده‌های ناشی از رخداد پدیده‌های کیفیت توان

همان‌طور که در شکل ۳-۹ مشخص است، رخدادهای کنتورهای MK6E به‌محض وقوع در گزارش رویداد[1] ثبت می شوند. گزارش رویداد نوعی Survey محسوب می شوند. مواردی که در صورت وقوع یک رخداد در گزارش رویداد ذخیره می شود فقط شامل زمان، رشته‌ی رویداد[2] و وضعیت کنتور در حال ثبت رویداد[3] است. شکل ۳-۱۰ نمونه‌ای از خروجی یک گزارش رخداد در کنتور MK6E است.

پس از ذخیره‌ی اطلاعات رخدادها، روند ارسال اطلاعات MK6E به MDM مشابه کنتورهای فهام درنظرگرفته شده است. در شکل ۳-۱۱ این روند در قالب نمودار نشان داده شده است.



شکل ۳-۹: نمودار ذخیره‌ی اطلاعات وقایع در کنتورهای MK6E

[1] Event Log

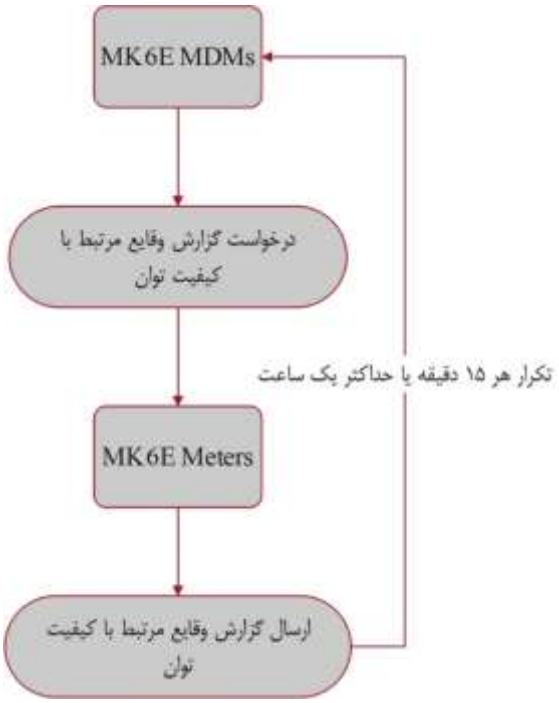
[2] Event string

[3] Record Status

[LoadSurvey]
LastRecord=0000000160

Record No	Time (0x0000F080)	Event (0x0000FC68)	Record Status
158	3/09/99 14:49:27	Local: Logoff: User request	.....
159	3/09/99 14:49:40	Power Off	...I.....
160	3/09/99 14:51:40	Power On	.....

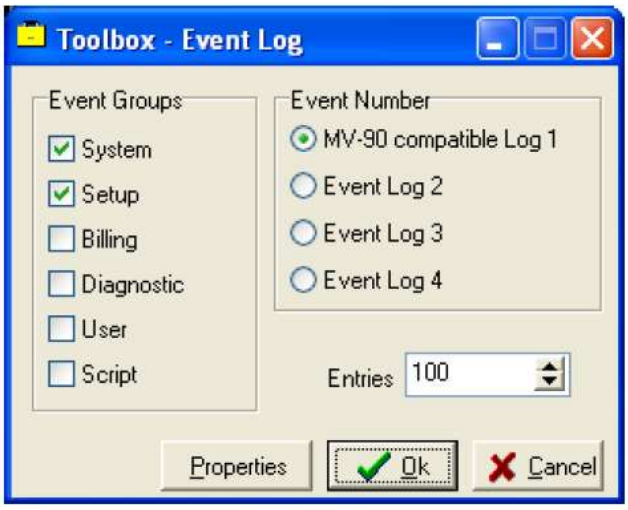
شکل ۳-۱۰: قالب خروجی گزارش وقایع در کنتورهای MK6E [۳۲]



شکل ۳-۱۱: ارسال اطلاعات گزارش وقایع کنتورهای MK6E به MDM

- **انواع گزارش وقایع در کنتورهای MK6E**

در کنتورهای MK6E می‌توان چندین گروه گزارش وقایع با ویژگی‌های مختلف ایجاد کرد. شـــکل ۳-۱۲ نحوه‌ی تشکیل گزارش رخداد توسط نرم‌افزار Eziveiw را به نمایش می‌گذارد.



شکل ۳-۱۲: تشکیل گزارش رویداد در کنتورهای MK6E [۳۳]

همان‌طور که در شکل ۳-۱۲ مشخص است، وقایع در کنتورهای MK6E به ۶ گروه تقسیم می شوند. رخدادهای مرتبط با پایش کیفیت توان در گروه وقایع سیستمی قرار دارند. در جدول ۳-۸ لیست وقایع سیستمی آورده شده است.

جدول ۳-۸: رخدادهای گروه سیستمی MK6E [۳۲]

Event String	Group	Description
Power Off	SYSTEM	**The time the meter was turned off.**
Power On	SYSTEM	**The time the meter powered up**
Recovered XXXX	SYSTEM	**The battery backed up copy of the indicated parameters was lost, but the information was retrieved from the data FLASH memory. May indicate a low battery**
Initialised XXXX	SYSTEM	**Both the battery backed up copy and the data FLASH copy of the indicated parameters was lost. The parameters have been initialised to default values. May indicate a fault in the FLASH, shutdown sequence setup, or power supply. Check for "Shutdown Complete" message on the LCD when power is disconnected.**
Recovering Extensions…	SYSTEM	**The battery backed up memory that holds the extensions was lost. The system is recovering the extensions that are backed up to the data FLASH**
Recovered Ext XXX	SYSTEM	**The indicated extension was recovered from the data FLASH. The amount of information recovered depends on the backup setup of the extension**
Database stage XX Cleared.	SYSTEM	**The indicated database stage was cleared – internal EDMI use**
Changing System Time…	SYSTEM	**The system time was changed from this time…**
...System Time Changed.	SYSTEM	**…to this time.**
EFA: XXXXXXXX	SYSTEM	**The indicated EFA was latched**
EFA Conditions Cleared	SYSTEM	**The latched EFA's were cleared**

- هشدارها در کنتورهای MK6E

تعدادی از وقایع مرتبط با کیفیت توان کنتورهای MK6E در قالب هشـدار[1] تعریف می‌شـوند. هشـدارهای مرتبط با کیفیت توان کنتورهای MK6E در جدول ۳-۹ قید شـده اسـت. پس از وقوع این هشـدارها، رشـته رخداد EFA: XXXXXXXX در گزارش رخداد مربوطه ثبت می‌شود. هشدارهای کنتورهای MK6E سه حالت دارند.

۱. حالت فعال[2] یعنی هشدار در حال رخ دادن است.

۲. حالت قفل‌شده[3] یعنی هشدار رخ داده است ولی در حال حاضر فعال نیست.

۳. حالت غیرفعال[4] یعنی هشدار در زمان گذشته و حال فعال نبوده است.

جدول ۳-۹: هشدارهای مرتبط با پایش کیفیت توان کنتورهای MK6E [۳۳] [۲۹]

Flag Letter	Alarm Name	Relevant Power Quality Phenomenon According To Table 2 Of IEEE 1159	Description
S	Asymmetric Power	4	عدم تعادل توان، عدم تعادل جریان و ولتاژ را نشان می‌دهد. چنانچه تمام جریان‌های ورودی کنتور از I_{min} کم‌تر باشند، این هشدار صادر نمی‌شود.
V	Voltage Tolerance Error	3.2, 3.3	چنانچه ولتاژ از مقادیر آستانه تعریف‌شده کم‌تر یا بیش‌تر شود این هشدار ثبت می‌شود.
F	Voltage Failure	2.2.1, 2.3.1, 3.1	چنانچه ولتاژ از V_{fail} کم‌تر شود این هشدار صادر می‌شود.
C	Clock Failure	All	هرگونه تغییری بر روی ساعت کنتور بر روی اطلاعات تأثیرگذار است.

- گزارش فرورفتگی/ برآمدگی ولتاژ در کنتورهای MK6E

در کنتورهای MK6E پدیده‌های فرورفتگی و برآمدگی متفاوت از هشدارها تعریف شده‌اند. اطلاعات مربوط به این پدیده‌ها در گزارش فرورفتگی/ برآمدگی ولتاژ[5] ذخیره می‌شـود. کنتور قادر به اندازه‌گیری فرورفتگی/ برآمدگی ولتاژ با مدت‌زمان بیش‌تر از ۵ دوره تناوب (۱۰۰ میلی‌ثانیه) ا ست. رجیسترهایی که اطلاعات وقوع این رخداد را ذخیره می‌کنند در جدول ۳-۱۰ آمده است.

[1] Equipment Failure Alarm, or EFA.

[2] Active

[3] Latched

[4] Inactive

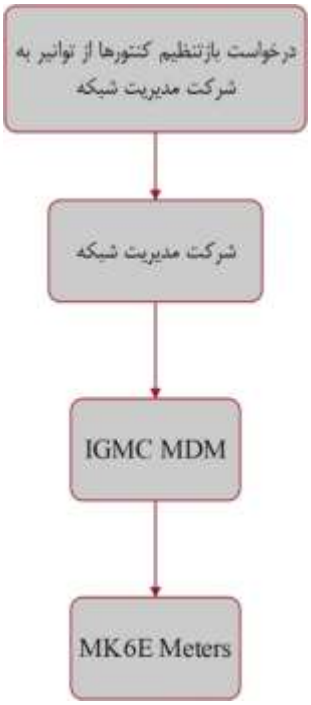
[5] Sag/Swell Log

جدول ۳-۱۰: موارد ذخیره‌شده در Sag/Swell Log کنتورهای MK6E [۳۳]

Register (Hex)	Data type		Register Function
FCC4	integer	8 bit	Type of trigger. 0 is the start of a trigger, 1 is the end of a trigger
FCC5	integer	8 bit	Phase of trigger. 0 to 2 are phases A to C.
FCC6	float	32 bit	Worst Voltage of the trigger in primary volts.
FCC7	float	32 bit	Worst Voltage of the trigger in percent of EFA nominal.
FCC8	integer	8 bit	Worst Voltage of the trigger in percent of EFA nominal
FCC9	Long integer	32 bit	Duration of the trigger in 5 cycle sets.
FCCA	float	32 bit	Duration of the trigger in seconds (assuming 50Hz or 60Hz).
FCCB	integer	8 bit	Trigger set that triggered. 0 to 3. Phase A, 1 phase B, 2 phase C, 3 power outage 0
FCCC	integer	8 bit	Combined status. Bits aaaabbcc, where aaaa is FCC4, bb is FCCB, and cc is FCC5
FCCD	Time/Date	6 byte	Start time of the event, calculated from the current time and the event duration assuming 50 or 60Hz. Only valid at the time of the event.
FD00	float	32 bit	Start of Sag trip point
FD01	float	32 bit	End of Sag trip point
FD02	float	32 bit	End of Swell trip point
FD03	float	32 bit	Start of Swell trip point
FD04 to FD0F	float	32 bit	The trip points for the remaining 3 sets of trigger setpoints
FD10	Long integer	32 bit	Minimum duration of trigger for trigger set 0. (in 5 cycle sets)
FD11	Long integer	32 bit	Maximum duration of trigger for trigger set 0. (in 5 cycle sets). Set to 0 to disable this trigger set
FD12 to FD17	Long integer	32 bit	Duration limits for the other 3 trigger sets
FD20	integer	8 bit	State of triggering for Phase A. (0 untriggered, 1 triggered low, 2 triggered high)
FD21	integer	8 bit	State of triggering for Phase B.
FD22	integer	8 bit	State of triggering for Phase C
FD23 to FD2B	integer	8 bit	State of triggering for the remaining 3 trigger sets

- **تنظیمات کنتورهای MK6E**

همان‌طور که در شکل ۳-۱۳ مشخص است اعمال این تنظیمات توسط توانیر از شرکت مدیریت شبکه درخواست می‌شـــود. پس از آن مدیریت شـــبکه به IGMC MDM تنظیمات جدید را ابلاغ کرده و این مراکز تغییرات را اعمال می‌کنند. تنظیمات مربوط به پدیده‌های کیفیت توان باید مشـــابه کنتورهای فهام و بر اســـاس اســـتاندارد IEEE 1159 انتخاب شود. جدول ۳-۱۱ رجیسترهای تنظیمات پدیده‌های کیفیت توان را مشخص کرده است.



شکل ۳-۱۳: اعمال تنظیمات جدید کنتورهای MK6E

جدول ۳-۱۱: موارد ذخیره‌شده در پروفایل‌های کنتورهای MK6E [۳۳]

Register (Hex)	Register Function	Proposed Values
F770	Imin. This is the minimum current required for the power symmetry, VT fail, Voltage tolerance, reverse power and the phase rotation checks to be valid. If all phase currents are below this level, then these plausibility checks will be disabled. Specified as % of nominal. Range 0 to 200	5%
F771	Vfail. VT fail point as a Percent of nominal Voltage. (Changed) Range 0 to 100.	10%
F772	Vmin. The minimum Voltage allowed from a VT. If the Voltage falls below this, then a Voltage tolerance error will be generated. Specified as % of nominal. Range 0 to 200.	90%
F773	Vmax. The maximum Voltage allowed from a VT. If the Voltage rises above this, then a Voltage tolerance error will be initiated. Specified as % of nominal. Range 0 to 200.	110%
F774	Pu. The power levels in each phase are monitored for symmetry. Specified in %. Range 0 to 100.	100%
F778	Time to delay for VT Fail EFA activation.	1 sec*
F779	Time to delay for Voltage Tolerance EFA activation. In seconds	60 sec
F77A	Time to delay for Phase rotation EFA activation. In seconds, defaults to 60, range 1 to 30000	60 sec
F77B	Time to delay for Power Imbalance EFA activation. In seconds, defaults to 60, range 1 to 30000	60 sec
F77C	Time to delay for Reverse power flow EFA activation. In seconds, defaults to 60, range 1 to 30000.	60 sec
* وقفه‌هایی که بین ۱ تا ۶۰ ثانیه و بیش‌تر از ۶۰ ثانیه به ترتیب وقفه کوتاه‌مدت و وقفه طولانی‌مدت نامیده می‌شود.		

۳-۳- ماژول ذخیره‌سازی

در ماژول جمع‌آوری و اکتساب داده، اطلاعات کیفیت توان موردنیاز تعیین شده و به واسطه MDM از کنتورها اخذ می‌شود. ماژول ذخیره‌سازی وظیفه‌ی ذخیره‌ی بهینه‌ی اطلاعات کیفیت توان را در پایگاه داده کیفیت توان برعهده دارد. دوره زمانی نگه‌داری هر دسته از داده‌های کیفیت توان توسط مدیر سامانه تعیین شده و در ماژول ذخیره سازی اعمال می‌شود. اطلاعات ذخیره‌شده در پایگاه داده کیفیت توان توسط ماژول پردازش، تجزیه‌وتحلیل داده و استخراج شاخص‌ها، مورداستفاده قرار می‌گیرد. به‌علاوه باید ثبت رویدادهای رخداده در سامانه (مانند ثبت رویداد قطعی ارتباط، وقوع هرگونه خطا، در هر یک از اجزاء سیستم، ورود و خروج به سیستم) توسط این ماژول انجام گیرد.

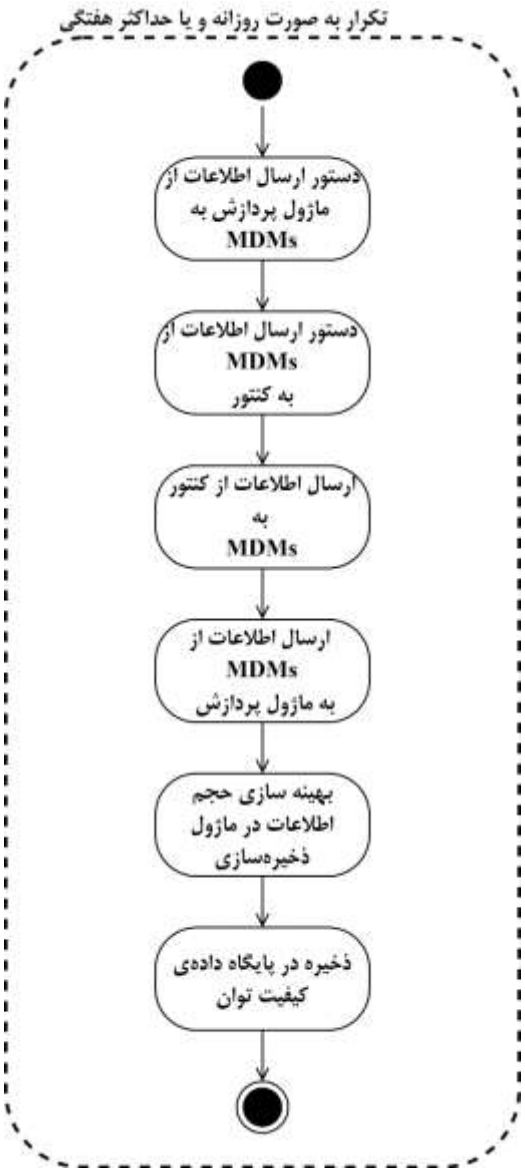
جدول ۳-۱۲: ساختار ماژول جمع‌آوری و اکتساب داده

	ورودی‌ها	خروجی‌ها	پردازش
ماژول ذخیره‌سازی	اطلاعات خام کنتورها	اطلاعات طبقه‌بندی‌شده	اولویت‌بندی داده‌ها
	اطلاعات پردازش‌شده کنتورها	اطلاعات بهینه‌سازی‌شده	بهینه‌سازی داده‌ها
			جایگزینی اطلاعات با توجه دوره زمانی تخصیص داده شده به داده‌ها

۳-۳-۱- انتقال اطلاعات به پایگاه داده کیفیت توان

نحوه‌ی ذخیره‌سازی اطلاعات کیفیت توان در پایگاه داده در قالب نمودار فعالیت[1] UML در شکل ۳-۱۴ نمایش داده شده است. همان‌طور که در شکل مذکور مشاهده می‌شود، ابتدا درخواست اطلاعات کیفیت توان از ماژول پردازش به MDMها ارسال می شود. در پاسخ به این درخواست MDM اطلاعات موردنظر را برای پایگاه داده ارسال می‌کند. به‌منظور کاهش حجم اطلاعات ذخیره شده در پایگاه داده، یک افزونه‌ی بهینه سازی حجم اطلاعات تعبیه شده است. افزونه مذکور با استفاده از تکنیک‌های برنامه‌نویسی حجم اطلاعات را کاهش داده و در پایگاه داده ذخیره می‌کند. یکی از تکنیک‌های بهینه‌سازی حجم اطلاعات در بخش الزامات سخت‌افزاری تشریح شده است.

[1] Activity diagram



شکل ۳-۱۴: جمع‌آوری اطلاعات کیفیت توان پایگاه داده کیفیت توان

همان‌طور که در گزارش فاز طراحی مفهومی سامانه (گزارش فاز ۲) تشریح شده است، دستگاه‌های اندازه‌گیری کیفیت توان شامل کنتورهای فهام و مدیریت شبکه می شود. با توجه به این‌که اطلاعات کیفیت توان کنتورهای مذکور در دو سامانه‌ی مدیریت داده‌ی مجزا (MDM) ذخیره می‌گردد، به‌منظور ذخیره‌سازی اطلاعات در پایگاه داده هر دو دسته کنتور، ماژول پردازش باید درخواست اطلاعات را به هر دو MDM ارسال کند. سپس این اطلاعات در ماژول ذخیره ساز د سته‌بندی می شود و در پایگاه داده‌ی کیفیت توان ذخیره می شود. دوره‌ی به‌روزر سانی پایگاه داده (ار سال درخواست اطلاعات) در سامانه‌ی پایش کیفیت توان ترجیحاً یک روز و یا حداکثر یک هفته تعیین شده است. با توجه به اینکه برای محاسبه‌ی شاخص‌های آماری به اطلاعات هفتگی نیاز است بنابراین حداکثر تأخیر در ارسال اطلاعات یک

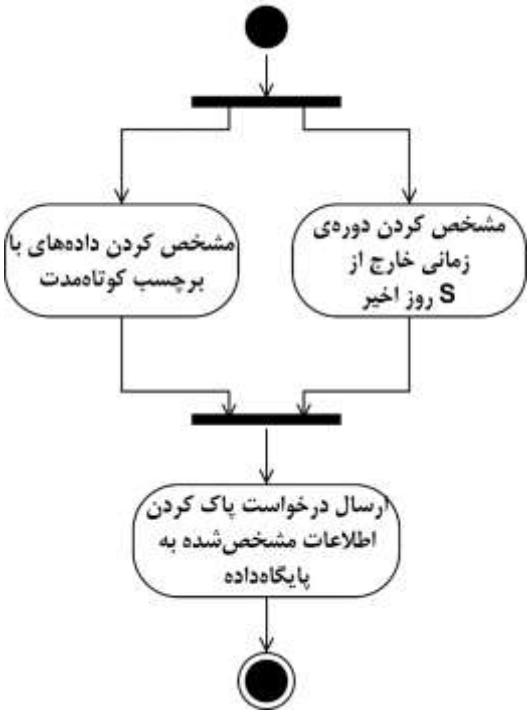
هفته است. در صورت وجود بستر مخابراتی مناسب چنانچه اطلاعات هر روز ارسال شوند امکان به‌روزرسانی شاخص هفتگی به‌صورت روزانه است (به‌صورت یک پنجره میان‌گیری در حال حرکت[1]).

۳-۳-۲- دوره‌ی بازنویسی اطلاعات[2]

همان‌طور که بند ۲-۲-۳ اشاره شد اطلاعات در پایگاه داده بر اساس دوره‌ی نگه‌داری به چهار دسته‌ی کوتاه‌مدت، میان‌مدت، طولانی‌مدت و دائمی تقسیم می‌شوند.

تو ضیح بیش‌تر آن‌که هر پارامتر کیفیت توان ذخیره شده، یکی از برچسب‌های چهارگانه فوق را در پایگاه داده دارد. لیست پارامترهای موجود همراه با برچسب دوره‌ی بازنویسی اطلاعات در فایل اکسل پیوست شده، قید شده است.

در سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان برای هر ۴ دسته اطلاعات، یک روال حذف اطلاعات روزانه تعریف شده است. روال روزانه مربوط به دوره‌ی نگه‌داری اطلاعات کوتاه‌مدت در شکل ۳-۱۵ نمایش داده شده است. همان‌طور که در شکل ۳-۱۵ مشاهده می شود، ابتدا اطلاعاتی که برچسب زمانی کوتاه‌مدت دارند مشخص می شود. به موازات این امر دوره خارج از S روز اخیر با توجه به تاریخ فعلی تعیین می‌شود. سپس با استفاده از این موضوع درخواست حذف اطلاعات مشخص‌شده به پایگاه داده‌ی کیفیت توان ارسال می‌شود. با انجام فرآیند مذکور همواره اطلاعات کیفیت توان کوتاه‌مدت، تنها در بازه زمانی مجاز (S روز) در پایگاه داده نگه‌داری می‌شوند. شایان ذکر است که دوره‌ی زمانی کوتاه‌مدت (S) توسط مدیر سامانه از منوی تنظیمات سامانه اعمال شده و قابل‌تغییر است.

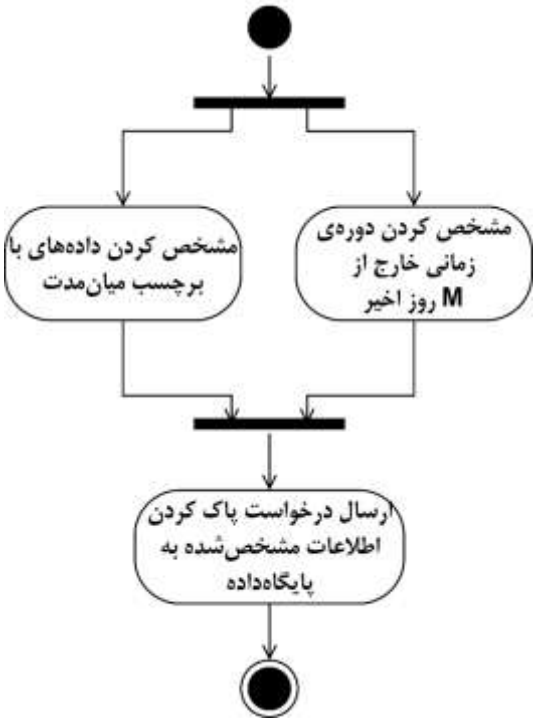


[1] Moving Avrage Window

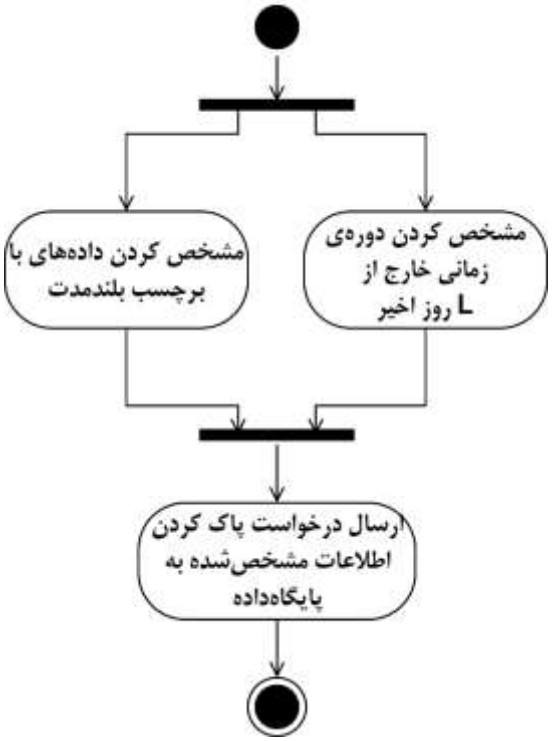
[2] Overwrite period

شکل ۳-۱۵: روال روزانه مربوط به دوره‌ی نگه‌داری اطلاعات کوتاه‌مدت

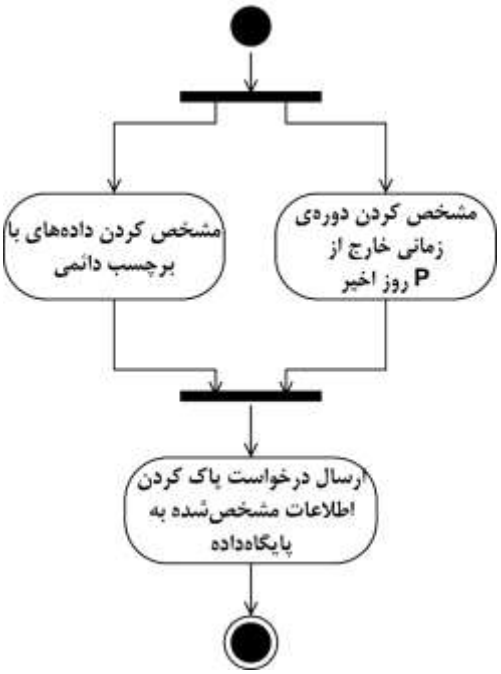
روند توصیف‌شده برای داده‌های کوتاه‌مدت به‌طور مشابه برای سایر دوره‌های نگه‌داری نیز تکرار می‌شود. روند روتین‌های مربوط به دوره‌ی نگه‌داری میان‌مدت، بلندمدت و دائمی به ترتیب در شکل‌های ۳-۱۶، ۳-۱۷ و ۳-۱۸ نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۶: نمودار فعالیت روال روزانه مربوط به دوره‌ی نگه‌داری اطلاعات میان‌مدت



شکل ۳–۱۷: نمودار فعالیت روال روزانه مربوط به دوره‌ی نگه‌داری اطلاعات بلندمدت



شکل ۳–۱۸: نمودار فعالیت روال روزانه مربوط به دوره‌ی نگه‌داری اطلاعات دائمی

۳–۴– ماژول پردازش، تجزیه‌وتحلیل داده و استخراج شاخص

شاخص‌های استاندارد کیفیت توان با پردازش داده‌های خام که بر روی پایگاه داده کیفیت توان ذخیره شده‌اند، به دست می‌آیند. فرآیند پردازش، تجزیه‌وتحلیل داده‌های خام به‌منظور آماده‌سازی اطلاعات برای فرآیند گزارش‌دهی، در این بخش تشریح شده است. به‌منظور توزیع بار محاسباتی ناشی از درخواست کاربران سامانه برای دریافت گزارش کیفیت توان، شاخص‌های استاندارد و تجمیعی کیفیت توان به صورت روتین‌های هفتگی و روزانه محاسبه می‌شوند که در این بخش اصطلاحاً به موارد مذکور داده‌های پردازش‌شده گفته می‌شود. جدول ۳–۱۳ نشان‌گر ساختار ماژول پردازش، تجزیه‌وتحلیل و استخراج شاخص است.

جدول ۳–۱۳: ساختار ماژول جمع‌آوری و اکتساب داده

	ورودی‌ها	خروجی‌ها	پردازش
ماژول پردازش، تجزیه‌وتحلیل داده و استخراج شاخص	اطلاعات فیلترشده کنتورها	داده‌های پردازش‌شده	درخواست اطلاعات از MDM
	اطلاعات طبقه‌بندی‌شده پایگاه داده	شاخص‌های آماری	محاسبات شاخص‌های آماری
		شاخص تجمیعی	استخراج شاخص تجمیعی

سرفصل‌های محاسبات انجام‌شده در ماژول پردازش، تجزیه‌وتحلیل داده شامل موارد زیر می‌شود که در قالب نمودارهای UML در این بخش گردآوری شده است.

الف) داده‌های پردازش‌شده روزانه

شامل آماره‌های روزانه مستخرج از داده‌های خام کیفیت توان می‌شود که به‌منظور سهولت در گزارش‌گیری و دریافت اطلاعات از سامانه محاسبه و ذخیره می‌شوند.

ب) داده‌های پردازش‌شده هفتگی

شاخص‌های آماری پارامترهای کیفیت توان در بازه‌ی زمانی هفتگی محاسبه شده و ذخیره می‌شوند [۳۴].

ج) شاخص‌های گسسته

شدت اغتشاشات گسسته که بر اساس مطالعات حد مجاز سالانه دارند اما به‌واسطه وحدت رویه به‌صورت هفتگی ذخیره‌سازی می‌شوند [۳۵].

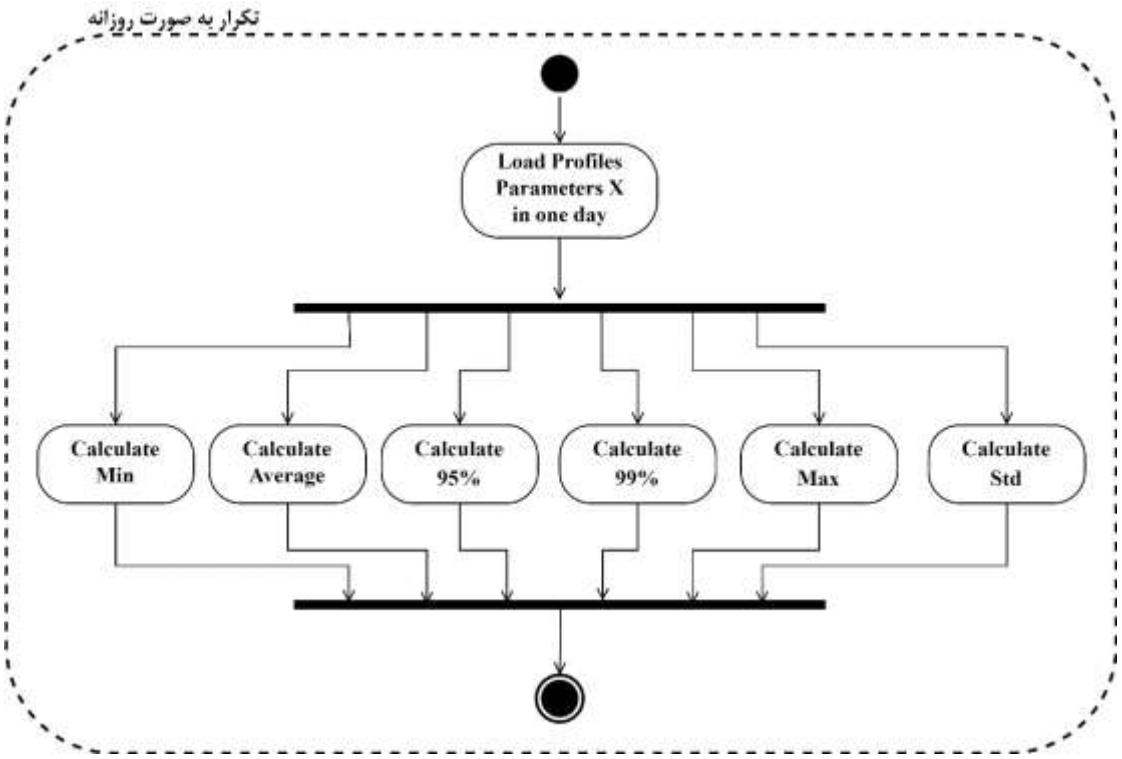
د) محاسبات شاخص تجمیعی

شامل محاسبه شاخص سایت و شاخص تجمیعی اغتشاشات است.

در ادامه این بخش، نمودارهای مرتبط با محاسبه موارد فوق‌الذکر در قالب نمودارهای UML توصیف شده است.

۳-۴-۱- داده‌های پردازش‌شده روزانه

از آنجایی که دوره‌ی نگه‌داری اطلاعات پایگاه داده‌ی کیفیت توان محدود است. به‌منظور جلوگیری از عدم دسترسی به داده‌های قدیمی، از پارامترهای موجود در پروفایل‌های بار شاخص‌های آماری گرفته می‌شود. همان‌طور که در شکل ۳-۱۹ مشاهده می‌شود، به‌طور روزانه آماره‌های مقدار میانگین، کمینه، بیشینه، شاخص ۹۵٪، شاخص ۹۹٪ و انحراف معیار برای تمامی اطلاعات تجمیع شده در پروفایل‌های بار محاسبه و ذخیره می‌شود. لیست تمامی پارامترهای موجود کنتورهای فهام و MK6E در جدول‌های ۳-۳ و ۳-۷ آمده است. این روند به‌صورت روزانه تکرار می‌شود.



شکل ۳-۱۹: نمودار فعالیت روال مربوط به استخراج و ذخیره‌ی آماره‌های روزانه اطلاعات

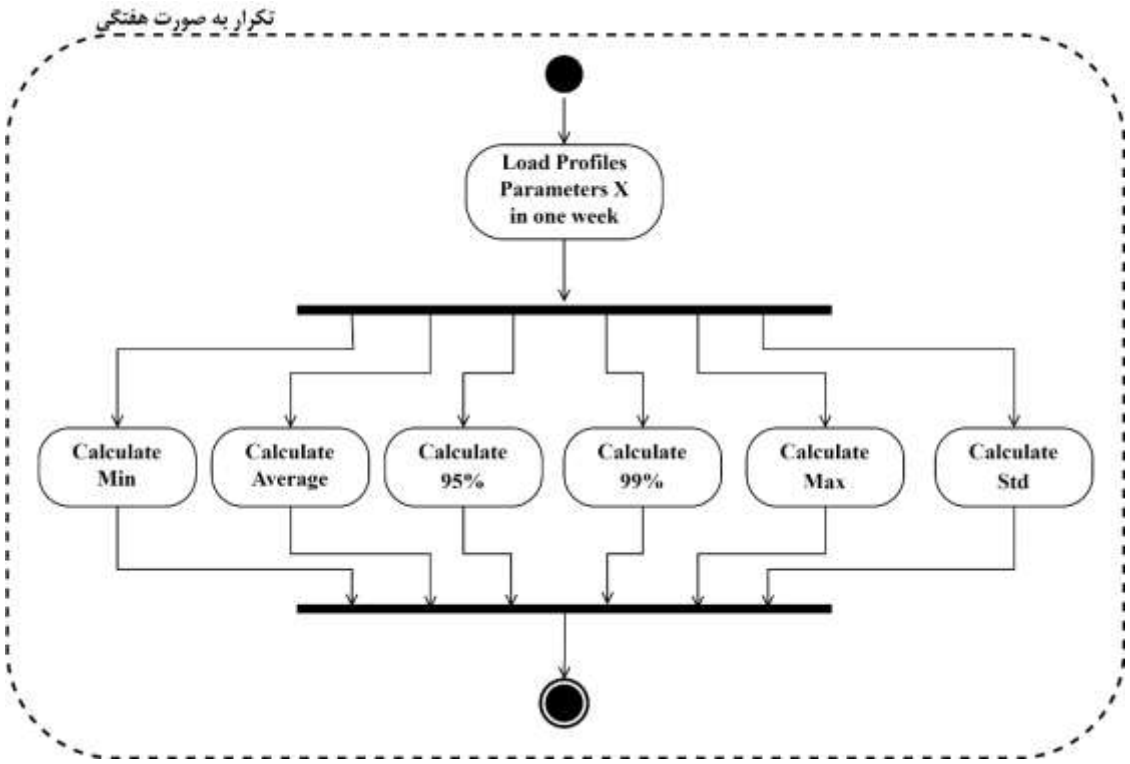
۳-۴-۲- داده‌های پردازش‌شده هفتگی

علاوه‌بر این‌که از پارامترها، آماره‌های روزانه تهیه می شود، به صورت هفتگی نیز این روند تکرار می شود؛ بنابراین به طور مشابه برای پارامترهای کیفیت توانی که در جدول ۳-۳ و ۳-۷ آمده است، در طول یک هفته مقدار کمینه، میانگین، بیشینه، شاخص ۹۵٪، شاخص ۹۹٪ و انحراف معیار محاسبه و ذخیره می‌شود.

شاخص‌های آماری هفتگی از اهمیت بالایی برخوردار هستند. این شاخص‌ها در محاسبه‌ی شاخص تجمیعی استفاده می‌شوند، بنابراین محاسبه‌ی شاخص آماری هفتگی باید مطابق استاندارد باشد [۳۴].

۳-۴-۲-۱- روال هفتگی استخراج شاخص‌های آماری مجزا

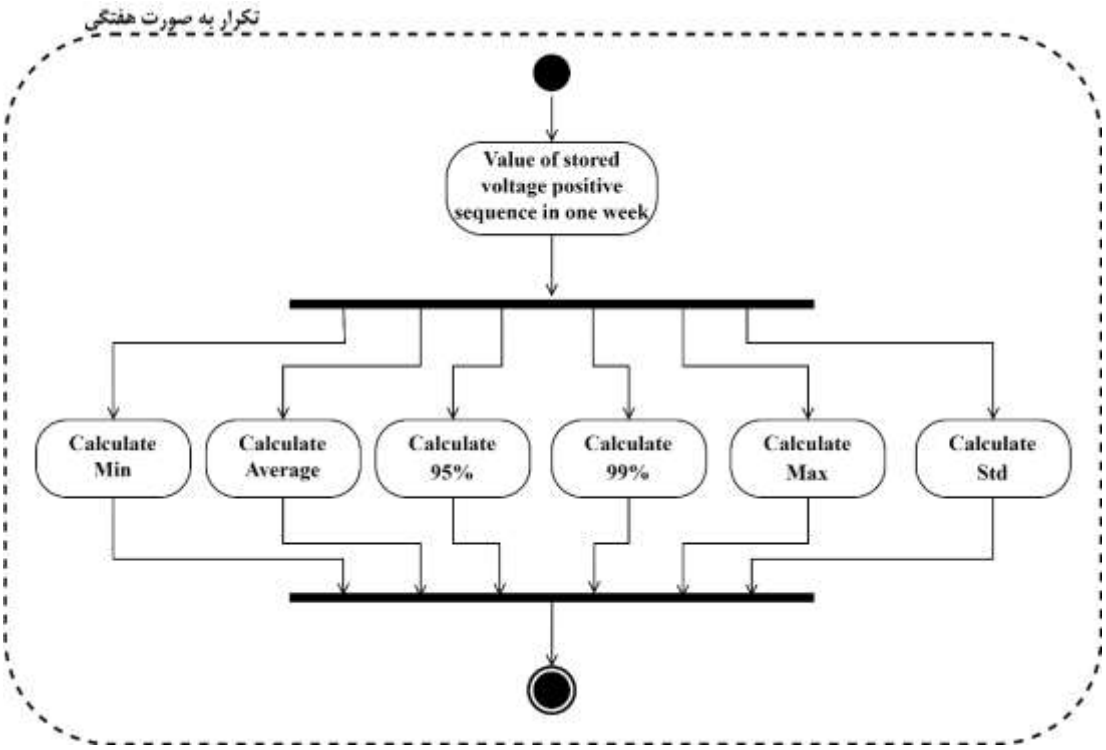
نکته‌ای که در مورد داده‌های پردازش شده هفتگی باید در نظر گرفته شود این ا ست که پارامترهایی که به صورت مجزا (به ازای سه‌فاز یک عدد واحد) در پروفایل بار قرار دارند، برای محاسبه‌ی آماره‌های هفتگی از نمودار UML شکل ۳-۲۰ موسوم به روال هفتگی (الف) استفاده می‌کنند. این پارامترها مختص به کنتورهای MK6E است و در جدول ۳-۱۴ درج شده‌اند. به‌عنوان مثال شکل ۳-۲۱ نمودار UML مربوط به محاسبه آماره‌های هفتگی توالی مثبت ولتاژ می‌باشد. الگوریتم محاسبه‌ی شاخص‌های آماری هفتگی پارامترهایی که در جدول ۳-۱۴ آمده است مشابه نمودار شکل ۳-۲۰ و ۳-۲۱ است.



شکل ۳-۲۰: نمودار فعالیت روال هفتگی (الف): مربوط به استخراج و ذخیره‌ی آماره‌های هفتگی اطلاعات به صورت مجزا

جدول ۳-۱۴: لیست پارامترهایی که بر اساس روال هفتگی (الف) ذخیره می‌شوند

MK6E METER PARAMETERS
Current Zero Sequence
Current Positive Sequence
Current Negative Sequence
Voltage Zero Sequence
Voltage Positive Sequence
Voltage Negative Sequence
Frequency



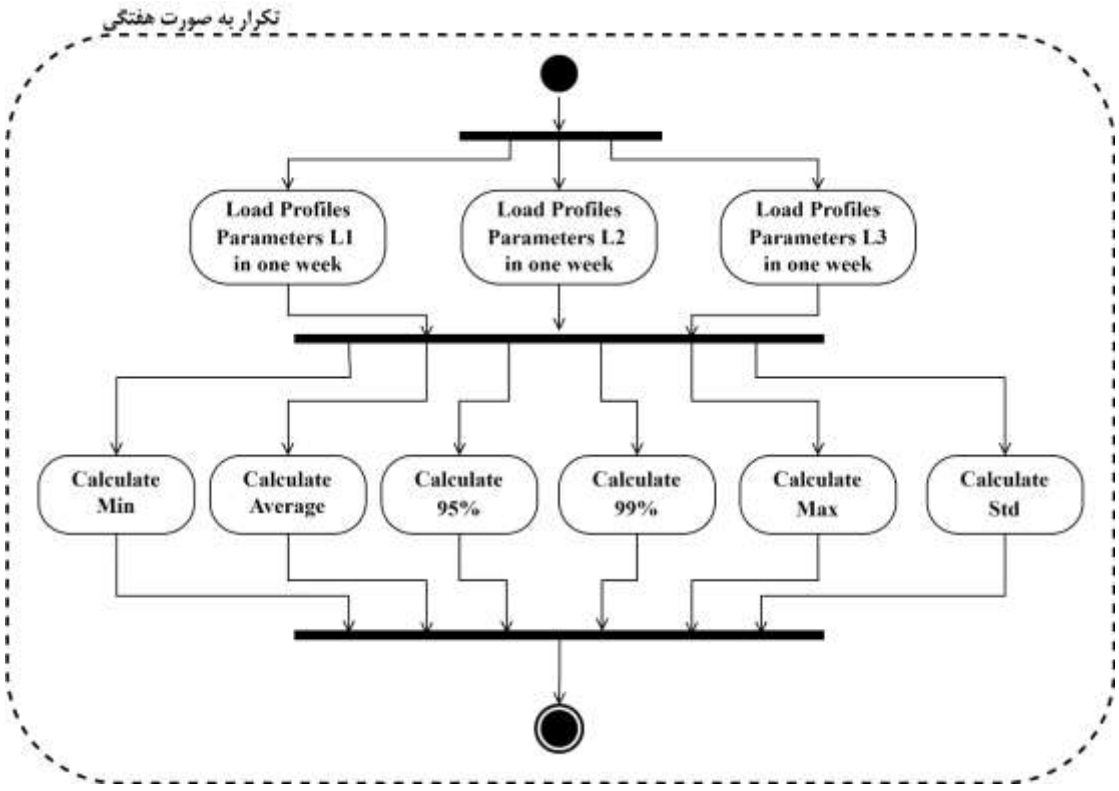
شکل ۳-۲۱: نمودار فعالیت روال هفتگی (الف) مربوط به استخراج و ذخیره‌ی آماره‌های هفتگی توالی مثبت ولتاژ

۳-۴-۲-۲- روال هفتگی استخراج شاخص‌های آماری ادغام‌شده

پارامترهایی که به ازای هر سه فاز به‌صورت تفکیک‌شده در پروفایل بار هستند به‌نحوی‌که در شکل ۳-۲۲ نمایش داده شده موسوم به روال هفتگی (ب) محاسبه می‌شوند. در این روش پارامترهای سه فاز ادغام می‌شود و از میان سه فاز شاخص آماری انتخاب می‌شود. روش مذکور برای محاسبه شاخص استاندارد هفتگی برای پارامترهایی که در جدول ۳-۱۵ درج شده‌اند، استفاده می‌شود.

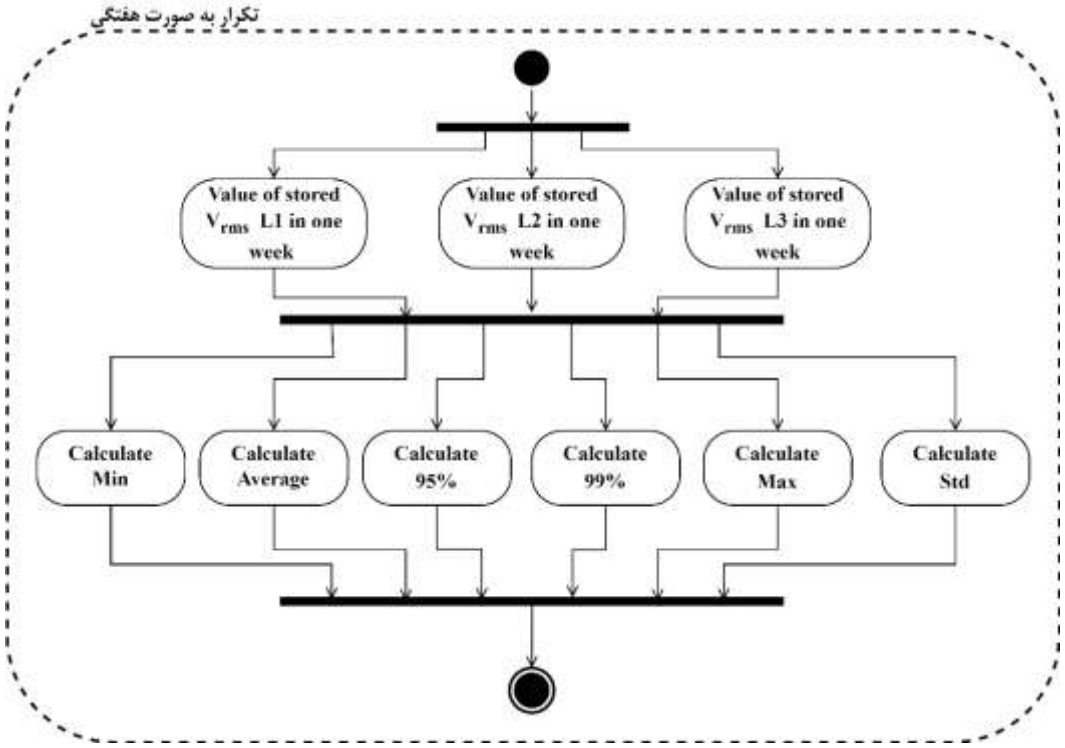
جدول ۳-۱۵: لیست پارامترهایی که بر اساس روتین هفتگی (ب) ذخیره می‌شوند.

کنتورهای MK6E	کنتورهای فهام
Voltage	Voltage
Current	Current
Voltage Offset	Voltage THD
Current Offset	Current THD
Voltage THD	
Current THD	



شکل ۳-۲۲: نمودار فعالیت روال هفتگی (ب): روند مربوط به استخراج و ذخیره‌ی آماره‌های هفتگی اطلاعات به صورت ادغام‌شده

به‌عنوان نمونه در شکل ۳-۲۳ نمودار UML مربوط به محاسبه آماره‌های هفتگی ولتاژ سه فاز رسم شده است.



شکل ۳-۲۳: روال هفتگی مربوط به استخراج و ذخیره‌ی آماره‌های هفتگی ولتاژ سه فاز

۳-۴-۲-۳- روال هفتگی محاسبه‌ی پارامترهای شاخص تجمیعی کیفیت توان

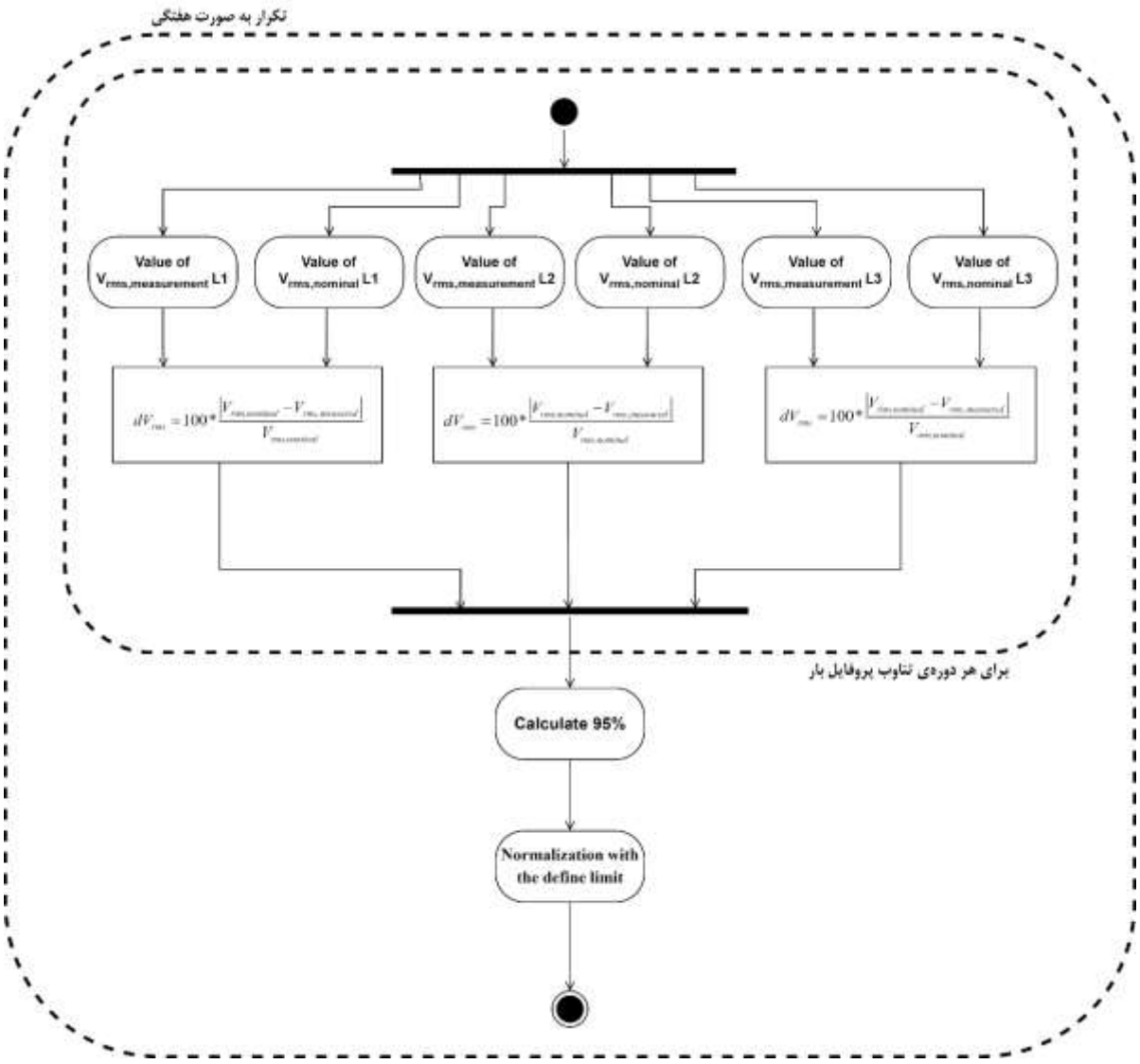
همان‌طور که در گزارش مرحله‌ی اول [۲۶] تو ضیح داده شده، پارامترهای شاخص تجمیعی کیفیت توان شامل دو دسته پارامترهای ولتاژی و جریانی هستند. پارامترهای ولتاژی در بردار $\overline{P_V}=[dV_{rms}, THD_V, PVU, DSI_{sag}, DSI_{swell}, DSI_{transient}]$ به ترتیب از چپ به راست پارامتر انحراف ولتاژ مؤثر، اعوجاج هارمونیکی کل ولتاژ، عدم تعادل ولتاژ، شدت فرورفتگی ولتاژ، شدت برآمدگی ولتاژ و شدت وقفه گذرا ولتاژ معرفی شده است. همچنین پارامترهای جریانی در بردار $\overline{P_I}=[THD_I, POL, PCU]$ به ترتیب از چپ به راست پارامتر اعوجاج هارمونیکی کل جریان، درصد اضافه جریان بار و عدم تعادل بار تعریف شده است.

برای محاسبه‌ی شاخص تجمیعی ولتاژی و یا جریانی نیاز است که قبل از آن شاخص ۹۵٪ پارامترهای دو بردار $\overline{P_V}$ و $\overline{P_I}$ به‌صورت هفتگی محاسبه شوند. روال محاسبه‌ی هفتگی پارامترهای شاخص تجمیعی کیفیت توان به غیر از شاخص DSI در این بخش تو ضیح خواهد داده شد. روال محا سبه‌ی شاخص DSI در بند ۳-۴-۳ تو ضیح داده خواهد شد.

- روال هفتگی محاسبه‌ی شاخص انحراف ولتاژ مؤثر (dV_{rms})

در گزارش مرحله‌ی اول [۲۶] نحوه‌ی محاسبه‌ی شاخص انحراف ولتاژ مؤثر شرح داده شد. در روال هفتگی محا سبه‌ی شاخص انحراف ولتاژ مؤثر به $V_{rms,nominal}$ و $V_{rms,measured}$ که ولتاژ مؤثر نامی و ولتاژ مؤثر اندازه‌گیری شده پروفایل کنتورها (داده‌های ذخیره‌شده با دوره‌ی تناوب پروفایل بار کنتور) تعریف شده، نیاز است. همچنین به‌منظور نرمالایز کردن شاخص به حد مجاز هفتگی این پدیده ($dV_{rms,limit}$) نیاز است. در شکل ۳-۲۴ روال هفتگی محاسبه‌ی شاخص انحراف ولتاژ مؤثر نشان داده شده است.

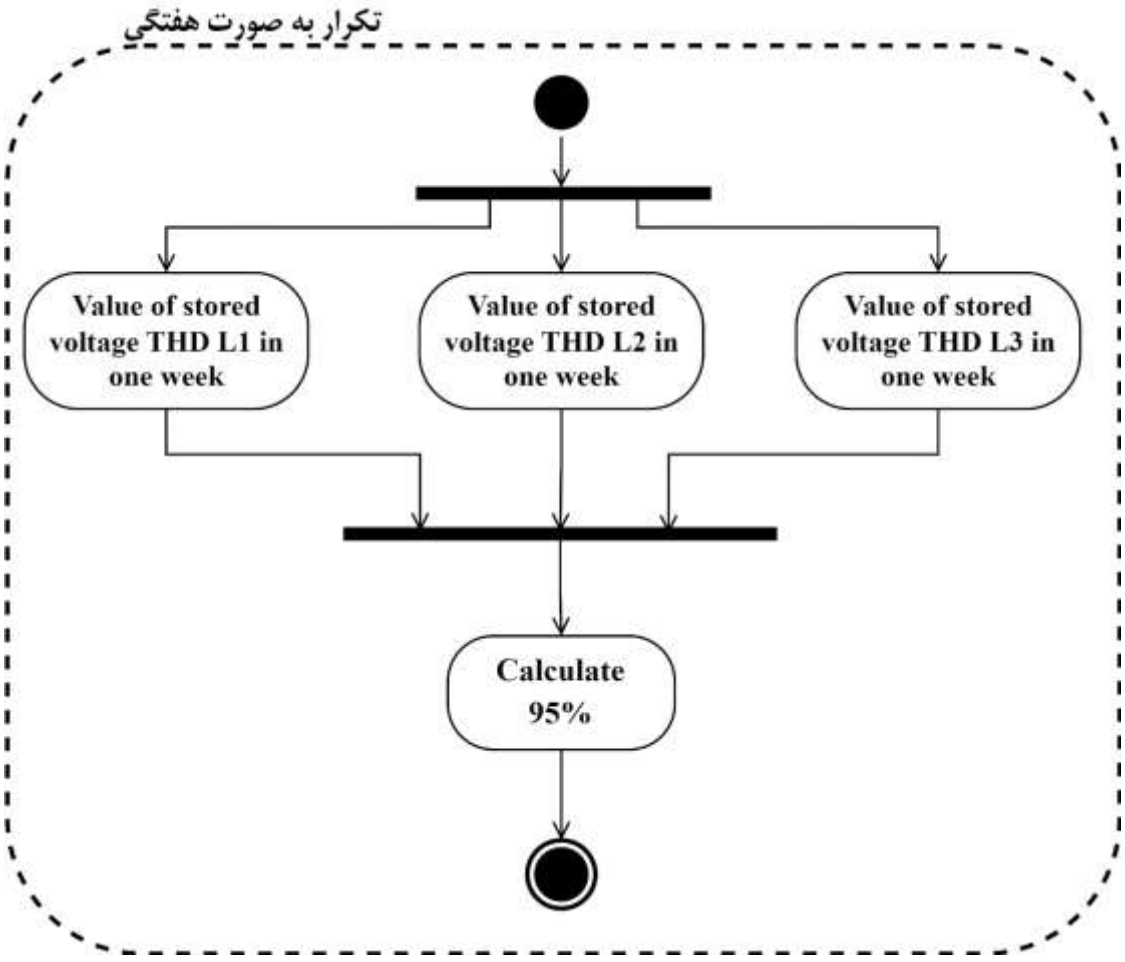
همان‌طور که در شکل ۳-۲۴ م شخص ا ست، عملیات محا سبه‌ی شاخص انحراف ولتاژ هر هفته (حلقه‌ی خارجی تکرار) تکرار می‌شود. با استفاده از $V_{rms,nominal}$ و $V_{rms,measured}$ در هر دوره‌ی تناوب پروفایل بار کنتور، شاخص انحراف ولتاژ مؤثر محاسبه می‌شود (حلقه‌ی تکرار داخلی). سپس از مقادیر هفتگی ذخیره‌شده شاخص ۹۵٪ به‌دست‌آمده و بر حد مجاز شاخص انحراف ولتاژ مؤثر تقسیم می‌شود.



شکل ۳-۲۴: نمودار فعالیت محاسبه‌ی شاخص انحراف ولتاژ مؤثر

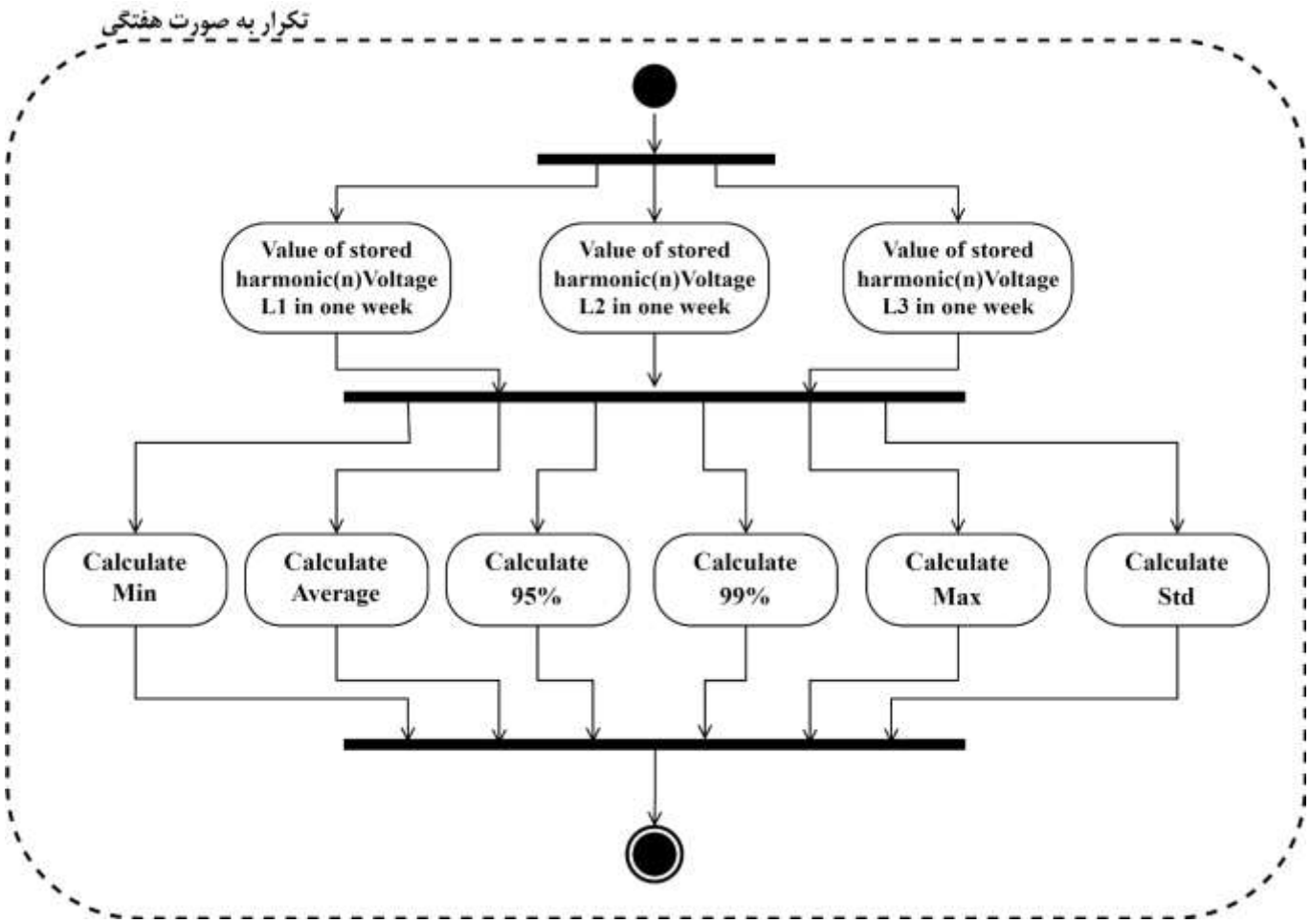
- **روال هفتگی محاسبه‌ی شاخص اعوجاج هارمونیکی کل ولتاژ (THDv)**

روش محاسبه‌ی شاخص اعوجاج هارمونیکی کل ولتاژ در شکل ۳–۲۵ آورده شده است. پس از جمع‌آوری داده‌های هفتگی پروفایل‌های بار، شاخص ۹۵٪ هفتگی محاسبه می‌شود.



شکل ۳-۲۵: نمودار فعالیت روال مربوط به استخراج و ذخیره‌ی شاخص هفتگی اعوجاج هارمونیکی کل ولتاژی کنتورهای فهام و مدیریت شبکه

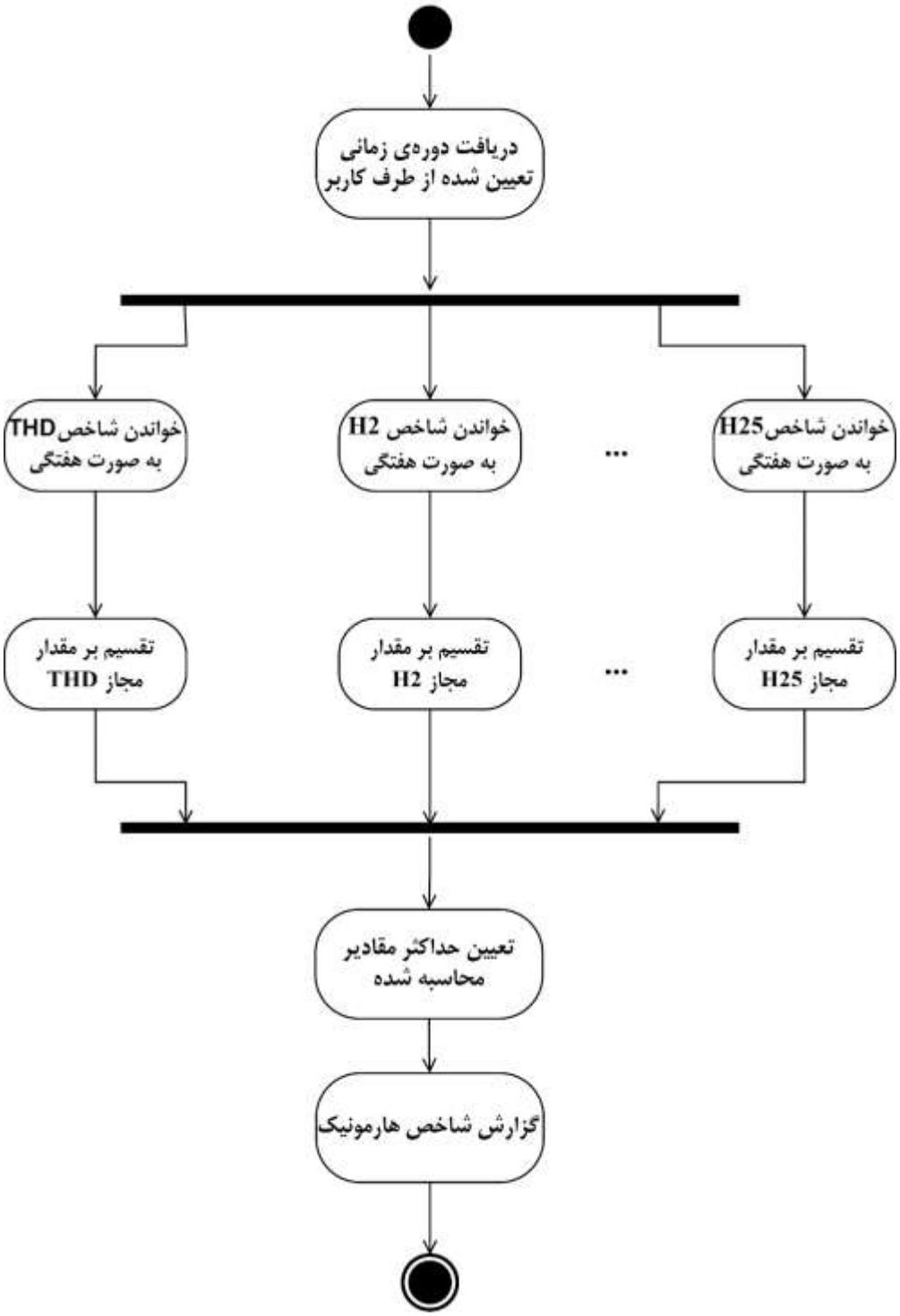
چنانچه تصمیم گرفته شود که از دیگر مؤلفه‌های هارمونیکی در محاسبه‌ی شاخص تجمیعی استفاده شود، روال محاسبه ی شاخص به‌صورت شکل ۳-۲۶ و ۳-۲۷ درمی‌آید. به‌منظور عدم سوگیری شاخص تجمیعی بر اساس میزان هارمونیک‌ها که در شاخص اعوجاج هارمونیکی کل نیز دیده شده است، یک شاخص هارمونیک واحد تعریف شده است. شاخص مذکور برابر با بیشینه مقدار شاخص‌های هر هارمونیک (H2 تا H25) و اعوجاج هارمونیکی کل (THD) به صورت نرمالایزشده می‌باشد [۳۶].



شکل ۳-۲۶: نمودار فعالیت روال هفتگی مربوط به استخراج و ذخیره‌ی آماره‌های هفتگی هارمونیک ولتاژی سه‌فاز کنتورهای فهام و مدیریت شبکه

نحوه‌ی محاسبه‌ی شاخص هارمونیک ولتاژ در شکل ۳-۲۷ در قالب نمودار UML بیان شده است. همان‌طور که مشاهده می شود، ابتدا دوره‌ی زمانی موردنظر (زمان باید بازه‌ای ۷ روزه باشد) برای محاسبه شاخص هارمونیک (که از طرف کاربر در داشبورد مدیریتی تعیین می‌شود) مشخص شده و سپس شاخص‌های هفتگی هر پارامتر محاسبه شده و بر مقدار مجاز استاندارد تقسیم می‌شود. با این روند، مقدار هر شاخص به‌صورت نرمالایز شده به‌دست‌آمده می‌آید. همه شاخص‌های نرمالایزشده مقایسه شده و مقدار بیشینه به‌عنوان شاخص هارمونیک گزارش می‌شود [۳۶].

- توجه به این نکته ضروری است که در کنتورهای فهام فقط هارمونیک‌های فرد ۳ تا ۱۳ جریان و ولتاژ اندازه‌گیری می‌شوند.



شکل ۳–۲۷: نمودار فعالیت روال مربوط به محاسبه شاخص هارمونیک

باید توجه داشت که مقدار مجاز هر هارمونیک در استاندارد متفاوت تعریف شده است که این مهم در جدول ۳–۱۶ درج شده است. بر اساس استاندارد EN50160، مقدار مجاز اعوجاج هارمونیکی کل ولتاژ نیز برابر با ۸٪ در نظر گرفته می‌شود.

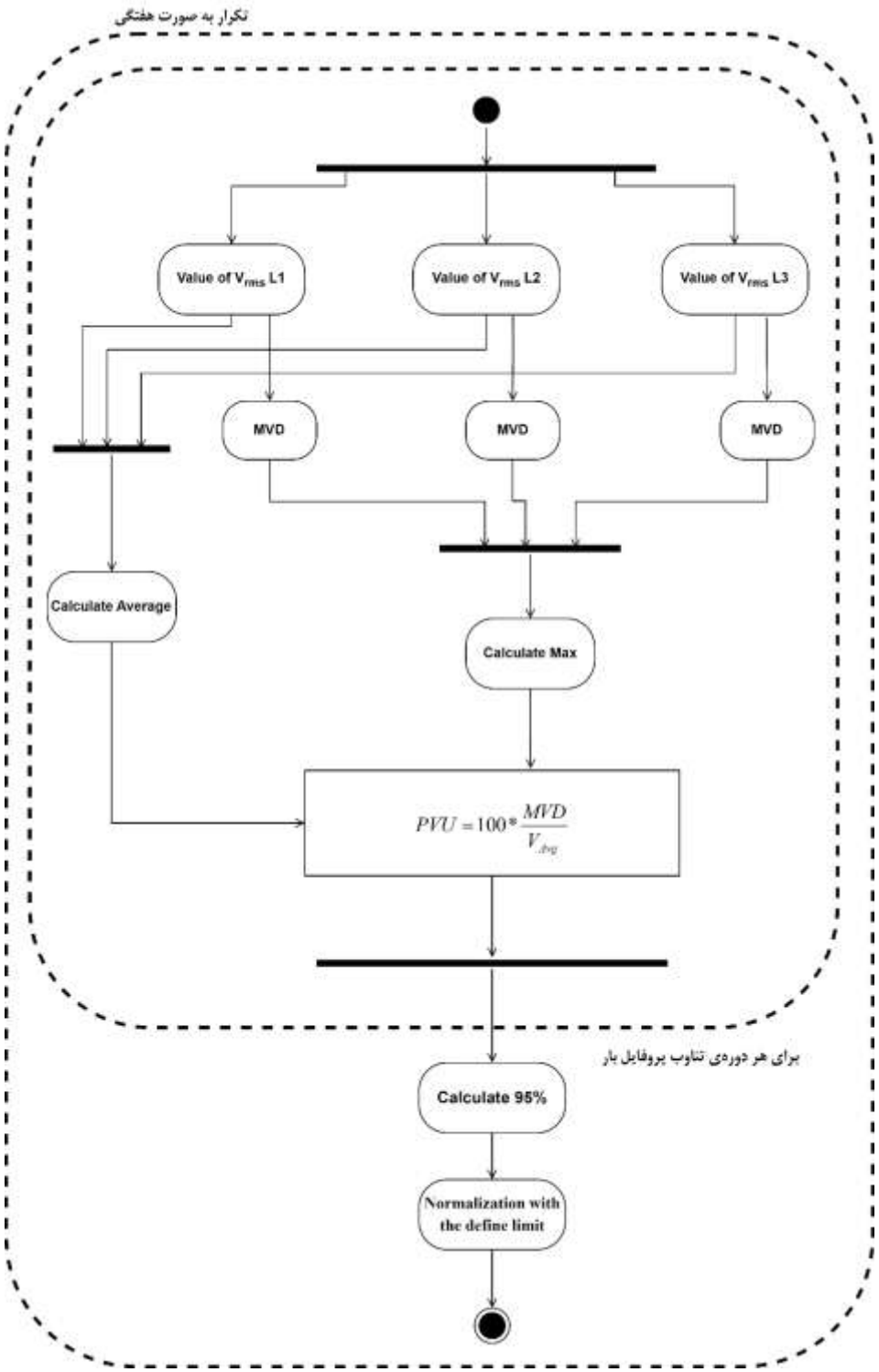
جدول ۳-۱۶: مقادیر مجاز هارمونیک‌های ولتاژ متوسط بر اساس استاندارد EN 50160 [28]

Odd Harmonic				Even Harmonic	
Not multiples of 3		Multiples of 3			
Order h	Relative Amplitude U_h	Order h	Relative Amplitude U_h	Order h	Relative Amplitude U_h
5	6.0%	3	5.0%	2	2.0%
7	5.0%	9	1.5%	4	1.0%
11	3.5%	15	0.5%	6…….24	0.5%
13	3.0%	21	0.5%		
17	2.0%				
19	1.5%				
23	1.5%				
25	1.5%				
NOTE: No values are given for harmonics of order higher than 25, as they are usually small, but largely unpredictable due to resonance effects.					

- **روال هفتگی محاسبه‌ی شاخص عدم تعادل ولتاژ (PUV[1])**

در گزارش مرحله‌ی اول [۲۶] نحوه‌ی محاسبه‌ی شاخص عدم تعادل ولتاژ شرح داده شد. در روال هفتگی محاسبه‌ی شاخص عدم تعادل ولتاژ، به V_{rms} و MVD که به ترتیب ولتاژ مؤثر اندازه‌گیری‌شده پروفایل کنتورها (داده‌های ذخیره‌شده با دوره‌ی تناوب پروفایل بار کنتور) و حداکثر انحراف ولتاژ از اندازه‌ی میانگین ولتاژ خط تعریف شده، نیاز است. همچنین به‌منظور نرمالایز کردن شاخص به حد مجاز هفتگی این پدیده نیاز است. در شکل ۳-۲۸ روال هفتگی محاسبه‌ی شاخص انحراف ولتاژ مؤثر نشان داده شده است.

[1] Percent Voltage Unbalance



شکل ۳–۲۸: نمودار فعالیت روال مربوط به استخراج شاخص عدم تعادل ولتاژ سه فاز

- **روال هفتگی محاسبه‌ی شاخص اعوجاج هارمونیکی کل جریان (THD_I)**

نحوه‌ی محاسبه‌ی این شاخص مشابه شاخص اعوجاج هارمونیکی کل ولتاژ است که پیش‌تر به‌تفصیل توضیح داده شده است.

- **روال هفتگی محاسبه‌ی شاخص عدم تعادل جریان (PUC[1])**

نحوه‌ی محاسبه این شاخص مشابه شاخص عدم تعادل ولتاژ است با این تفاوت که مؤلفه‌های جریانی جایگزین مؤلفه‌های ولتاژی می‌شود.

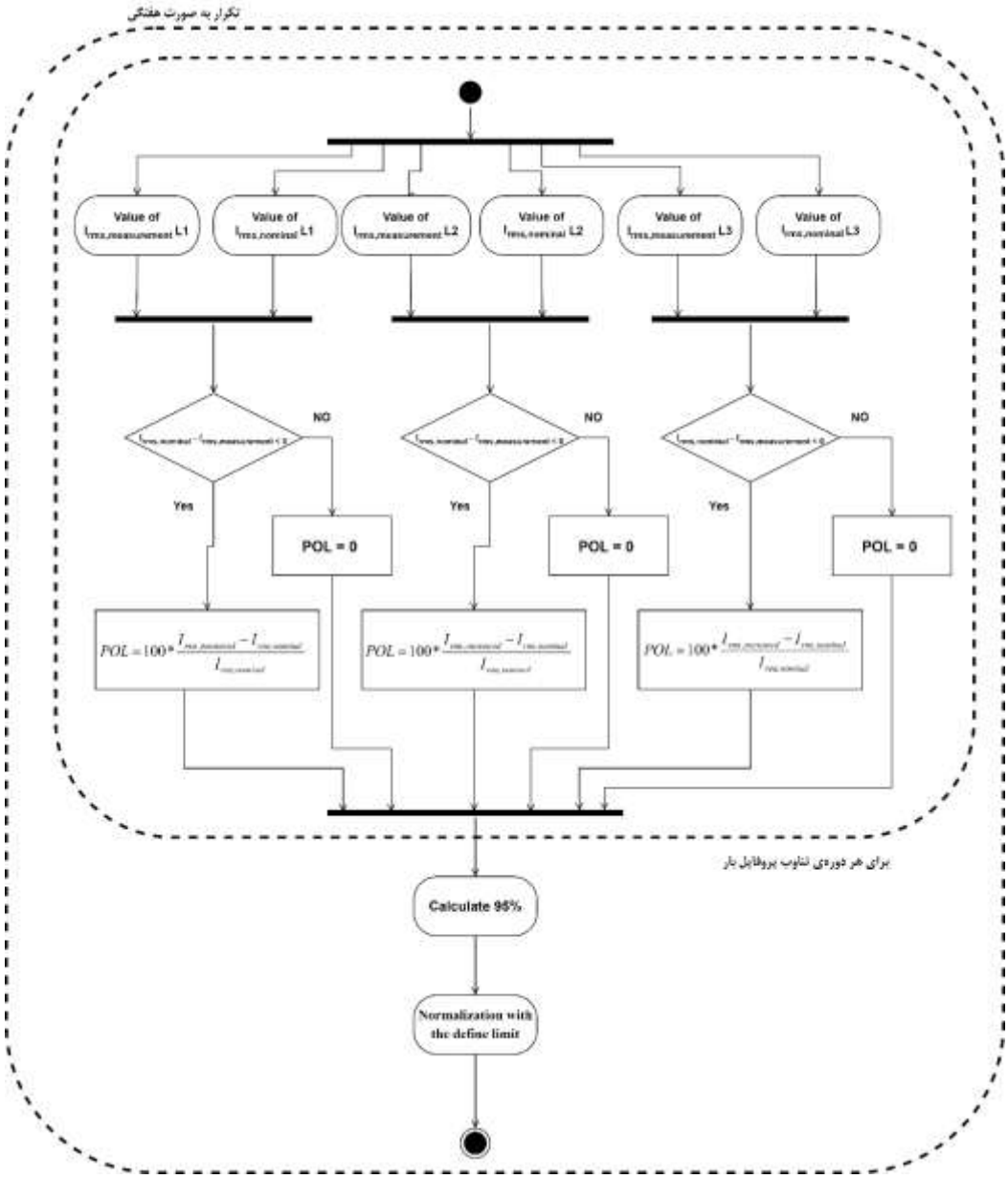
- **روال هفتگی محاسبه‌ی شاخص اضافه جریان بار (POL[2])**

در گزارش مرحله‌ی اول [۲۶] نحوه‌ی محاسبه‌ی شاخص اضافه جریان بار شرح داده شد. در روال هفتگی محاسبه‌ی شاخص اضافه جریان بار مؤثر به $I_{rms,nominal}$ و $I_{rms,measured}$ که به ترتیب جریان مؤثر نامی و جریان مؤثر اندازه‌گیری‌شده پروفایل کنتورها (داده‌های ذخیره‌شده با دوره‌ی تناوب پروفایل بار کنتور) تعریف شده، نیاز است. همچنین به‌منظور نرمالایز کردن شاخص به حد مجاز هفتگی این پدیده ($I_{rms,limit}$) نیاز است. در شکل ۳-۲۹ روال هفتگی محاسبه‌ی شاخص انحراف ولتاژ مؤثر نشان داده شده است.

همان‌طور که در شکل ۳-۲۹ مشخص است، عملیات محاسبه‌ی شاخص انحراف ولتاژ هر هفته (حلقه‌ی خارجی تکرار) تکرار می شود. با استفاده از $I_{rms,nominal}$ و $I_{rms,measured}$ در هر دوره‌ی تناوب پروفایل بار کنتور، شاخص اضافه جریان بار محاسبه می‌شود (حلقه‌ی تکرار داخلی). سپس از مقادیر هفتگی ذخیره‌شده شاخص ۹۵٪ به‌دست‌آمده و بر حد مجاز شاخص اضافه جریان بار تقسیم می‌شود.

[1] Percent Current Unbalance

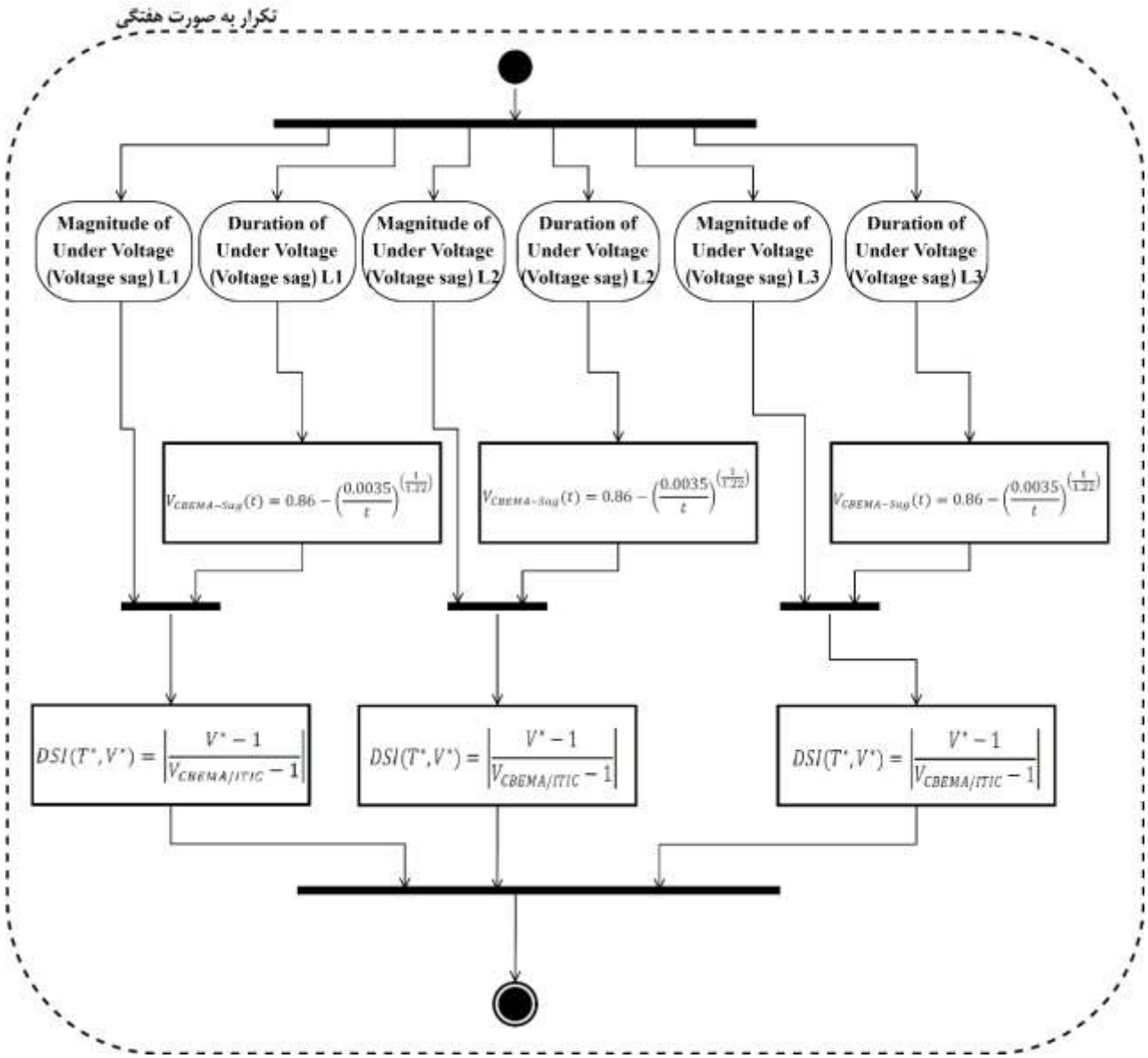
[2] Percent Overload



شکل ۳-۲۹: نمودار فعالیت روال مربوط به استخراج شاخص هفتگی اضافه جریان بار سه فاز

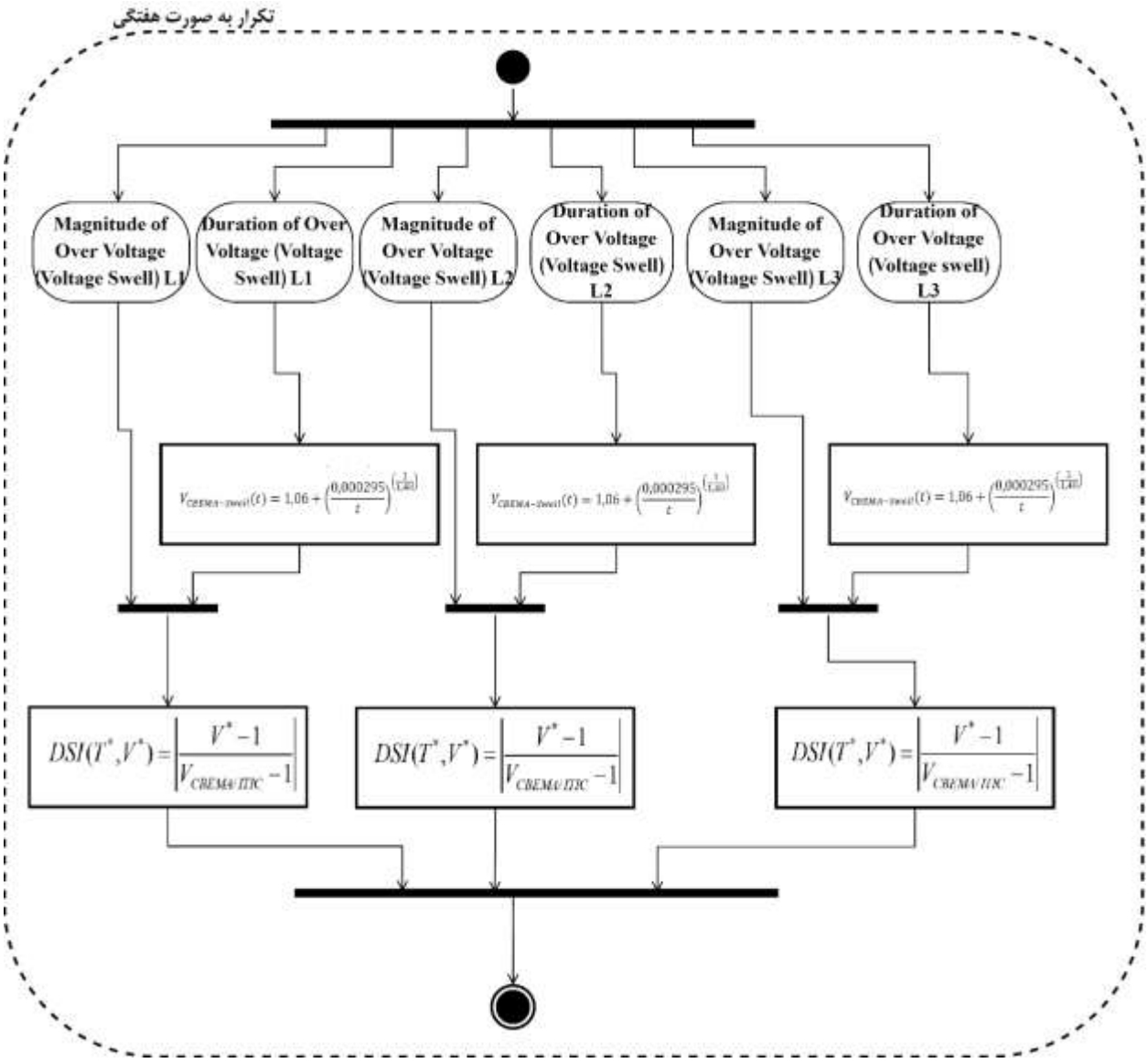
۳-۴-۳- شاخص‌های گسسته

به‌منظور محاسبه‌ی شاخص تجمیعی، علاوه بر شاخص‌های پیوسته، شاخص‌های گسسته نیز موردنیاز است. به منظور تجمیع شاخص‌های گسسته در شاخص تجمیعی، از مفهوم شدت اغتشاشات گسسته که در فصل سوم گزارش فاز اول پروژه معرفی شده، استفاده شده است. در شکل ۳-۳۰ روند محاسبه و ذخیره سازی مجموع شدت فرورفتگی ولتاژ نمایش داده شده است.

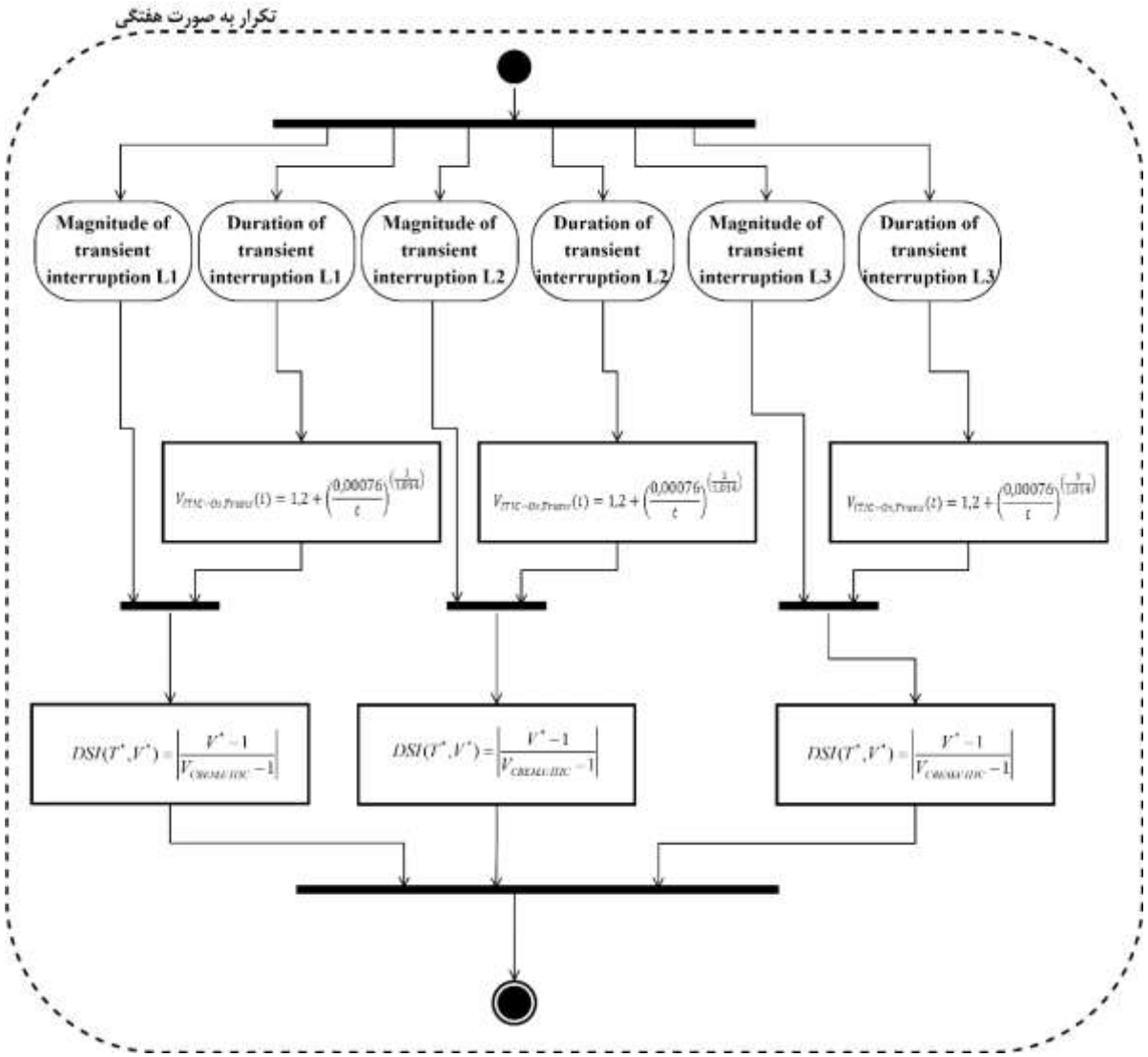


شکل ۳-۳۰: روال مربوط به استخراج و ذخیره‌ی فرورفتگی ولتاژ به شکل هفتگی

به‌طور مشابه شدت برآمدگی ولتاژ و وقفه گذرا ولتاژ به‌صورت هفتگی محاسبه و ذخیره می‌شود که روند آن در قالب UML در شکل ۳-۳۱ و ۳-۳۲ نمایش داده شده است.



شکل ۳–۳۱: نمودار فعالیت روال مربوط به استخراج و ذخیره‌ی شدت برآمدگی ولتاژ به شکل هفتگی

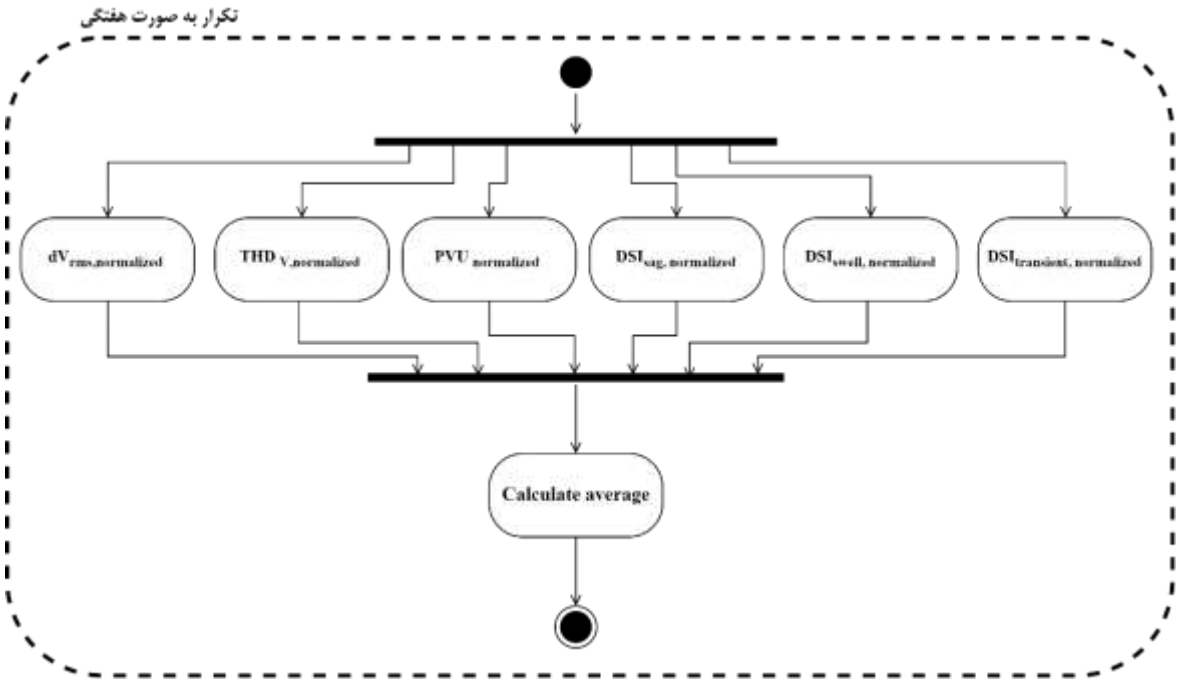


شکل ۳-۳۲: نمودار فعالیت روال مربوط به محاسبه‌ی شدت وقفه گذرا ولتاژ به شکل هفتگی

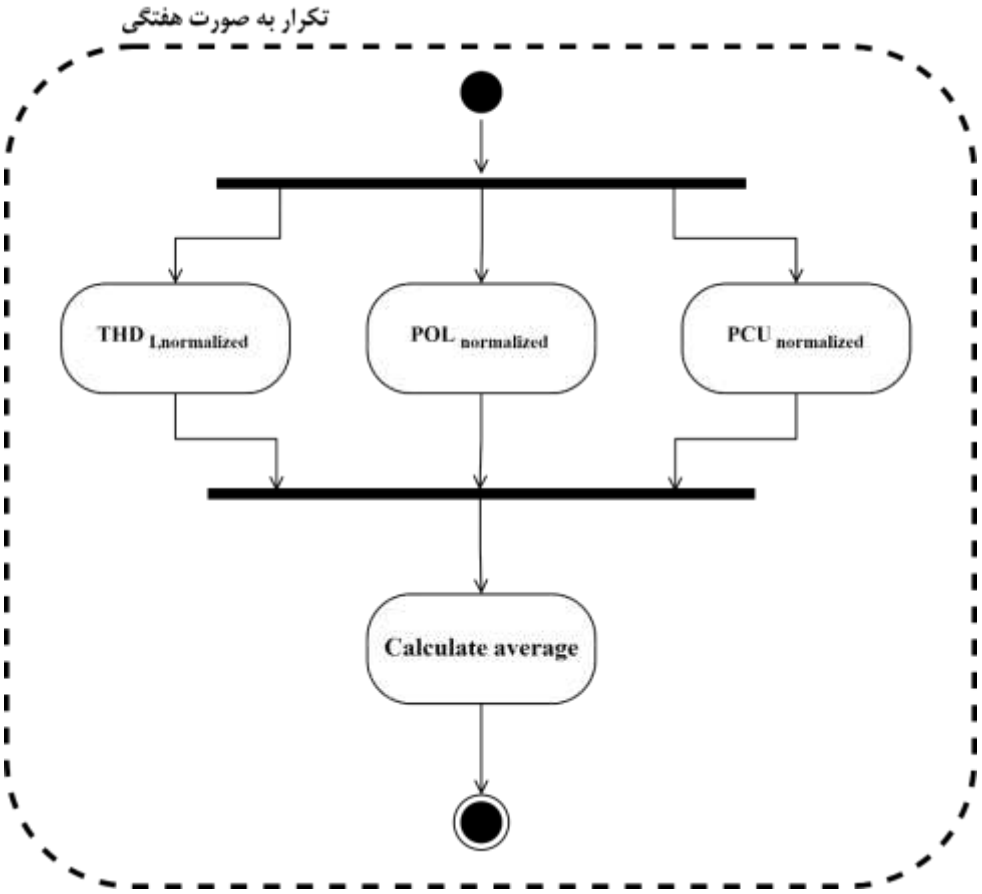
۳-۴-۴- محاسبات شاخص تجمیعی

۳-۴-۴-۱- شاخص تجمیعی سایت

پس از محا سبه شاخص هفتگی هر اغت شاش، محا سبه‌ی شاخص تجمیعی سایت ممکن می شود. بر ا ساس روابط ارائه شده در گزارش مرحله‌ی اول، نحوه‌ی ا ستخراج شاخص تجمیعی ولتاژی و جریانی سایت به صورت شکل ۳-۳۳ و ۳-۳۴ است. همان‌طور که در نمودار مشخص است از شاخص اغتشاشات ولتاژی و جریانی میان‌گیری شده است.



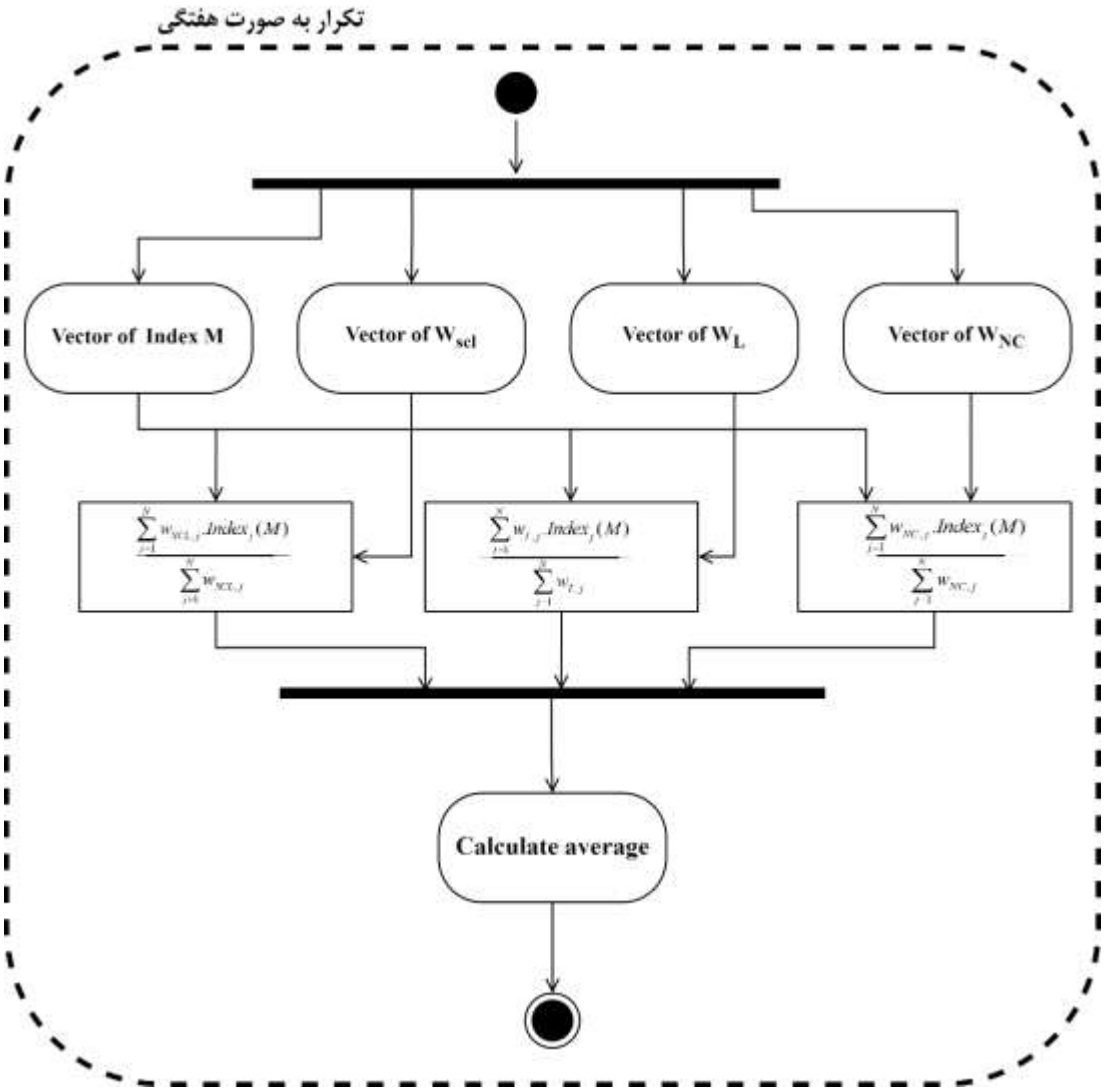
شکل ۳-۳۳: نمودار فعالیت روال مربوط به محاسبه‌ی شاخص تجمیعی ولتاژی سایت



شکل ۳-۳۴: نمودار فعالیت روال مربوط به محاسبه‌ی شاخص تجمیعی جریانی سایت

۳-۴-۴-۲- شاخص تجمیعی هر اغتشاش برای کل سیستم

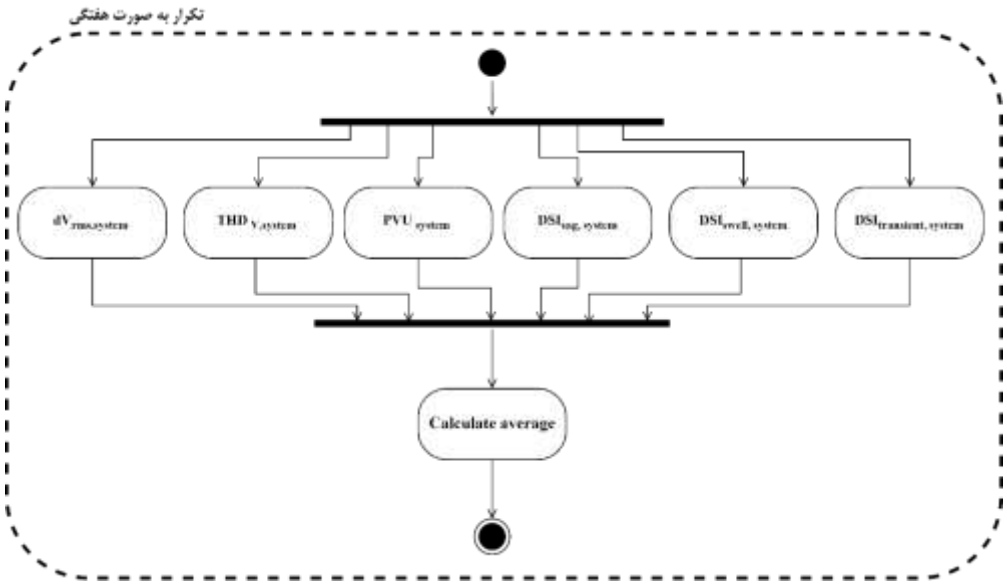
از ضرایب ویژگی‌های سایت برای وزن‌دهی به شاخص تجمیعی هر اغتشاش برای کل سیستم استفاده می شود. شکل ۳-۳۵ نمایانگر نحوه‌ی استخراج شاخص تجمیعی هر اغتشاش برای کل سیستم است. از ضرایب ویژگی‌های سایت برای وزن‌دهی به شاخص تجمیعی هر اغتشاش برای کل سیستم استفاده می‌شود. همان‌طور که در معادله‌ی ۲-۱ در بند ۲-۳ ذکر شد، شاخص $Index(M)_{system}$ شاخص تجمیعی نرمالایز شده اغتشاش Mام کل سیستم است. همچنین $Index_j(M)$ شاخص نرمالایزشده Mام سایت jام است. $W_{SCL,j}$، $W_{L,j}$ و $W_{NC,j}$ به ترتیب مؤلفه‌ی مربوط به سطح اتصال کوتاه، میزان بار مصرفی و تعداد مشترکین سایت jام است. N_W تعداد ویژگی‌های تأثیرگذار بر پارامتر کیفیت توان موردنظر و N تعداد سایت‌های دارای اندازه‌گیری در منطقه موردنظر است.



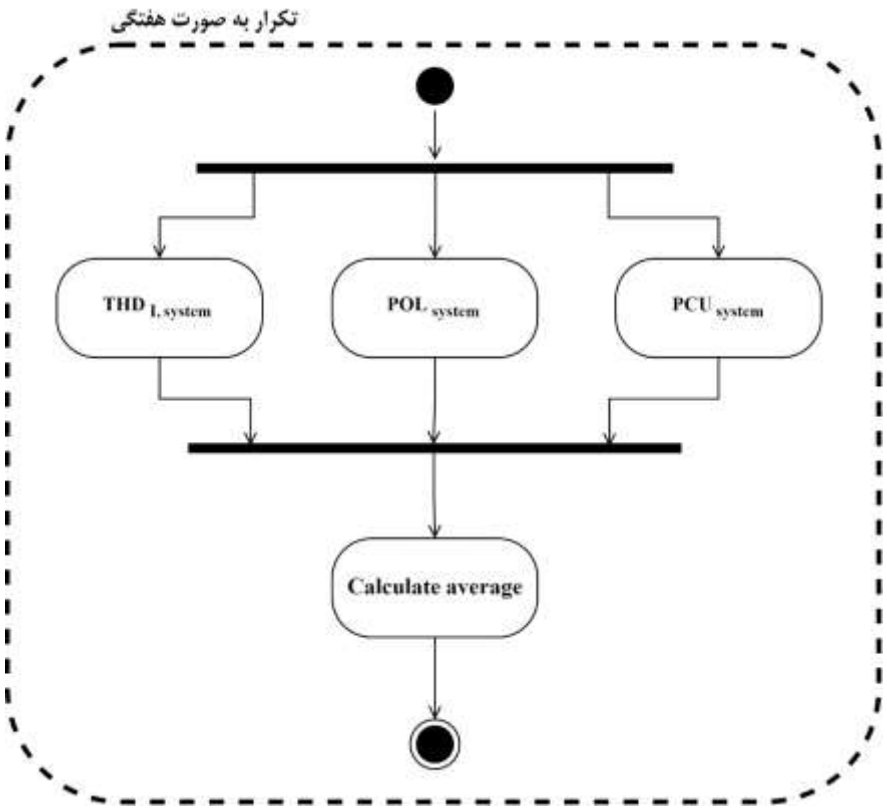
شکل ۳-۳۵: نمودار فعالیت روال مربوط به محاسبه‌ی شاخص تجمیعی هر اغتشاش برای کل سیستم

۳-۴-۴-۲-شاخص تجمیعی کل سیستم

پس از به دست آوردن شاخص تجمیعی هر اغتشاش، می‌توان شاخص تجمیعی کل سیستم را به دست آورد. روند محاسبه‌ی شاخص تجمیعی ولتاژی و جریانی کل سیستم به‌صورت شکل ۳-۳۶ و ۳-۳۷ است.



شکل ۳-۳۶: نمودار فعالیت روال مربوط به محاسبه‌ی شاخص تجمیعی ولتاژی سیستم



شکل ۳-۳۷: نمودار فعالیت روال مربوط به محاسبه‌ی شاخص تجمیعی جریانی کل سیستم

۳-۵- ماژول گزارش‌دهی کیفیت توان

در این بخش به برر سی و معرفی ماژول گزارش‌دهی در سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان پرداخته شده ا ست. در ابتدا به معرفی منحنی‌های مقایسه‌ای پارامترهای کیفیت توان پرداخته و سپس نحوه‌ی گزارش‌دهی شاخص‌های آماری پارامترهای کیفیت توان بررسی شده است. ساختار این ماژول در جدول ۳-۱۷ معرفی شده است.

جدول ۳-۱۷: ساختار ماژول گزارش کیفیت توان

ماژول	ورودی‌ها	خروجی‌ها	پردازش
جمع‌آوری و اکتساب داده	اطلاعات خام کنتورها	منحنی‌های گزارش کیفیت توان	نمایش ساختار گرافیکی اطلاعات
	داده‌های پردازش‌شده	گزارش‌دهی شاخص‌های آماری	
	شاخص‌های آماری		

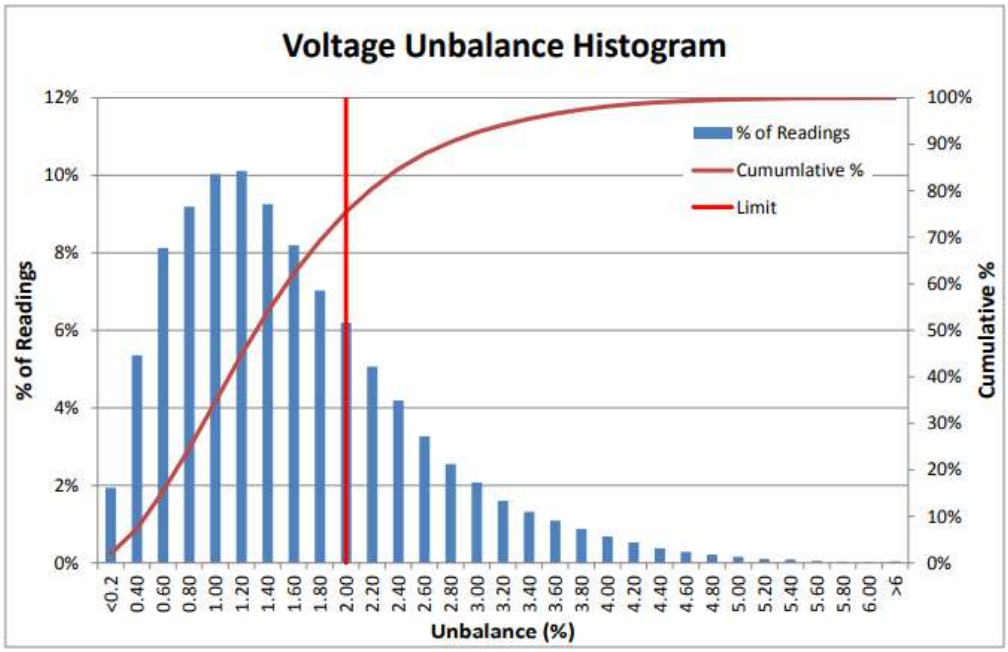
۳-۵-۱- منحنی‌های مقایسه‌ای پارامترهای کیفیت توان

سامانه‌ی پایش کیفیت توان این امکان را فراهم می سازد تا با مقای سه‌ی پارامترهای مختلف، دید بهتری ن سبت به شـبکه‌ی توزیع برق وجود داشـته باشـد. در ادامه به معرفی منحنی‌های موجود در سـامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان پرداخته می‌شود.

۳-۵-۱-۱- منحنی هیستوگرام

این منحنی نشان‌دهنده توزیع پراکندگی پارامتر است و ممکن است منحنی احتمال تجمعی نیز به آن اضافه شود تا مقدار هر شاخص آماری مستقیماً از روی نمودار خوانده شود. همچنین می‌توان مقایسه نمودار را با حد[1] نیز نمایش داد. این منحنی در شکل ۳-۳۸ نمایش داده شده است.

[1] Limit

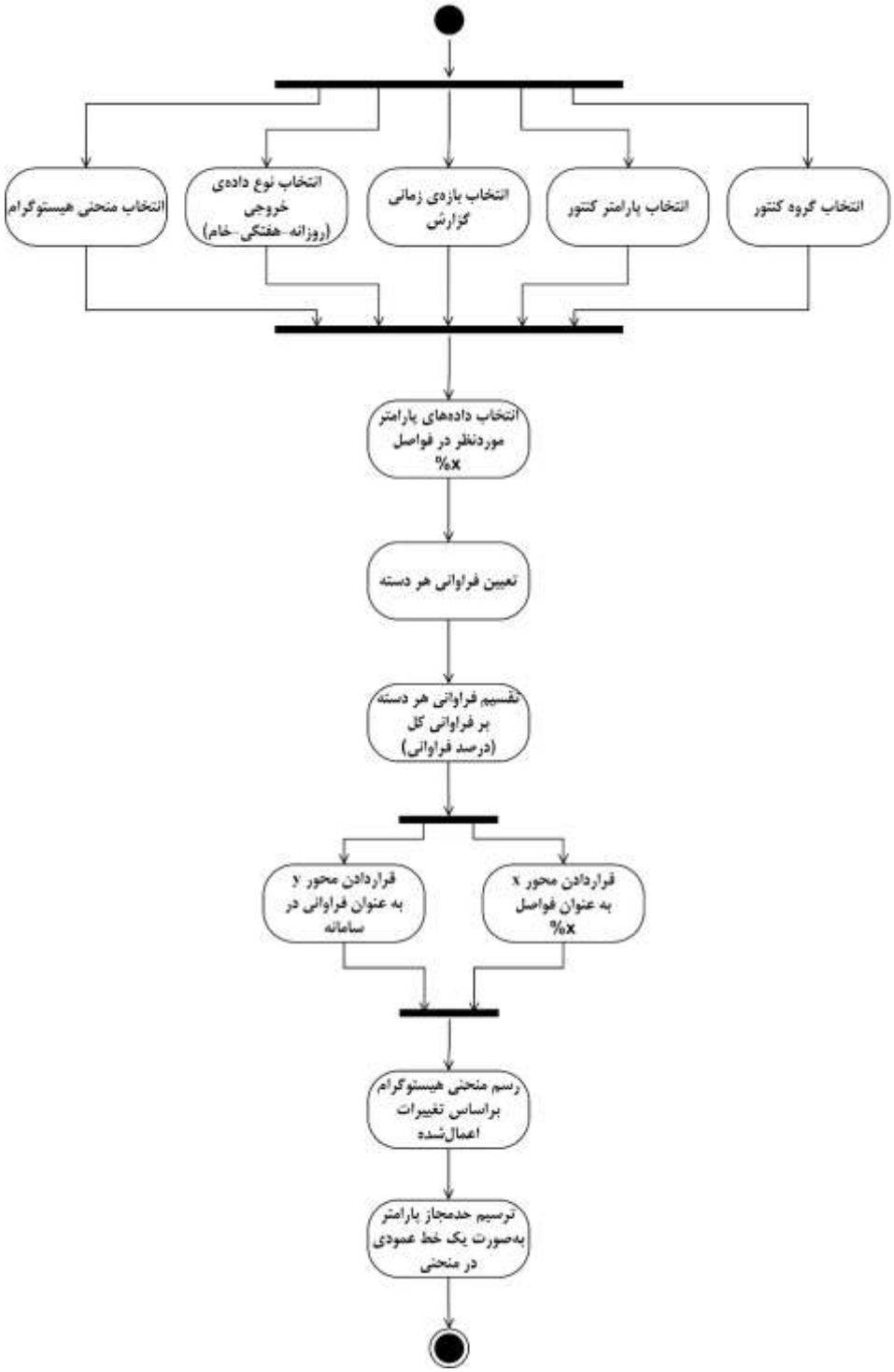


شکل ۳-۳۸: منحنی هیستوگرام

در سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان، در صفحه دانلود داده و گزارش پارامتر، پس از انتخاب منحنی هیستوگرام به عنوان منحنی خروجی گزارش، داده‌های پارامتر انتخاب‌شده در سامانه در فواصل x% تعیین شده، دسته‌بندی می‌شوند و سپس فراوانی هر دسته تعیین می‌گردد. پس از آن فراوانی هر دسته بر فراوانی کل تقسیم شده تا درصد فراوانی محاسبه گردد.

برای نمایش منحنی، محور x را به‌عنوان فواصل یکای پارامتر و محور y را به‌عنوان فراوانی پارامتر منتخب کاربر قرار داده و منحنی هیستوگرام رسم می‌شود، سپس همان‌طور که ذکر شد حد مجاز پارامتر به صورت یک خط عمودی در منحنی جهت مقایسه قرار داده می‌شود. شکل ۳-۳۹ نمودار فعالیت[1] منحنی هیستوگرام منتخب کاربر را نمایش می‌دهد.

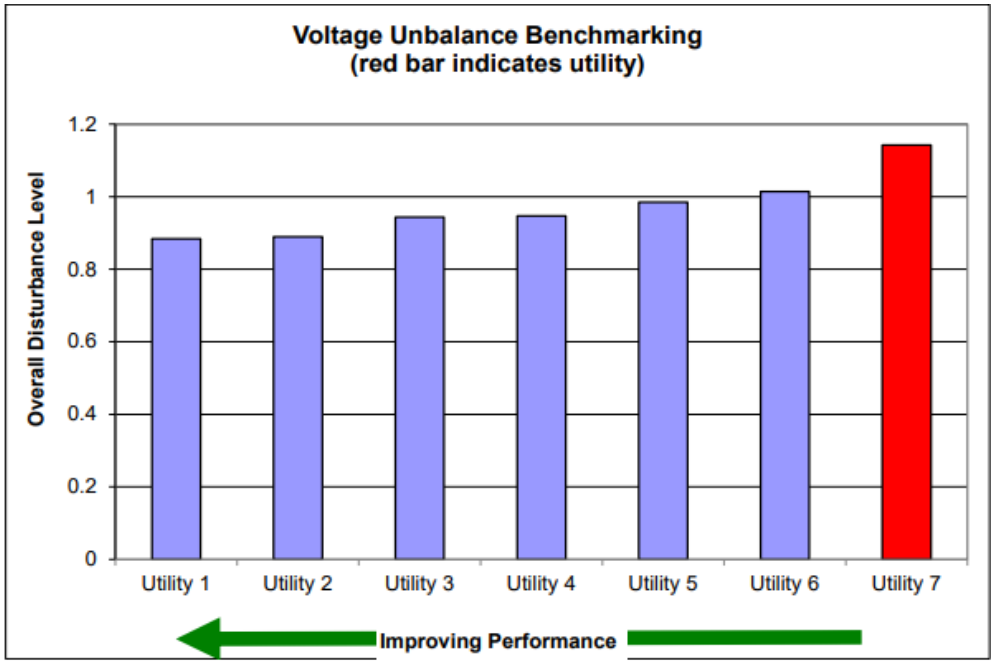
[1] Activity Diagram



شکل ۳-۳۹: نمودار فعالیت منحنی هیستوگرام سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان

۳-۵-۱-۲- منحنی رتبه‌بندی

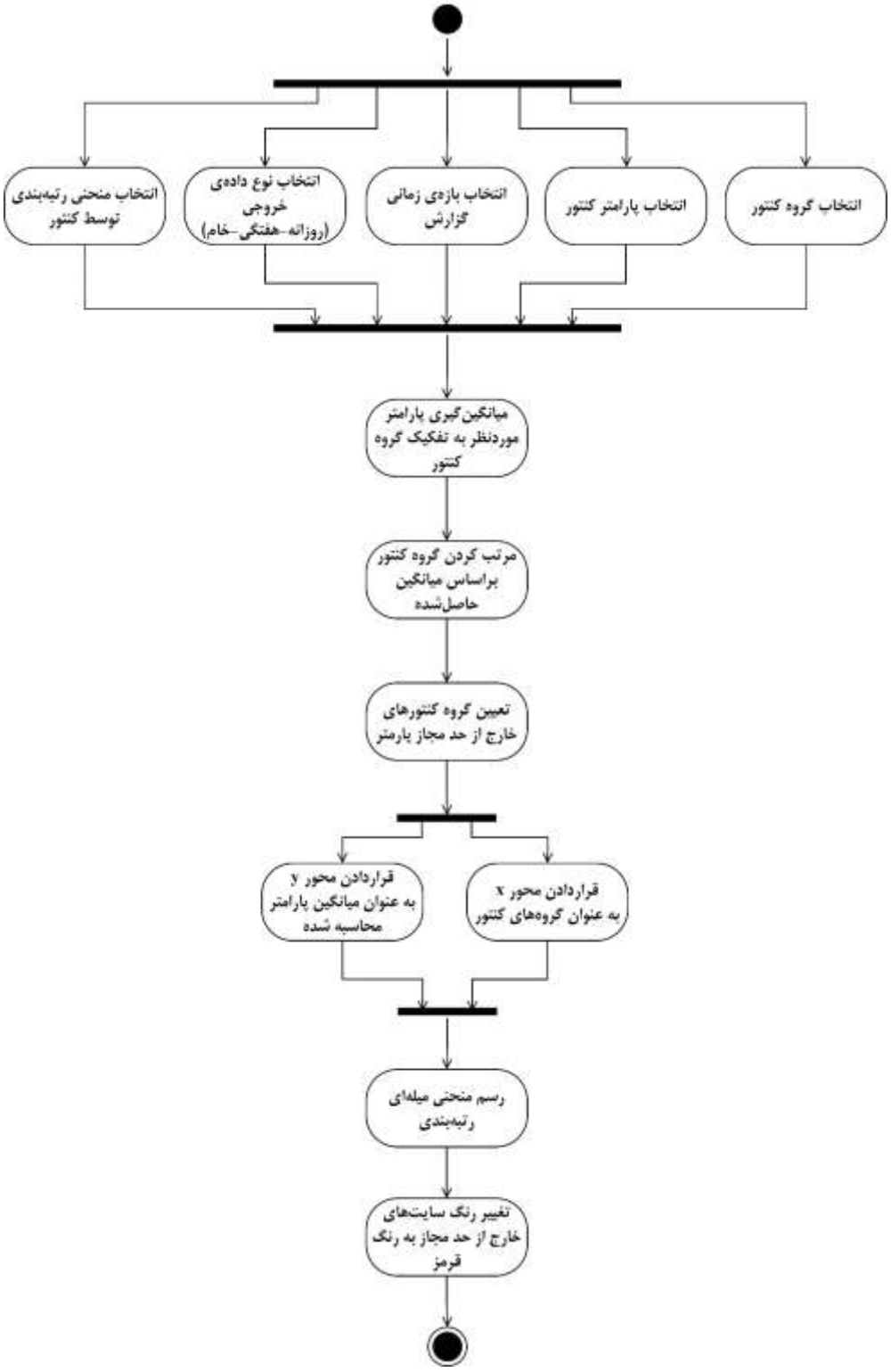
در سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان، در صفحه‌ی دانلود داده و گزارش پارامتر، پس از انتخاب منحنی رتبه‌بندی به عنوان منحنی خروجی گزارش، این منحنی، سایت‌ها را از بهترین به بدترین بر اساس حد مجاز پارامترهای کیفیت توان از چپ به راست، مرتب کرده و رتبه‌بندی می‌کند. این منحنی در شکل ۳-۴۰ نمایش داده شده است.



شکل ۳-۴۰: منحنی رتبه‌بندی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان

در ابتدا میانگین‌گیری پارامتر موردنظر به تفکیک گروه کنتور انتخاب‌شده کاربر صورت گرفته و سپس گروه کنتور بر اساس میانگین حاصل‌شده، مرتب و دسته‌بندی می‌شود. همچنین گروه کنتورهای خارج از حد مجاز پارامتر تعیین‌شده تا در منحنی با رنگ قرمز نمایش داده شود.

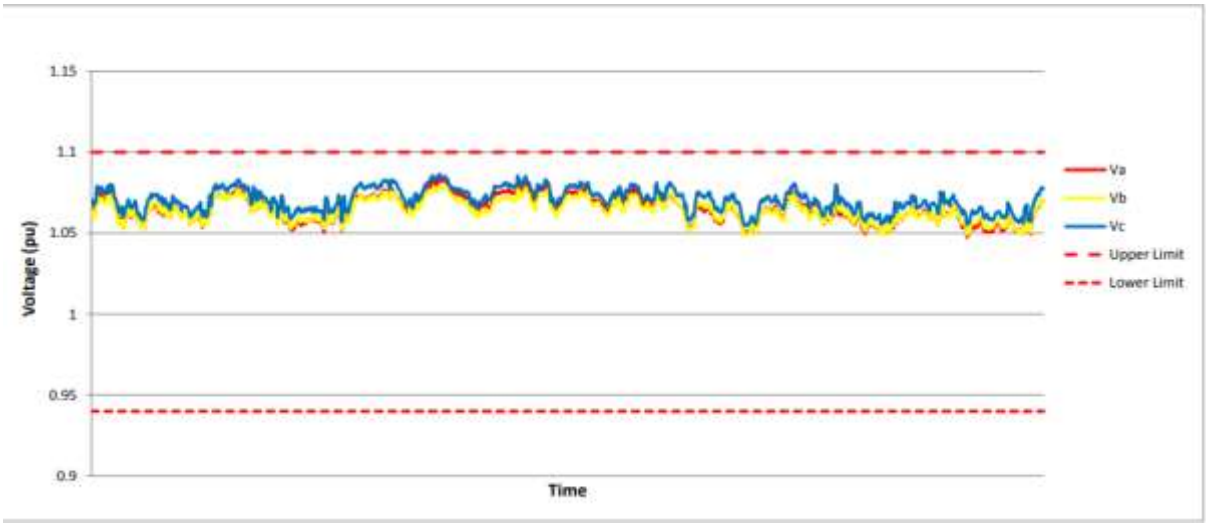
سپس محور x به‌عنوان گروه‌های کنتور و محور y به‌عنوان میانگین پارامتر کنتورهای یک سایت قرار گرفته و منحنی میله‌ای رسم می‌شود. نمودار فعالیت این منحنی در شکل ۳-۴۱ نمایش داده شده است.



شکل ۳-۴۱: نمودار فعالیت منحنی رتبه‌بندی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان

۳-۵-۱-۲- منحنی سری زمانی

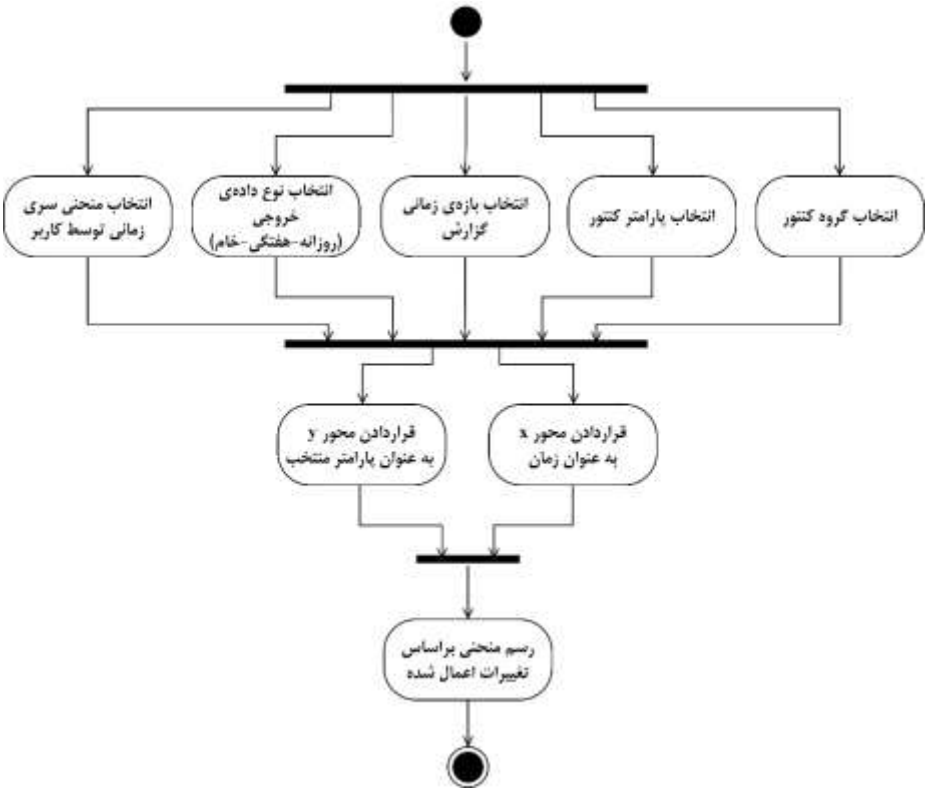
در این منحنی، پارامتر انتخاب شده تو سط کاربر برح سب زمان، نمایش داده می شود. این منحنی در شکل ۳-۴۲ نمایش داده شده است.



شکل ۳-۴۲: منحنی سری زمانی

در سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان، پس از انتخاب منحنی سری زمانی در صفحه‌ی گزارش پارامتر و دانلود داده توسط کاربر، محور x به‌عنوان زمان و محور y به‌عنوان پارامتر منتخب کاربر در نظر گرفته شده و سپس منحنی بر اساس گروه کنتور انتخاب‌شده و یا به تفکیک برای پارامترهای پیوسته رسم می‌شود.

نمودار فعالیت منحنی سری زمانی در شکل ۳-۴۳ نشان داده شده است.



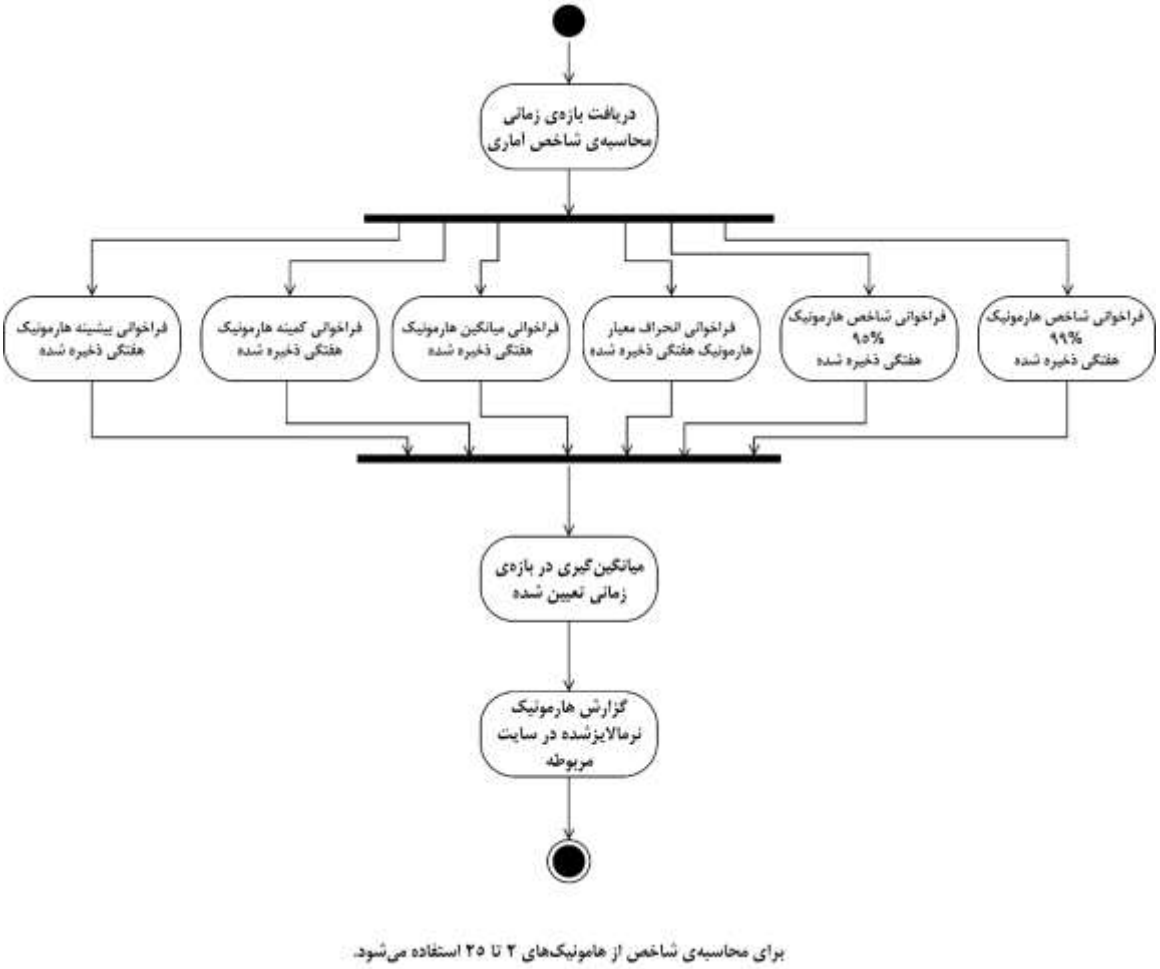
شکل ۳-۴۳: نمودار فعالیت منحنی سری زمانی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان

۳-۵-۲- شاخص‌های آماری پارامترهای کیفیت توان

در سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان این امکان درنظر گرفته شده است که شاخص‌های آماری پارامترهای پیوسته کیفیت توان، گزارش شود. در ادامه روند چند نمونه از گزارش پارامترهای مهم کیفیت توان بررسی شده است.

۳-۵-۲-۱-گزارش هارمونیک‌های جریان و ولتاژ

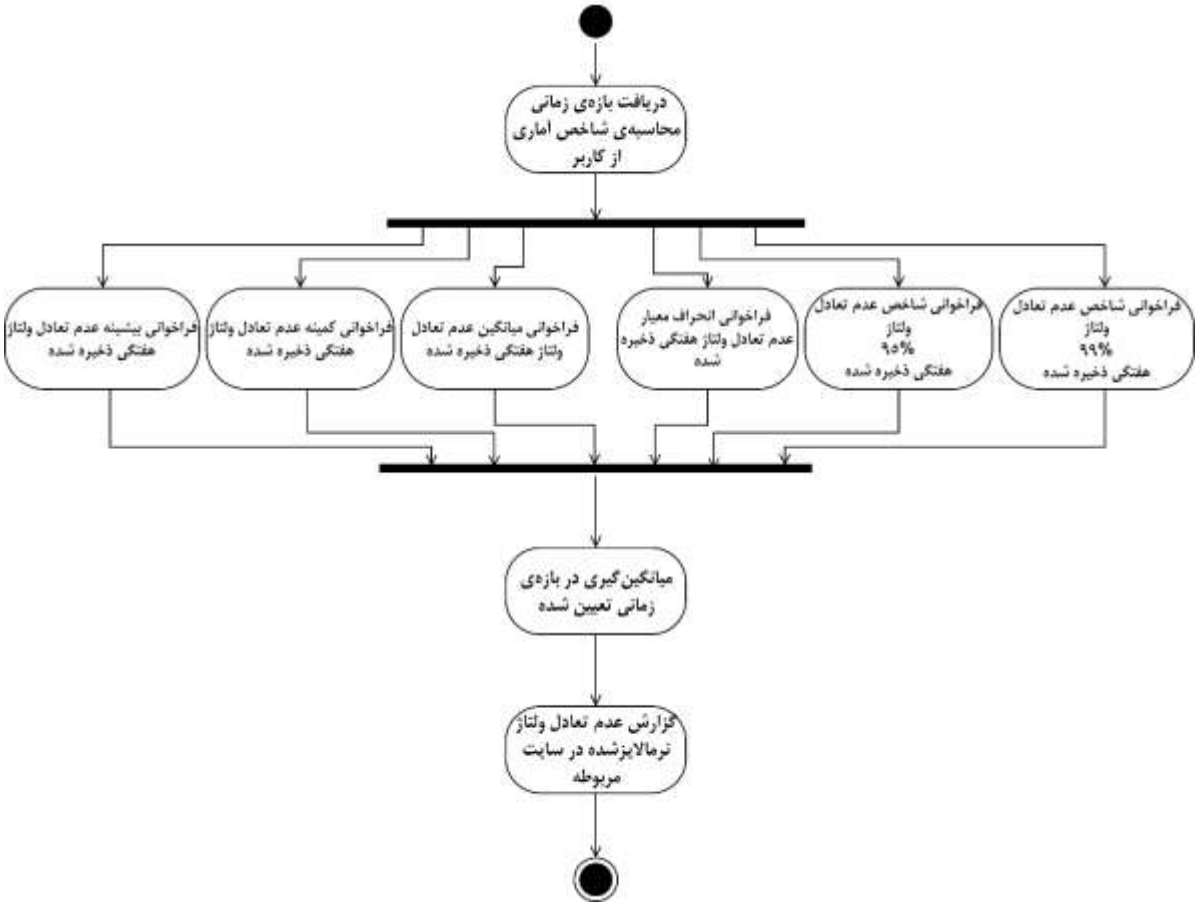
در سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان، برای گزارش هارمونیک‌های نرمالایزشده، در ابتدا داده‌های پردازش‌شده هفتگی هارمونیک جریان و ولتاژ، فراخوانی می‌شود. همچنین بازه‌ی زمانی محاسبه‌ی شاخص آماری از کاربر با توجه به صفحه‌ی کارنامه کیفیت توان دریافت شده است. در بازه‌ی زمانی منتخب کاربر، میانگین‌گیری انجام و هارمونیک‌های نرمالایزشده گزارش می‌شود. نمودار فعالیت گزارش هارمونیک‌ها در شکل ۳-۴۴ نمایش داده شده است.



شکل ۳-۴۴: نمودار فعالیت گزارش هارمونیک‌های جریان و ولتاژ کنتورهای فهام و MK6E

۳-۵-۲-۳- گزارش عدم‌تعادل ولتاژ

در سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان، گزارش عدم‌تعادل ولتاژ، همانند گزارش ضریب توان بوده و پس از بازه‌ی زمانی تعیین‌شده توسط کاربر، داده‌های پردازش‌شده هفتگی مربوط به عدم‌تعادل ولتاژ، فراخوانی می‌شود. سپس میانگین‌گیری در بازه‌ی زمانی تعیین‌شده صورت گرفته و گزارش عدم تعادل ولتاژ در سامانه، نشان داده می‌شود. نمودار فعالیت گزارش عدم تعادل ولتاژ در شکل ۳-۵ نشان داده شده است.



شکل ۳-۴۵: گزارش عدم‌تعادل ولتاژ در سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان

فصل چهارم: طراحی رابط کاربری و داشبورد مدیریتی نرم‌افزار

۴-۱- مقدمه

در این بخش، به طراحی رابط کاربری و داشبورد مدیریتی نرم‌افزار پرداخته شده است. این بخش از سامانه با ماژول گزارش‌دهی کیفیت توان ارتباط مستقیم دارد، هرچند که به دیگر ماژول‌ها به‌صورت غیرمستقیم مرتبط هستند. نمونه‌سازی[1] بخش مهمی از فرآیند طراحی یک سامانه بوده که بخش‌های مختلف و عناصر به کار گرفته شده را به صورت خام نمایش می‌دهد. در این بخش، برای نمونه‌سازی داشبورد مدیریتی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان، از نرم‌افزار Edraw استفاده شده است. برای طراحی یک سامانه در ابتدا از رسم WireFrameها برای نمایش کلیات طرح به اعضاء استفاده می‌شود. WireFrameها اغلب به‌صورت یک راهنمای تصویری کامل از رابط کاربری وب‌سایت قبل از طراحی سایت استفاده شده و توسط آن چارچوب‌بندی کلی سایت را مشخص می‌شود.

۴-۲- صفحه‌ی ورود به سامانه

در ابتدا، جهت ورود کاربران به سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان، پس از وارد کردن آدرس سامانه، کاربر وارد صفحه ورود نام کاربری و رمز عبور می شود. مطابق شکل ۴-۱، در این صفحه، کاربر نام کاربری و رمز عبور خود را وارد کرده و در صورت تمایل، گزینه‌ی به خاطر بسپار را برای ذخیره نام کاربری و رمز عبور برای ورود مجدد به سامانه، انتخاب می‌کند.

همچنین در صورت فراموشی رمز عبور، می‌تواند از طریق گزینه فراموشی رمز عبور، اقدام به دریافت مجدد رمز عبور خود کند.

همانند شکل ۴-۲، سیستم، پس از وارد کردن نام کاربری و رمز عبور، شروع به چک کردن صحیح بودن نام کاربری و رمز عبور کرده و در صورت اشتباه بودن هر یک، به صفحه‌ی اصلی بازگشت داده شده و اعلام خطا می‌کند.

نمودار فعالیت این صفحه در شکل ۴-۳ نشان داده شده است.

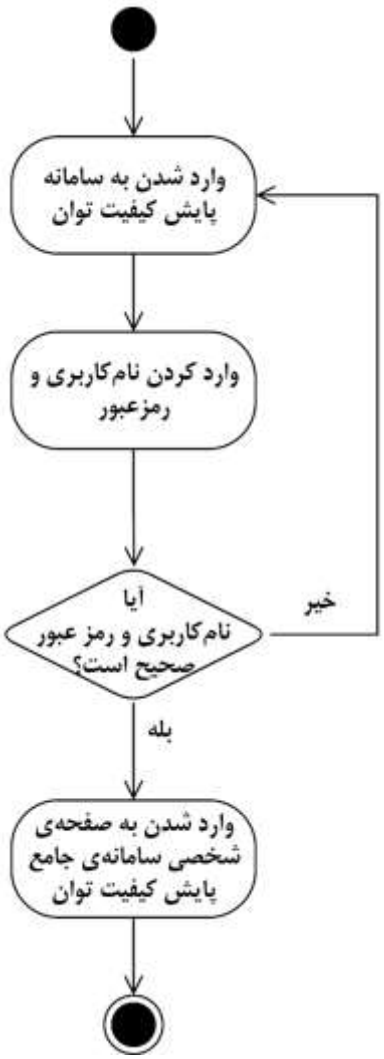
[1] WireFrame



شکل ۴-۱: صفحه اصلی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان



شکل ۴-۲: اشتباه بودن نام کاربری و یا رمز عبور



شکل ۴-۳: نمودار فعالیت صفحه اصلی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان

اما در صورت در ست بودن نام کاربری و رمز عبور، کاربر وارد صفحه شخ صی خود می شود. در صورتی‌که کاربر، شرکت توانیر و یا شرکت توزیع باشد، صفحه‌ی شخصی شکل ۴-۴ را مشاهده خواهد کرد.

۴-۳-صفحه‌ی شخصی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان

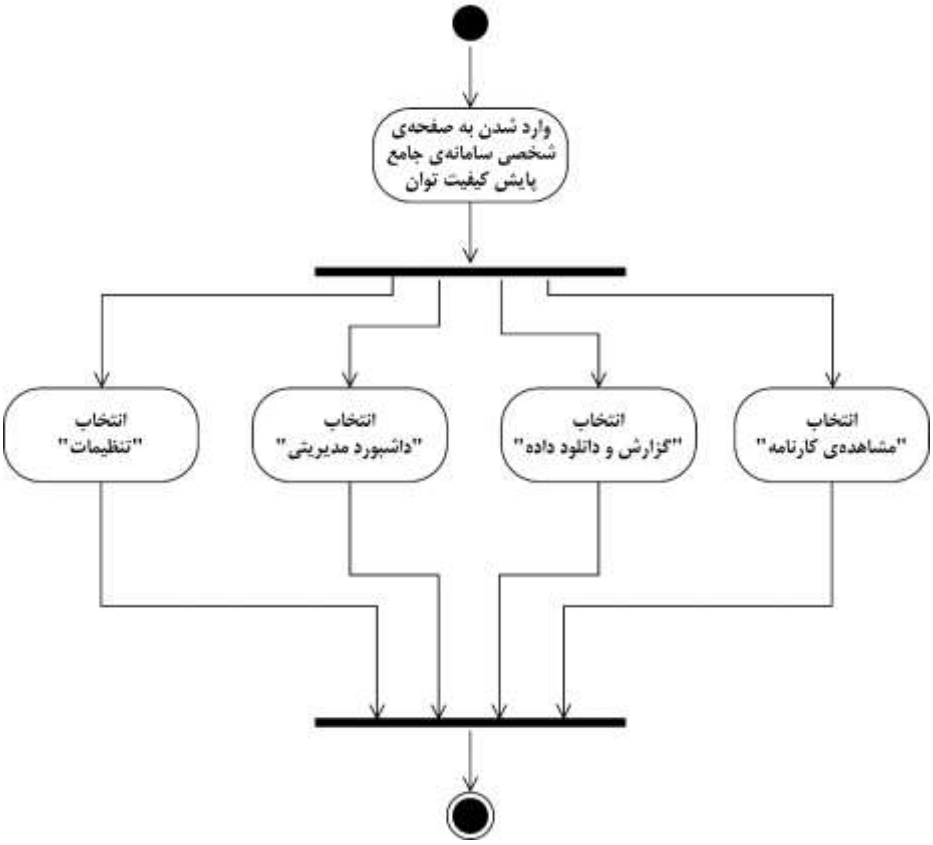
در این صفحه، چهار گزینه وجود دارد.

- مشاهده‌ی کارنامه
- گزارش پارامترها و دانلود داده
- داشبورد مدیریتی
- تنظیمات



شکل ۴–۴: صفحه شخصی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان

همچنین در نوار بالای صفحه‌ی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان، گزینه‌های خانه و ارتباط با ما، در صورت تمایل برای بازگشت به صفحه‌ی اصلی و ارتباط با بخش مدیریتی استفاده می‌شود. نمودار فعالیت صفحه‌ی شخصی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان در شکل ۴–۵ نمایش داده شده است.

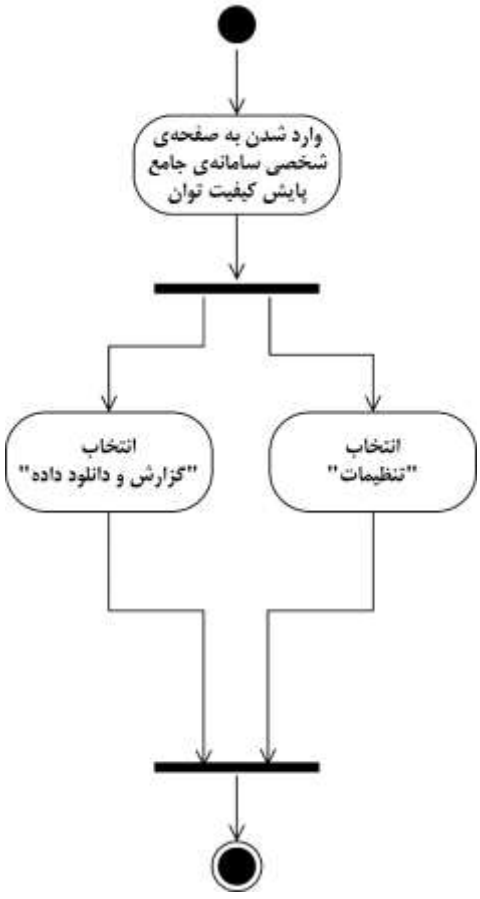


شکل ۴-۵: نمودار فعالیت صفحه‌ی شخصی سامانه جامع پایش کیفیت توان برای شرکت‌های توزیع و شرکت توانیر

در صورتی‌که کاربر مدنظر، مشترک بزرگ باشد، از جانب شرکت توانیر دارای محدودیت شده و تنها می‌تواند گزینه گزارش پارامترها را مشاهده نماید. شکل ۴-۶ و ۴-۷ صفحه شخصی و نمودار فعالیت مشترک بزرگ است.



شکل ۴-۶: صفحه شخصی مشترک بزرگ در سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان



شکل ۴-۷: نمودار فعالیت صفحه‌ی شخصی مشترک بزرگ

۴-۳-۱- صفحه‌ی مشاهده‌ی کارنامه

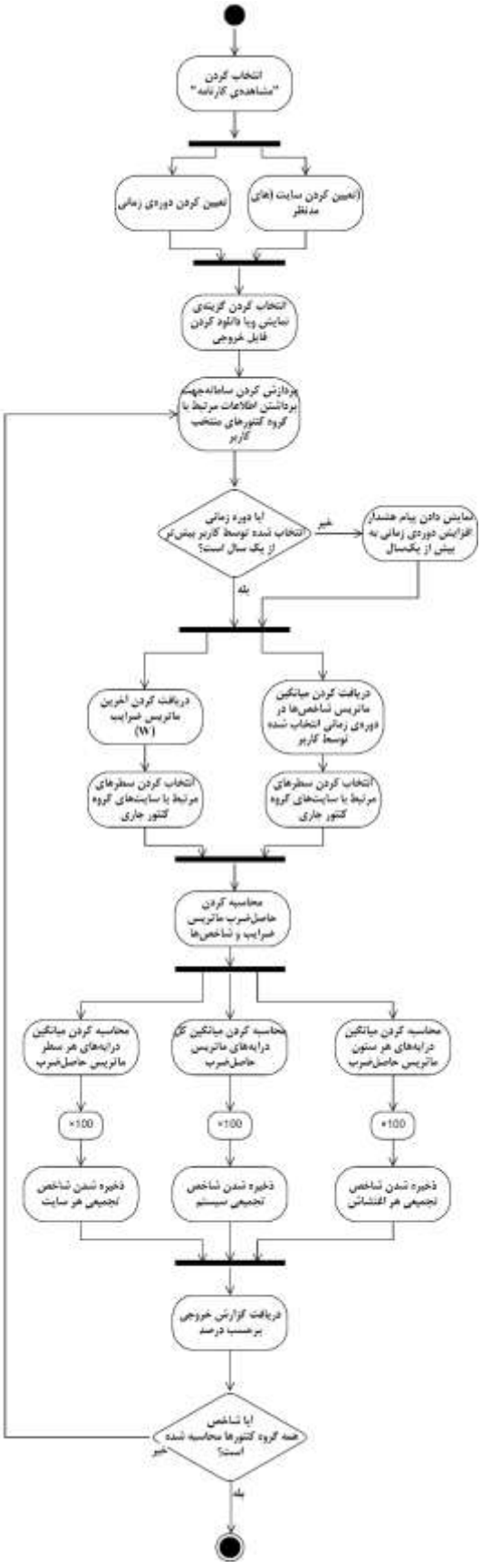
پس از ورود به صفحه‌ی شخصی، کاربر، با انتخاب گزینه‌ی مشاهده‌ی کارنامه، وارد صفحه‌ی مشاهده‌ی کارنامه شده و می‌تواند با ورود نوع شاخص، گروه کنتور و بازه‌ی زمانی تعیین‌شده، شاخص تجمیعی مدنظر خود را مشاهده کند.

همان‌طور که در شکل ۴-۸ نشان داده شده است، کاربر ابتدا نوع شاخص مدنظر خود را که شامل شاخص تجمیعی سایت، شاخص تجمیعی سیستم و شاخص تجمیعی اغتشاش است را انتخاب کرده، سپس گروه کنتور مدنظر خود را با توجه به نوع توزیع، گروه کنتور و در صورت داشتن شماره بدنه‌ی کنتور، وارد کرده و سپس بازه‌ی زمانی مدنظر را به صورت تاریخ وارد و گزینه‌ی نمایش خروجی را جهت مشاهده‌ی خروجی مدنظر در جدول مربوطه، انتخاب می‌کند.

منوی مشاهده‌ی کارنامه و نمودار فعالیت آن در شکل ۴-۸ و ۴-۹ نمایش داده شده است.



شکل ۴-۸: صفحه‌ی مشاهده‌ی کارنامه‌ی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان



شکل ۴–۹: نمودار فعالیت مشاهده‌ی کارنامه‌ی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان

همان‌طور که در شکل ۴-۹ مشخص است، پس از انتخاب گزینه‌ی نمایش خروجی توسط کاربر، سامانه، شروع به پردازش‌های لازم جهت استخراج شاخص تجمیعی کرده و درصورتی‌که دوره‌ی زمانی انتخاب‌شده توسط کاربر کم‌تر از یک سال باشد، هشداری را جهت انتخاب یک ساله بازه زمانی به کاربر نمایش می‌دهد، اما کار پردازش سامانه جهت استخراج شاخص، متوقف نشده و شاخص تجمیعی محاسبه خواهد شد و سپس ماتریس شاخص‌ها و ماتریس ضرایب برای محاسبه‌ی شاخص تجمیعی، محاسبه شده و پس از محاسبه‌ی ماتریس ضرایب، سطرهای مرتبط با درایه‌های گروه کنتور جاری انتخاب شده و سیستم در هر مرحله چک می‌کند که آیا شاخص همه گروه کنتورهای انتخاب شده، محاسبه‌شده است یا خیر، درصورتی‌که شاخص همه‌ی گروه کنتورهای انتخاب‌شده، محاسبه نشده باشد، مراحل دوباره تکرار خواهد شد تا زمانی که تمامی کنتورها محاسبه گردد و سپس شاخص تجمیعی به صورت درصد با محاسبات انجام‌شده همانند شکل ۴-۹ به کاربر نمایش داده می‌شود.

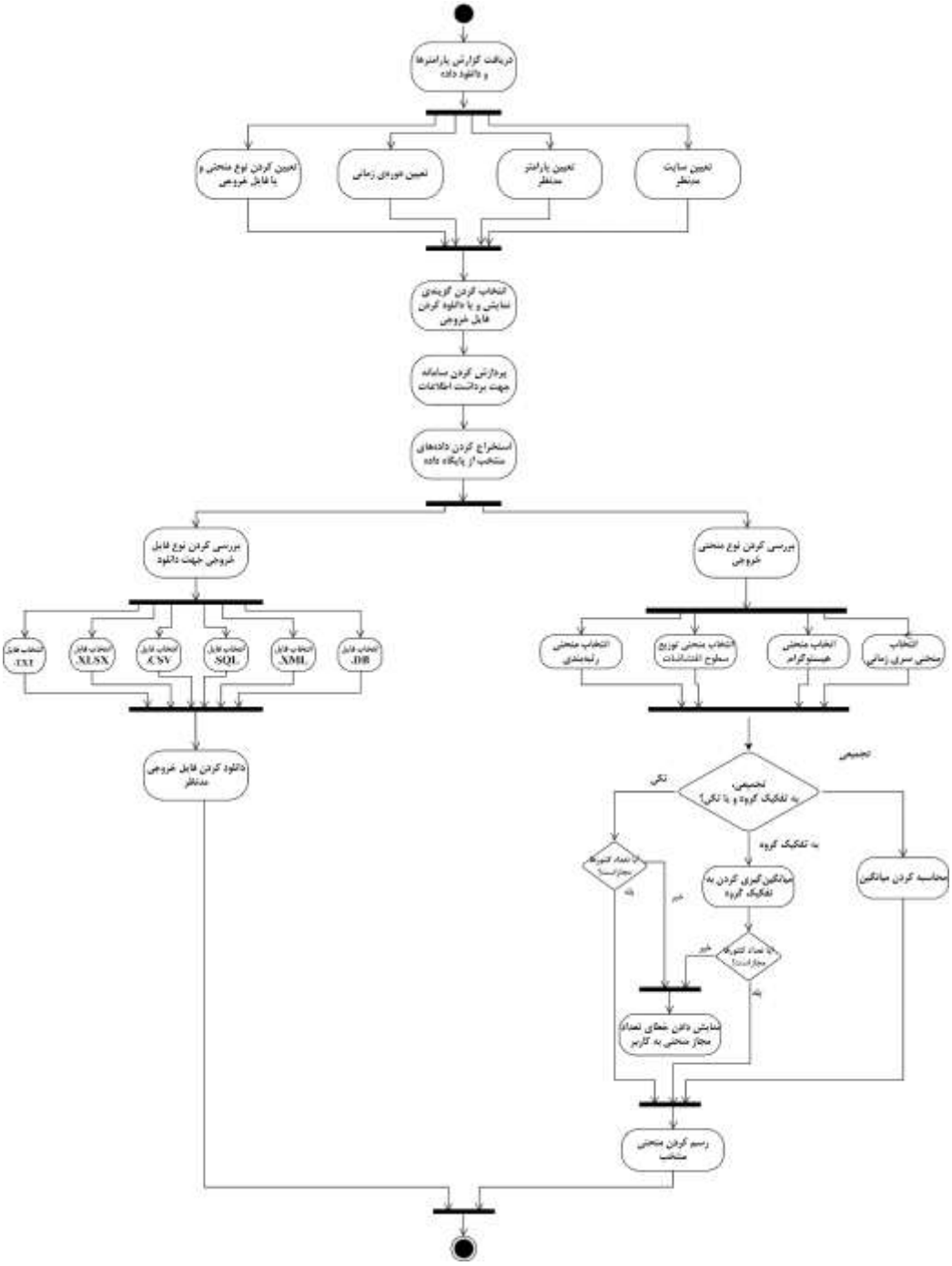
۴-۳-۲-صفحه‌ی گزارش پارامتر و دانلود داده

در این منو، کاربر در ابتدا گروه کنتور مدنظر خود را با توجه به نوع توزیع، گروه کنتور و در صورت نیاز با واردکردن شماره بدنه کنتور، تکمیل می‌کند.

سپس برای گزارش پارامتر، در قسمت انتخاب پارامتر، پارامترهای مدنظر خود را انتخاب کرده و همان‌طور که در شکل ۴-۱۰ مشخص است، در این قسمت، پارامترهای پروفایل بار و رویدادها در کنتورها به‌صورت جداگانه آورده شده است. شکل ۴-۱۱ نمودار فعالیت گزارش پارامتر و دانلود داده را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۰: صفحه‌ی گزارش پارامتر و دانلود داده در سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان



شکل ۴–۱۱: نمودار فعالیت گزارش پارامتر و دانلود داده در سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان

همچنین، پارامترهای موجود در کنتورهای MK6E که در کنتورهای فهام وجود نداشـــتند را با علامت ســـتاره در انتهای پارامتر مشخص‌شده است.

کاربر، پس از انتخاب پارامترهای مدنظر، بازه‌ی زمانی را بر اساس ورود تاریخ انتخاب می‌کند.

همان‌طور که در شکل ۴–۱۰ مشخص است، پارامترها را می‌توان در منحنی‌های زیر مشاهده کرد.

- منحنی هیستوگرام

- منحنی سری زمانی
- منحنی رتبه‌بندی
- منحنی توزیع سطوح اغتشاش

طبق شکل مشاهده‌شده در گزارش پارامتر و دانلود داده، منحنی‌های موجود را به سه حالت می‌توان تفکیک کرد.

- به تفکیک کنتور: در صورت انتخاب این گزینه، برای هر کنتور به تفکیک، یک منحنی رسم خواهد شد که امکان دارد کاربر تعداد زیادی از کنتورها را انتخاب نماید، درنتیجه، محدودیتی برای انتخاب کنتورها، در نظر گرفته شده است که در صورت عبور از حد مجاز، به دلیل زیاد شدن تعداد منحنی‌های رسم شده، خطایی را به کاربر نمایش می‌دهد. در اینجا تعداد پیشنهادی برای نمایش منحنی‌ها، پنج منحنی می‌باشد که کاربر حداکثر تا پنج منحنی را به‌صورت جداگانه بتواند مشاهده کند.
- به تفکیک گروه

در صورت انتخاب این گزینه، با توجه به گزینه گروه کنتور انتخاب شده توسط کاربر، هر گروه کنتور در یک منحنی با یکدیگر نمایش داده خواهد شد. به‌عنوان‌مثال کاربر دو گروه کنتور شهرستان کاشمر و شهرستان نیشابور را انتخاب کرده و منحنی سری زمانی برای گروه کنتور انتخاب می‌کند. در این حالت دو منحنی سری زمانی، یکی برای گروه کنتور شهرستان کاشمر و دیگری برای گروه کنتور شهرستان نیشابور نمایش داده خواهد شد.

- شاخص مجموع

در این حالت برای تمامی گروه کنتورهای منتخب کاربر، فقط یک منحنی نمایش داده می‌شود.

علاوه بر منحنی، کاربر می‌تواند با انتخاب نوع فایل خروجی، پارامترهای مدنظر را در فایل‌های خروجی زیر، دانلود کرده و بررسی کند.

- .txt
- .XLSX
- .CSV
- .SQL
- .XML
- .DB

و در انتها کاربر با انتخاب یکی از گزینه‌های نمایش منحنی و یا دانلود فایل خروجی، می‌تواند خروجی را به‌صورت منحنی و یا فایل مربوطه دانلود و مشاهده کند.

۴-۳-۳- صفحه‌ی داشبورد مدیریتی

در این بخش، کاربر تنها مواردی را که در بخش تنظیمات، انتخاب و تنظیم کرده است را مشاهده می‌کند.

طبق شکل ۴–۱۶ در ابتدا، در سمت چپ منو، به‌صورت پیش‌فرض، نقشه ایران با مشاهده شاخص کیفیت توان هر استان، نمایش داده خواهد شد.

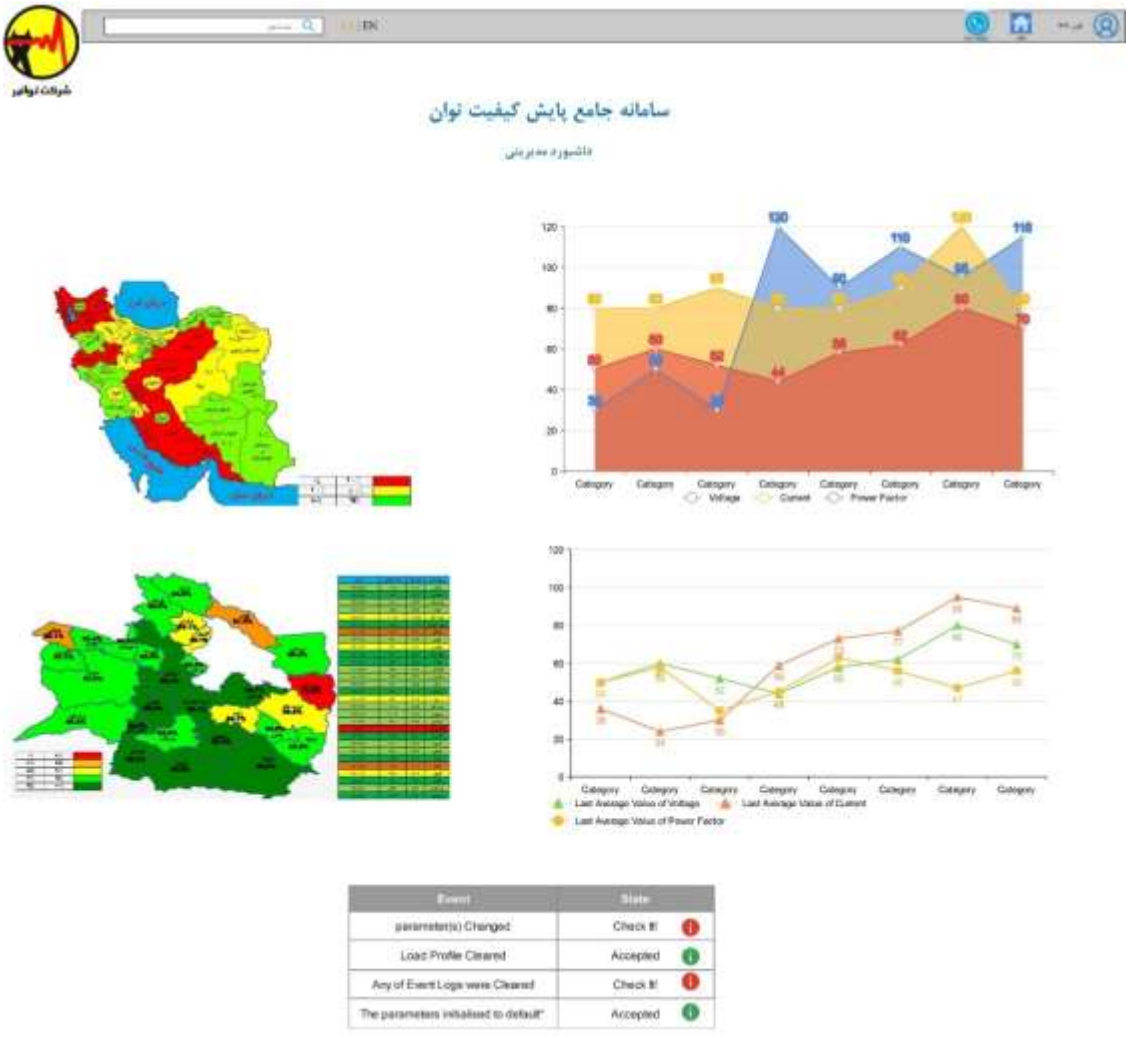
در صورت انتخاب هر استان، کاربر قادر خواهد بود که شهرستان‌های آن استان را نیز مشاهده کند و تمامی این موارد به درصد نمایش داده می‌شود.

همچنین دو نمودار جهت نمایش پارامترهایی که برای کاربر پراهمیت بوده است، در سمت راست صفحه مشاهده می‌شود.

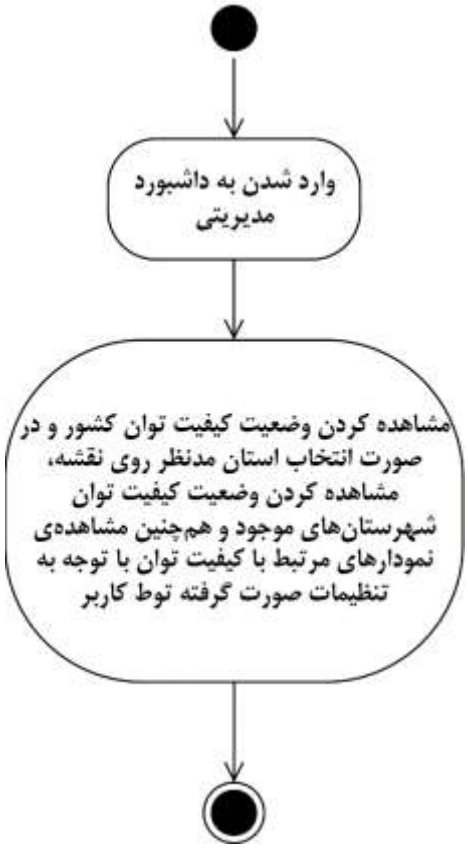
پارامترهای موجود در نمودارهای سمت راست صفحه‌ی داشبورد مدیریتی، توسط کاربر در بخش تنظیمات، مشخص می‌شود که در ادامه توضیح داده خواهد شد.

همچنین در پایین این صفحه، یک جدول جهت نمایش برخی از رویدادهای مهم در کنتورها را خواهیم داشت که به صورت آلارم در این صفحه نمایش داده می‌شود.

نمودار فعالیت داشبورد مدیریتی، در شکل ۴–۱۲ مشاهده می‌شود.



شکل ۴–۱۲: داشبورد مدیریتی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان



شکل ۴-۱۳: نمودار فعالیت داشبورد مدیریتی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان

۴-۳-۴-صفحه‌ی تنظیمات

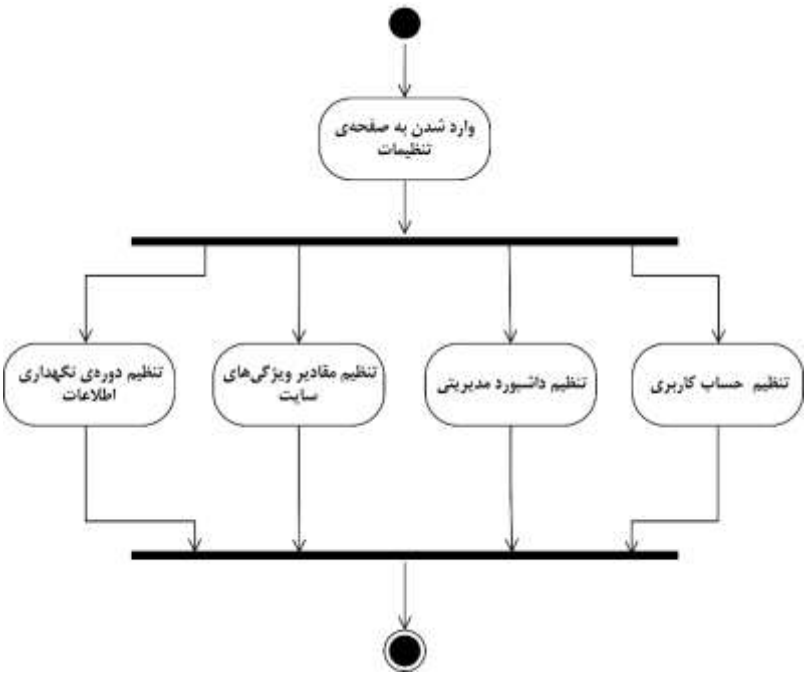
با انتخاب این صفحه، موارد زیر مشاهده می‌شود:

- تنظیمات حساب کاربری
- تنظیمات داشبورد مدیریتی
- تنظیمات مقادیر ویژگی‌های سایت
- تنظیمات دوره‌ی نگه‌داری اطلاعات

شکل ۴-۱۴ و ۴-۱۵ صفحه‌ی تنظیمات و نمودار فعالیت تنظیمات سامانه را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۴: صفحه‌ی تنظیمات سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان



شکل ۴-۱۵: نمودار فعالیت تنظیمات سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان

۴-۳-۴-۱- تنظیمات حساب کاربری

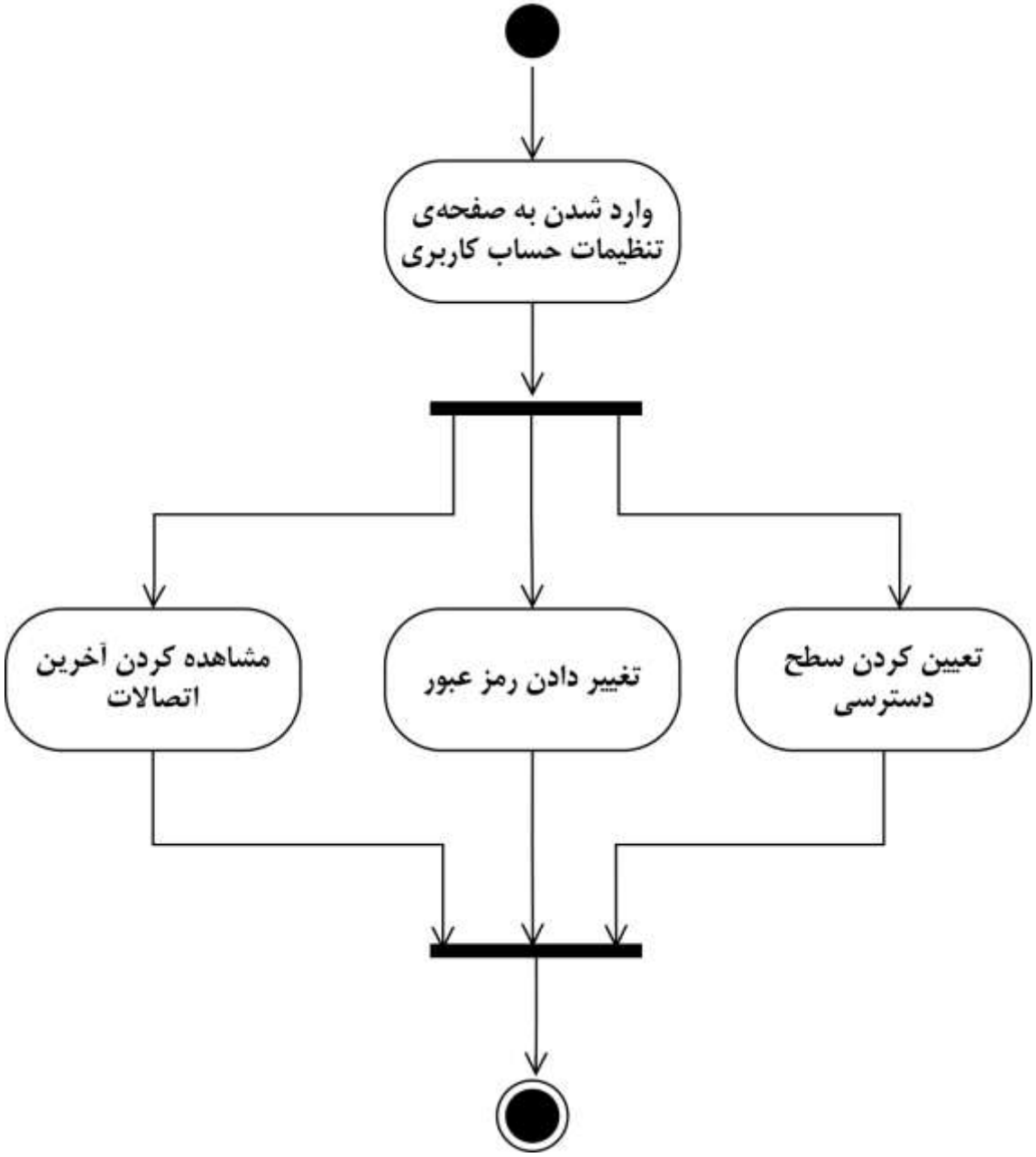
در این بخش، شرکت توانیر و شرکت‌های توزیع، سه گزینه را مشاهده خواهد کرد.

- تعیین سطح دسترسی کاربران
- تغییر رمز عبور
- مشاهده‌ی آخرین اتصالات

که مطابق شکل ۴-۱۶ و ۴-۱۷، صفحه‌ی تنظیمات حساب کاربری و نمودار فعالیت آن نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۶: تنظیمات حساب کاربری سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان



شکل ۴-۱۷: نمودار فعالیت تنظیمات حساب کاربری سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان

- **تعیین سطح دسترسی کاربران**

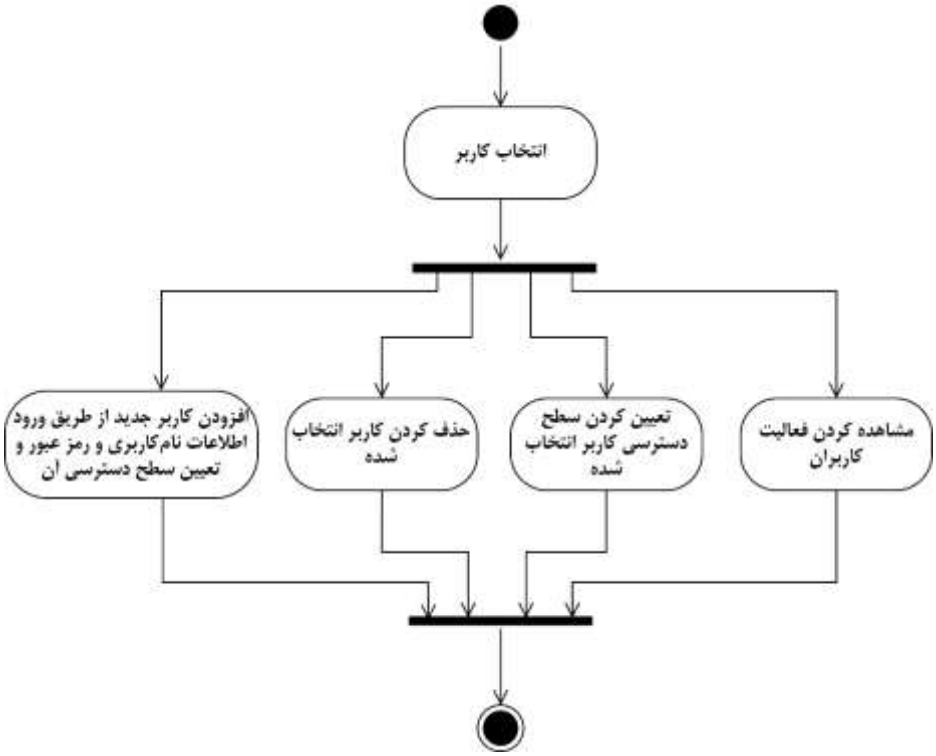
این صفحه برای شرکت توانیر و شرکت توزیع در نظر گرفته شده و جهت تعیین سطح دسترسی کاربران زیرمجموعه مربوطه است. همان‌طور که در شکل ۴-۱۸ مشخص است، در این صفحه، شرکت توانیر می‌تواند با توجه به کاربران موجود که از سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان استفاده می‌کنند، کاربران مدنظر خود را انتخاب کرده و سطح دسترسی هر یک را مشخص کند. (به‌مانند این صفحه برای شرکت توزیع تعریف شده است با این تفاوت که فقط محدوده‌ی مختص به شرکت توزیع و کاربران زیرمجموعه‌اش را مشاهده می‌کند.)

هم‌چنین، شـــرکت توانیر و شـــرکت‌های توزیع می‌توانند کاربر جدیدی را با تعریف نام کاربری و رمز عبور و تعیین سطح دسترسی برای کاربر جدید، به سیستم اضافه کرده و یا کاربران انتخاب‌شده را حذف کند.

از طریق گزینه مشـــاهده فعالیت کاربران، شـــرکت توانیر و شـــرکت‌های توزیع، می‌تواند فعالیت تمامی کاربران زیرمجموعه حاضر در سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان را مطابق شکل ۴-۲۰ مشاهده کرده و آخرین اتصال هر کاربر را به تفکیک ببیند.



شکل ۴-۱۸: تعیین سطح دسترسی کاربران در سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان



شکل ۴-۱۹: نمودار فعالیت تعیین سطح دسترسی کاربران در سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان



Number (#)	Username	IP	Connection Start	Connection Stop
1	توزیع مشهد	127.255.255.255	12:56 | 1400.03.19	13:30 | 1400.03.19
2	توزیع اصفهان	191.255.255.255	15:00 | 1400.03.19	18:00 | 1400.03.19
3	مشترک بزرگ	223.255.255.255	9:30 | 1400.03.17	10:00 | 1400.03.19
...	...	...	...	...

شکل ۴-۲۰: مشاهده فعالیت کاربران از طریق صفحه تعیین سطح دسترسی کاربران

- **تغییر رمز عبور**

در این بخش، کاربر در صورت نیاز به تغییر رمز عبور شخصی خود، می‌تواند رمز خود را با ورود رمز قبلی، رمز جدید و تکرار رمز جدید، تغییر دهد.



شکل ۴-۲۱: تغییر رمز عبور در سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان



شکل ۴-۲۲: نمودار فعالیت تغییر رمز عبور در سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان

- **مشاهده‌ی آخرین اتصالات**

در این بخش، مدیر سامانه (کاربر اصلی شرکت توانیر و شرکت‌های توزیع برق) می‌تواند تمامی دستگاه‌هایی که با نام کاربری‌اش، وارد سامانه شده‌اند و از بخش‌های مختلف سامانه بهره برده‌اند را مشاهده کند. این بخش بیش‌تر برای حذف دستگاه‌های نامربوط متصل به سامانه جامع پایش کیفیت توان بوده و برای حفظ امنیت اطلاعات است.



مشخصات آخرین دستگاه متصل شده	IP	آخرین اتصال
Desktop 2.7.4 PC 64bit, Windows 10	135.125.245.58	3:48 AM
Android 7.7.2	18.188.131.2	online

شکل ۴-۲۳: مشاهده آخرین اتصالات

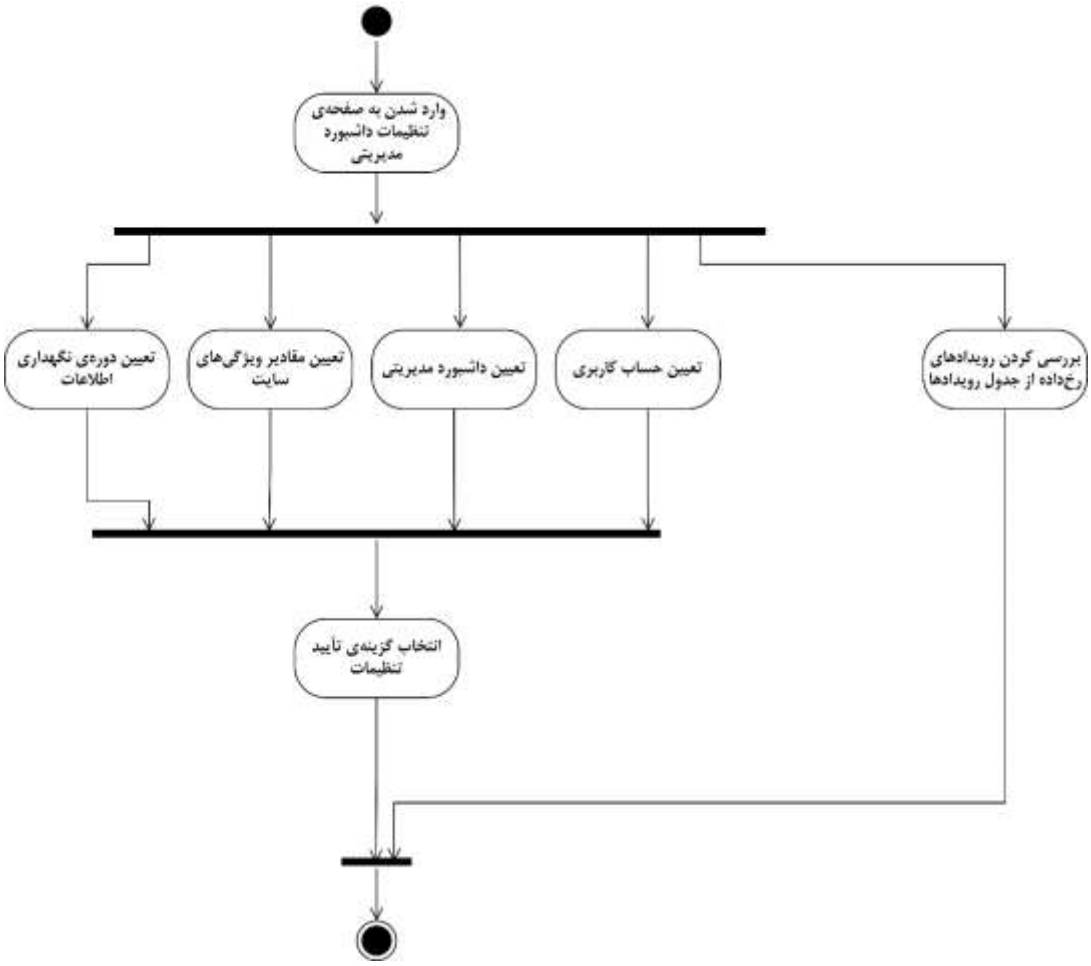
۴-۳-۴-۲- تنظیمات داشبورد مدیریتی

در این بخش، کاربر، تنظیمات مربوطه به مشاهدات خود را در داشبورد مدیریتی وارد کرده تا از این پس بتواند با ورود به سامانه و وارد شدن به داشبورد مدیریتی، مستقیماً، پارامترهای انتخابی خود را در منحنی مشاهده کند. **کاربران این بخش شرکت توانیر و شرکت‌های توزیع برق هستند**. میزان دسترسی به اطلاعات بر اساس محدوده‌ی تحت پوشش هر سازمان است.

همان‌طور که در شکل ۴-۲۴ مشخص است، کاربر، دو نمودار برای پارامترهای مختلف را می‌تواند تعیین کند. در ابتدا کاربر، گروه کنتور مدنظر را با انتخاب شرکت توزیع نیروی برق، گروه کنتور و در صورت نیاز، وارد کردن شماره بدنه کنتور، تکمیل کرده و سپس پارامترهای مدنظر را که از درجه اهمیت بیش‌تری برخوردار است انتخاب می‌کند، سپس بازه‌ی زمانی را مشخص کرده و در انتها نوع منحنی را تعیین می‌کند و پس از تأیید تنظیمات می‌تواند در صفحه‌ی داشبورد مدیریتی منحنی‌های انتخاب‌شده خود را مستقیماً بدون نیاز تنظیم مجدد، مشاهده کند.



شکل ۴-۲۴: تنظیمات داشبورد مدیریتی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان



شکل ۴-۲۵: نمودار فعالیت تنظیمات داشبورد مدیریتی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان

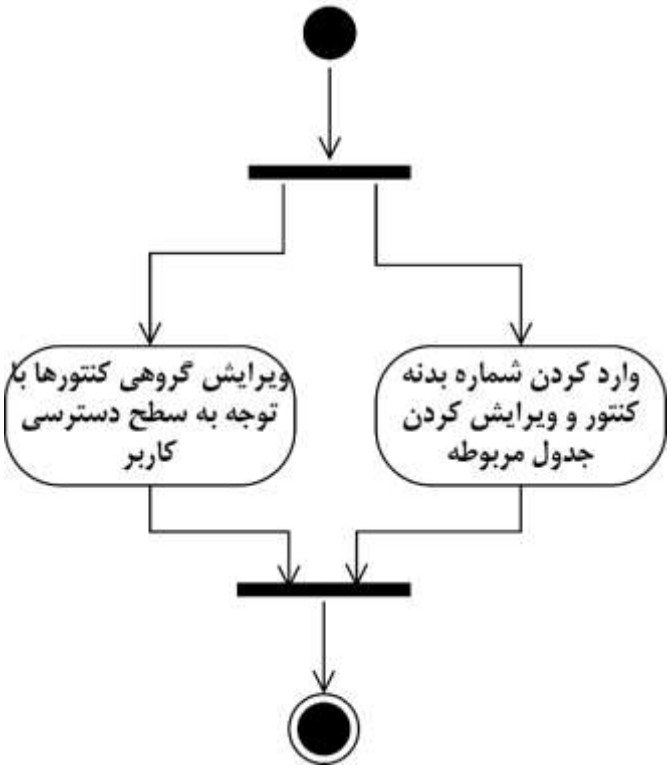
۴-۳-۴-۳- تنظیمات مقادیر ویژگی‌های سایت

در این بخش، کاربر می‌تواند شماره بدنه‌ی کنتور مدنظر را وارد کرده و در جدول مشاهده‌شده در شکل ۴-۲۶، سطح اتصال کوتاه، میزان بار و تعداد مشترکین کنتور را مشاهده کرده و در صورت نیاز، ویرایش کند.

همچنین می‌تواند به‌جای ورود شماره بدنه کنتور، در صورت زیاد بودن تعداد کنتورها، گروه کنتور مدنظر را وارد کرده و فایل گروه کنتور را مشاهده و در صورت نیاز، تغییراتی را بر روی اطلاعات کنتور شامل سطح اتصال کوتاه، میزان بار و تعداد م شترکین، اعمال کرده و ثبت کند. **د ستر سی به این بخش در اختیار شرکت‌های توزیع ا ست با این توضیح که هر کدام به کنتورهای مختص به خود دسترسی دارند و ویژگی‌های سایت‌های تحت پو شش خود را در سامانه وارد می‌کنند. شرکت توانیر به‌منظور نظارت بر اعمال د ستورات ابلاغی توسط شرکت‌های توزیع به این بخش نیز دسترسی دارد.**



شکل ۴-۲۶: تنظیمات مقادیر ویژگی‌های سایت در سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان



شکل ۴-۲۷: نمودار فعالیت تنظیمات مقادیر ویژگی‌های سایت در سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان

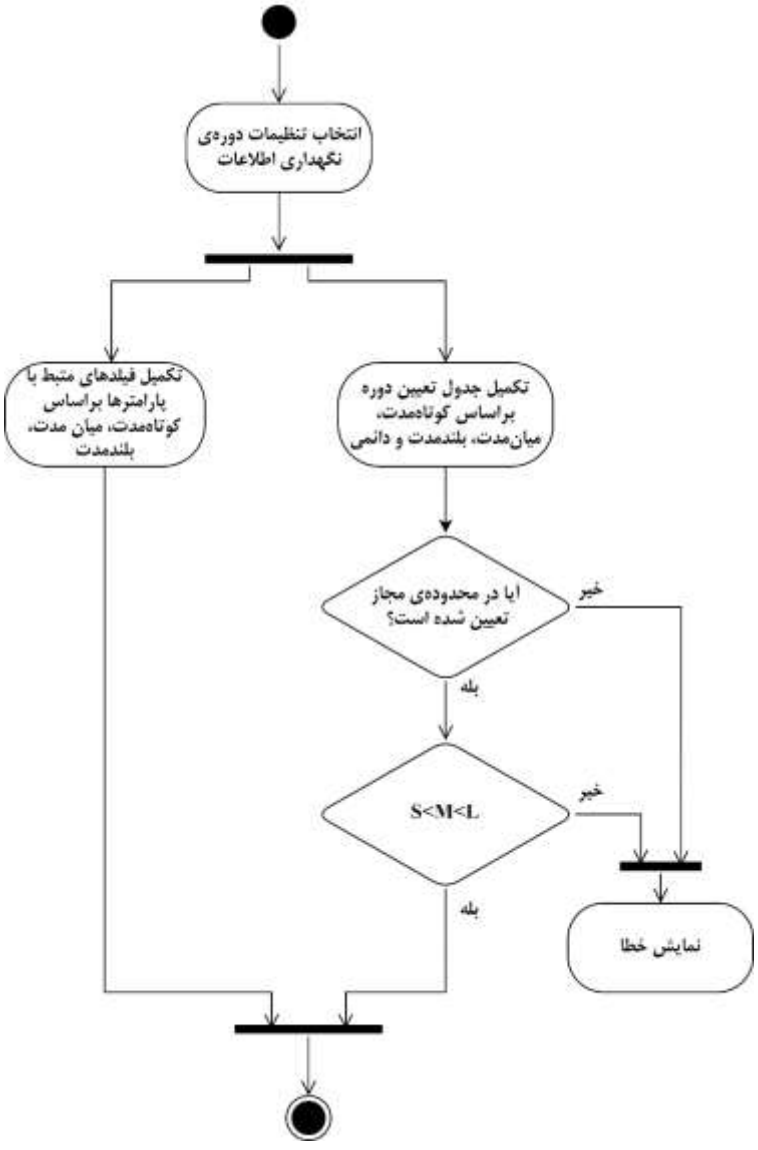
۴-۳-۴-۴- تنظیمات دوره‌ی نگه‌داری اطلاعات

این صفحه، به دو بخش تقسیم می‌شود.

در بخش اول شرکت توانیر می‌تواند به‌صورت دستی، دوره‌ی نگه‌داری اطلاعات را که شامل دوره‌ی کوتاه‌مدت، میان‌مدت، بلندمدت و دائمی است را وارد کرده و تنظیمات مربوطه را تأیید کند.

در این حالت سیستم پردازشی را جهت بررسی دوره‌های کوتاه‌مدت، میان‌مدت، بلندمدت و دائمی کرده که این دوره ها به میزان مجاز تعیین‌شده باشد و همچنین دوره کوتاه‌مدت کوچک‌تر از میان‌مدت و دوره میان‌مدت کوچک‌تر از بلندمدت باشد.

در بخش دوم، کاربر با توجه به نوع پارامتر، یکی از سه حالت کوتاه‌مدت (S)، میان‌مدت (M) و بلندمدت (L) را برای تمامی پارامترهای موجود در جدول پارامترها، انتخاب کرده و تنظیمات مربوطه را تأیید می‌کند.



شکل ۴-۲۸: نمودار فعالیت تنظیمات دوره‌ی نگه‌داری اطلاعات در سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان



شکل ۴-۲۹: نمونه‌ای از تنظیمات دوره‌ی نگه‌داری اطلاعات در سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان

نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

با توجه به برر سی‌های صورت گرفته در رابطه با الزامات نرم‌افزاری سامانه‌ی پایش کیفیت توان، نتایج زیر حا صل شد:

– ساختار معماری نرم‌افزار، سرویس‌گرا پیشنهاد شد تا علاوه بر سرویس‌دهی به دیگر سامانه‌ها از سامانه‌های دیگر نیز سرویس بگیرد. همچنین یکی دیگر از ویژگی‌های معماری سرویس‌گرا، این ا ست که در صورت در د سترس نبودن بخشی از سرویس، نباید تمامی اقدامات متوقف شود و باقی بخش‌ها به کار خود ادامه خواهند داد.

– پایگاه داده Oracle و MySQL دو پایگاه قدرتمند جهت ذخیره‌ی اطلاعات هستند ولی در صورت داشتن مجموعه‌ی زیادی از داده‌ها، بهتر ا ست از پایگاه داده‌ی اوراکل ا ستفاده شود. درنتیجه، در سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان، به دلیل داشتن مجموعه‌ی زیادی از داده‌ها، بهتر است از پایگاه داده‌ی اوراکل استفاده شود.

– با توجه به مزایای لینوکس ن سبت به سی ستم‌عامل ویندوز ازجمله م سائل امنیتی و رایگان بودن، سی ستم‌عامل پیشنهادی لینوکس انتخاب شد.

– پی‌شنهاد می‌شود زبان برنامه‌نویسی سامانه‌ی پایش کیفیت توان جاوا و پایتون انتخاب شود. دا شتن کتابخانه‌های تخصصی، منابع زیاد و آسانی در یادگیری از علل انتخاب این دو زبان است.

– با بررسی متدولوژی‌های مختلف توسعه‌ی نرم‌افزار، متدولوژی RUP، به دلیل راهنمایی کاملی برای چگونگی استفاده از زبان UML و به‌روز بودن متدولوژی پیشنهاد شد.

– سند ارزیابی امنیتی و سند الزامات امنیتی برنامه‌های کاربردی تحت شبکه به‌عنوان دو مرجع برای الزامات لازم امنیتی سامانه‌ی پایش کیفیت توان معرفی شد.

سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان شامل زیر ساخت نگه‌داری و انتقال داده‌های خام و نیز پردازش اطلاعات کیفیت توان ا ست. الزامات این زیر ساخت که به همراه کنتورهای هو شمند اندازه‌گیری بخش سخت‌افزاری سامانه را ت شکیل می‌دهد، باید با توجه به حجم و نوع اطلاعات و پردازش‌های موردنیاز تعیین شود. به‌منظور محاسبه‌ی حافظه‌ی موردنیاز پایگاه داده‌ی کیفیت توان، تعیین اطلاعات موردنیاز سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان الزامی است. این اطلاعات شامل داده‌های ار سالی از کنتورهای هو شمند سامانه‌ی فهام و شرکت مدیریت شبکه (کنتورهای MK6E) به مرکز مدیریت داده‌ی کنتورها است. پروفایل‌های بار و گزارش وقایع مرتبط با کیفیت توان، بخش اصلی حافظه‌ی پایگاه داده را تشکیل می‌دهند.

با توجه به محدود بودن منابع و حافظه‌ی پایگاه داده، امکان ذخیره‌ی تمامی اطلاعات برای مدت طولانی وجود ندارد؛ بنابراین اطلاعات بعد از گذ شت مدت‌زمان م شخ صی حذف می شوند. پی‌شنهاد می شود که ساختار پایگاه داده به این‌گونه تعریف شود که هرروز داده‌هایی که خارج از دوره‌ی مدت‌زمان نگه‌داری اختصاص‌داده شده هستند از پایگاه داده حذف شوند و به‌منظور کاهش حجم حافظه‌ی موردنیاز برای ذخیره‌سازی اطلاعات، می‌توان از تکنیک‌های ذخیره‌سازی بهینه استفاده کرد. یکی از تکنیک‌های پیشنهادی تبدیل داده‌ها به integer است. به‌طور مثال، عدد ۲۳۴,۲ به‌صورت ۲۳۴۲ ذخیره شود.

همچنین به معرفی سه سناریو جهت تخمین حافظه‌ی موردنیاز پایگاه داده پرداخته شده است که در سناریو ۱ فرض بر کمبود منابع برای پیاده‌سازی سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان است و در سناریو ۲ فرض بر این است که در تخصیص منابع، آزادی عمل بیش‌تری وجود داشته باشد. در سناریو ۳ فرض بر این است که در تخصیص منابع مشکلی وجود نداشته باشد و تعداد کنتورها رشد فزاینده‌ای داشته است. در انتها، سناریو دوم به‌منظور پیاده سازی در سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان پیشنهاد شده است.

همچنین ظرفیت RAM و CPU تخمین‌زده‌شده که در مرحله‌ی اولیه به نظر حافظه ۱۶ گیگابایت رم کافی است که به‌تدریج با افزایش کاربران می‌توان آن را افزایش داد و تعداد هسته‌های پرداز شگر به تعداد کاربران سامانه بستگی دارد. با توجه به حجم پردازش نه‌چندان بالا، به نظر می‌رسد در فاز اولیه حداقل یک پرداز شگر ۱۰ یا ۸ هسته‌ای ۲۵۰۰ مگاهرتز کافی باشد. به‌تدریج با افزایش کاربران می‌توان آن را با استفاده از افزایش تعداد پردازنده‌های سرور ارتقا داد. به‌عنوان‌مثال پردازنده‌ها زیر به نظر مناسب می‌رسند:

Intel® Core™ i9-10900KF Processor
Intel® Core™ i7-10700K Processor

در فصل سوم به طراحی ماژول‌های نرم‌افزاری موردنیاز سرور سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان پرداخته شده است که به‌طورکلی سامانه از چهار ماژول زیر تشکیل شده است.

۱- ماژول جمع‌آوری و اکتساب داده
۲- ماژول ذخیره‌سازی داده
۳- ماژول پردازش، تجزیه‌وتحلیل داده و استخراج شاخص‌ها
۴- ماژول گزارش‌دهی کیفیت توان

در ماژول جمع‌آوری و اکتساب داده، اطلاعات کیفیت توان موردنیاز تعیین شده و به‌واسطه MDM از کنتورها اخذ می شود. ماژول ذخیره سازی وظیفه‌ی نگه‌داری بهینه اطلاعات کیفیت توان را در پایگاه داده کیفیت توان برعهده دارد. دوره زمانی نگه‌داری هر دسته از داده‌های کیفیت توان توسط مدیر سامانه تعیین شده و در ماژول ذخیره سازی اعمال می‌شود. اطلاعات ذخیره‌شده در پایگاه داده کیفیت توان توسط ماژول پردازش، تجزیه‌وتحلیل داده و استخراج شاخص‌ها، مورداستفاده قرار می‌گیرد. در این ماژول، شاخص‌های استاندارد پدیده‌های کیفیت توان به‌صورت روتین هفتگی و روزانه محاسبه و ذخیره‌سازی می‌شوند. ماژول گزارش‌دهی شامل استفاده از شاخص‌های محاسبه‌شده به‌منظور تهیه نمودارهای تعریف‌شده و محاسبه‌ی شاخص‌های تجمیعی به‌منظور ارزیابی عملکرد می‌باشد.

و در انتها به بررسی طراحی رابط کاربری و داشبورد مدیریتی نرم‌افزار پرداخته شده است که به کمک WireFrameها، فضای سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان، طراحی و نمودارهای مختلف آن نیز رسم شده است.

سامانه‌ی جامع پایش کیفیت توان شامل منوهای زیر است.

- مشاهده کارنامه
- گزارش پارامترها و دانلود داده

- داشبورد مدیریتی
- تنظیمات
  - تنظیمات حساب کاربری
    - تعیین سطح دسترسی کاربران
      - ✓ افزودن کاربر جدید
      - ✓ حذف کاربر
      - ✓ مشاهده‌ی فعالیت کاربران
    - تغییر رمز عبور
    - مشاهده‌ی آخرین اتصالات
  - تنظیمات حساب کاربری
  - تنظیمات داشبورد مدیریتی
  - تنظیمات مقادیر ویژگی‌های سایت
  - تنظیمات دوره‌ی نگه‌داری اطلاعات

پیوست ۱

افزونه نرم‌افزاری تخمین حجم پایگاه داده سامانه‌ی پایش کیفیت توان در قالب فایل اکسل پیوست شد.

پیوست ۲

همان‌طور که در زیربند ۳–۲–۱–۱ اشـاره شـد، تعدادی از داده‌های پروفایل‌های کنتورهای فهام به مطالعات دقیق‌تر و پیشـرفته‌تر کیفیت توان کمک می‌کند. این داده‌ها در پروفایل Min Profile و Max Profile ثبت می‌شوند. جدول ۱، اطلاعات مرتبط به کیفیت توان پروفایل‌های کنتورهای فهام را نشان می‌دهد.

جدول ۱: پروفایل‌های مرتبط با کیفیت توان کنتورهای فهام [۲۷]

Profile Name	Capture Period	Capture Object Name	Data Types	Capture Object OBIS Code	Description
Max. Values Profile	15 min	Clock	Integer Date & Time YYYYMMDDwwHHmmSS	8,0-0:1.0.0.255	زمان ذخیره‌ی اطلاعات در کنتور را مشخص می‌کند.
		Profile Status 4	Unsigned	1,0-0:96.10.10.255	اطلاعات تکمیلی در مورد وضعیت مقادیر ذخیره‌شده در بافر پروفایل‌ها را فراهم می‌کند. سیستم HES/MDM از این اطلاعات برای تصمیم‌گیری در مورد اعتبار مقادیر جمع‌آوری‌شده استفاده خواهد کرد.
		Max. Value of Voltage L1	Long Unsigned F31 ###.#	3,1-0:32.226.0.255	با مقایسه‌ی میانگین، کمینه و بیشینه ولتاژ، با رسم نمودارهای گرافیکی از نحوه‌ی تغییرات ولتاژ کنتور دید بهتری داشت.
		Max. Value of Voltage L2	Long Unsigned F31 ###.#	3,1-0:52.226.0.255	
		Max. Value of Voltage L3	Long Unsigned F31 ###.#	3,1-0:72.226.0.255	
		Max. Value of Current L1	Long Unsigned F32 ###.##	3,1-0:31.226.0.255	اطلاعات تکمیلی در مورد وقوع پدیده Current overload را فراهم می‌آورد.
		Max. Value of Current L2	Long Unsigned F32 ###.##	3,1-0:51.226.0.255	
		Max. Value of Current L3	Long Unsigned F32 ###.##	3,1-0:71.226.0.255	
Min. Values Profile	15 min	Clock	Integer Date & Time YYYYMMDDwwHHmmSS	8,0-0:1.0.0.255	زمان ذخیره‌ی اطلاعات در کنتور را مشخص می‌کند.

اطلاعات تکمیلی در مورد وضعیت مقادیر ذخیره‌شده در بافر پروفایل‌ها را فراهم می‌کند. سیستم HES/MDM از این اطلاعات برای تصمیم‌گیری در مورد اعتبار مقادیر جمع‌آوری‌شده استفاده خواهد کرد.	1,0-0:96.10.10.255	Unsigned	Profile Status 4		
با مقایسه‌ی میانگین، کمینه و بیشینه ولتاژ، با رسم نمودارهای گرافیکی از نحوه‌ی تغییرات ولتاژ کنتور دید بهتری داشت.	3,1-0:32.223.0.255	Long Unsigned F31 ###.#	Min. Value of Voltage L1		
	3,1-0:52.223.0.255	Long Unsigned F31 ###.#	Min. Value of Voltage L2		
	3,1-0:72.223.0.255	Long Unsigned F31 ###.#	Min. Value of Voltage L3		
با مقایسه‌ی میانگین، کمینه و بیشینه جریان، با رسم نمودارهای گرافیکی از نحوه‌ی تغییرات ولتاژ کنتور دید بهتری داشت.	3,1-0:31.223.0.255	Long Unsigned F32 ###.##	Min. Value of Current L1		
	3,1-0:51.223.0.255	Long Unsigned F32 ###.##	Min. Value of Current L2		
	3,1-0:71.223.0.255	Long Unsigned F32 ###.##	Min. Value of Current L3		

همان‌طور که در زیربند ۳–۲–۲–۱ ا شاره شد، تعدادی از داده‌های پروفایل‌های کنتورهای MK6E به مطالعات دقیق‌تر و پی شرفته‌تر کیفیت توان کمک می‌کند. جدول ۲، اطلاعات مرتبط به کیفیت توان پروفایل‌های کنتورهای MK6E را نشان می‌دهد.

جدول ۲: پارامترهای ذخیره‌شده در پروفایل‌های کنتورهای MK6E [۳۳]

Register Function	Description
Min, Max Phase A Voltage	کنتورهای MK6E تنها قادر به ثبت زمان و نوع رخداد پدیده‌های کیفیت توان است بنابراین برای اطلاع از ولتاژ پدیده‌های کیفیت توان به این اطلاعات نیاز است. همچنین با مقایسه میانگین، کمینه و بیشینه ولتاژ، با رسم نمودارهای گرافیکی از نحوه‌ی تغییرات ولتاژ کنتور دید بهتری داشت.
Min, Max Phase B Voltage	
Min, Max Phase C Voltage	
Min, Max Phase A current	کنتورهای MK6E تنها قادر به ثبت زمان و نوع رخداد پدیده‌های کیفیت توان است بنابراین برای اطلاع از جریان پدیده‌های کیفیت توان به این اطلاعات نیاز است. همچنین با مقایسه میانگین، کمینه و بیشینه جریان، با رسم نمودارهای گرافیکی از نحوه‌ی تغییرات ولتاژ کنتور دید بهتری داشت.
Min, Max Phase B current	
Min, Max Phase C current	

برای محاسبه میزان عدم تعادل جریان، به توالی‌های جریان نیاز است.	Avg Current Zero Sequence
	Avg Current Positive Sequence
	Avg Current Negative Sequence
برای محاسبه‌ی میزان عدم تعادل ولتاژ نیاز است.	Avg Angle between VTA and VTB
	Avg Angle between VTA and VTC
با توجه به این‌که کنتورهای MK6E در بخش فوق توزیع قرار دارند، بررسی فرکانس شبکه می‌تواند مفید واقع شود.	Avg, Min, Max Frequency

مراجع

[۱] P. C. K. Lenn Bass, Software Architecture in Practice, Second Edition, Addison Wesley, 2003.

[۲] B. A. K. N. M. a. N. D. Mohammad Hadi Valipour, "A brief survey of software architecture concepts and service oriented architecture," in 2009 2nd IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology, Beijing, China, 2009.

[۳] T. S. R. G. Kristi Berg, "History Of Databases," International Journal of Management & Information Systems, 2013.

[۴] ج. میرشکاری، فرهنگ واژه‌های مصوب فرهنگستان، فرهنگستان زبان و ادب پارسی.

[۵] S. E. S. Sumathi, Fundamentals of Relational Database Management Systems, Springer, 2007.

[۶] "DB-ENGINES," [Online]. Available: https://db-engines.com/en/ranking.

[۷] S. G. Elvis C. Foster, Database Systems, Apress, 2016.

[۸] [Online]. Available: https://docs.oracle.com.

[۹] [Online]. Available: https://www.javatpoint.com.

[۱۰] W. Stallings, Operating Systems: Internals and Design Principles, Pearson, 8th edition (February 2, 2014).

[۱۱] [Online]. Available: https://bootcamp.berkeley.edu.

[12] D. Kuhlman, A Python Book: Beginning Python, Advanced Python, and Python Exercises, 23 June 2012.

[13] A. Ide, PHP just grows & grows, 2013.

[14] H. M. D. a. P. J. Deitel, Introduction to Programming with the Java.

[۱۵] [Online]. Available: https://devblogs.microsoft.com/dotnet/welcome-to-csharp-10.

[16] K. Beck and e. al, "Principles behind the Agile Manifesto," 2001.

[17] A. Storr, Software Engineering for Manufacturing Systems: Methods and CASE tools, 1996.

[18] A. Anwar, "A Review of RUP (Rational Unified Process)," International Journal of Software Engineering (IJSE), vol. 5, no. 2, 2014.

[19] K. Schwaber and J. Sutherland, The Scrum Guide: The Definitive Guide to Scrum: The Rules of the Game, 2017.

[20] "https://rahaco.net/," [Online].

[21] "https://falnic.com/," [Online].

م. م. ر. افتا، "طرح ارزیابی امنیتی محصولات," ۱۳۹۳. [۲۲]

م. ا. و. س. ف. ا. ایران، "سند الزامات امنیتی برنامه‌های کاربردی تحت‌وب," ۱۳۹۷. [۲۳]

افزونه‌ی نرم‌افزاری تخمین حجم پایگاه داده‌ی سامانه پایش کیفیت توان. [۲۴]

[25] GUIDELINES FOR POWER QUALITY MONITORING,Measurement Locations, Processing and Presentation of Data, Joint Working Group,CIGRE/CIRED, 2014.

"بررسی ادبیات موضوع پایش کیفیت توان و پیشنهاد شاخص‌های مدیریتی و ترکیبی کیفیت توان در دو سطح شرکت توزیع برق و شرکت توانیر". [۲۶]

[27] "FID2 Interoperability Specification, Interoperability Specification (MI2-SI2) V1.1, FID2 Working Group, September 2020".

[28] "BS EN 50160:2010, Voltage characteristics of electricity supplied by public electricity networks".

[29] "IEEE Std 1159-2019, IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality.".

[30] "FID2 Interoperability Specification, Object List V1.3, FID2 Working Group, May 2020".

[31] "FID2 Interoperability Specification, Event List V1.3, FID2 Working Group, May 2020".

[32] "MK6E genius energy meter user manual revision D1, EDMI Pty Ltd, November 2004".

[33] "Genius Energy Meter Register Manual Revision E7, EDMI Pty Ltd, August 2005".

[34] POWER QUALITY INDICES AND OBJECTIVES, Joint Working Group Cigré C4.07 / Cired, 2004.

م. ی. م. ا. هنرمند، مباحث کاربردی کیفیت توان در شبکه‌های توزیع برق، انتشارات بنی‌هاشم، ۱۳۹۸. [۳۵]

[36] P. G. C. a. P. V. Caramia, quality indices in liberalized markets, John Wiley & Sons, 2009.

تهران - شهرک قدس - انتهای بلوار شهید دادمان (پونک باختری) - صندوق پستی ۵۱۷-۱۴۶۶۵
تلفن : ۸۸۰۷۹۴۰۰ - فاکس : ۸۸۰۷۸۲۹۶