www.takbook.com

مدیریت خاموشی در شبکه هوشمند

مجتبی اسماعیلی

www.takbook.com

اجـرای شـبکه بـرق هوشـمند، هـدف نهایـی جامعـه تحقیقاتـی شـبکه‌های قـدرت می‌باشـد. ایـن هـدف باعـث می‌شـود کـه فن‌آوری‌هـای جدیـد بـرای قوی‌تـر و امن‌تـر شـدن سیسـتم شـبکه‌های هوشـمند، در ایـن سیسـتم ادغـام شـود. امـروزه بـا مطرح‌شـدن شـبکه‌های هوشـمند بـرق به‌عنـوان یکـی از مهم‌تریـن زیرساخت‌های حیاتی، موضوع امنیت آن‌ها موردتوجه قرارگرفته است.

یکـی از بزرگ‌تریـن مشـکلات شـبکه‌های بـرق، ایجـاد خاموشـی اعـم از خواسـته یـا ناخواسـته در شـبکه مـی باشـد. ضربـه بـه پیکـره دولـت و اقتصـاد ملـی، نارضایتـی مشـترکان صنعتـی، خانگـی و کشـاورزی و آسـیب تجهیـزات فشـارقوی در هنـگام قطـع و وصـل مجـدد، ازجملـه پیامدهـای خاموشـی اسـت. امـروزه مهم‌تریـن هـدف شـرکت‌های تولیـد بـرق، تأمیـن انـرژی الکتریکـی مصرف‌کننـدگان بـا هزینـه و سـطح قابلیـت اطمینـان بهینـه می‌باشـد، بنابرایـن وقفـه در تولیـد، صرف‌نظـر از عامـل ایجـاد آن، موجـب کاهـش سـطح اطمینـان و افزایـش هزینه‌هـای سیسـتم می‌گـردد.

کشـور ایـران بـه لحـاظ موقعیـت خـاص زمین‌شـناختی، جغرافیایـی و اقلیمـی خـود همـواره در معـرض خطـر وقـوع انـواع رویدادهـای طبیعـی همچـون زلزلـه، سـیل، خشک‌سـالی و سـایر حـوادث طبیعـی بـوده اسـت. سـوانح طبیعـی درگذشـته خسـارات اقتصـادی زیـادی بـه کشـور مـا وارد نمـوده اسـت به‌طوری‌کـه کشـور ایـران را از نظـر آمـار وقـوع سـوانح طبیعـی، در مقـام چهـارم آسـیا و مقـام ششـم جهـان قـرار داده اسـت. حـال بـا توجـه بـه حادثه‌خیـز بـودن کشـور، در ایـن کتـاب بـه کاربـرد فن‌آوری‌هـای جدیـد جهـت مدیریـت خاموشـی قبـل، حیـن و بعـد از وقـوع خطـا در شـبکه‌های هوشـمند پرداخته‌شـده و دلایـل اسـتفاده از ایـن فناوری‌هـا و مزایـای آن‌هـا بـرای مدیریـت خاموشـی در شـبکه‌های هوشـمند بیان‌شـده اسـت.

کتـاب پیـش رو در شـش فصـل تنظیـم شـده اسـت. در فصـل اول خلاصـه ای از اهمیـت پرداختـن بـه موضوعـات کتـاب مطـرح شـده اسـت. در فصـل دوم شـبکه‌های بـرق سـنتی و موجـود در جهـان از منظـر قابلیـت اطمینـان و کارایـی مـورد بررسـی قـرار گرفتـه اسـت. فصـل سـوم بـه بررسـی شـبکه‌های بـرق هوشـمند و مزایـای اصلـی آن در تطابـق بـا بخش‌هـای مخابراتـی و تجهیـزات اندازه‌گیـری پیشـرفته پرداختـه اسـت. در فصـل چهـارم مدیریـت خاموشـی در شـبکه‌های فعلـی و سـنتی (موجـود در برخـی نقـاط دنیـا) و نقـاط ضعـف آن مطـرح شـده اسـت. در فصـل پنجـم مدیریـت خاموشـی در شـبکه‌های هوشـمند و نحـوه تکامـل آن بیـان شـده اسـت و فصـل ششـم نیـز شـامل مدل‌سـازی مشـترکین و معرفـی نرم‌افزارهـای کاربـردی مدیریـت خاموشـی می‌باشد.

www.takbook.com

بسم الله الرحمن الرحیم

مدیریت خاموشی در شبکه هوشمند

مجتبی اسماعیلی

۱۳۹۸

www.takbook.com

سرشناسه	:	اسماعیلی، مجتبی، ۱۳۶۹ -
عنوان و نام پدیدآور	:	مدیریت خاموشی در شبکه هوشمند / مجتبی اسماعیلی
مشخصات نشر	:	تهران: نخبه‌سازان، ۱۳۹۸.
مشخصات ظاهری	:	۱۶۸ ص.: مصور (رنگی).
شابک	:	978-964-5938-64-9
وضعیت فهرست‌نویسی	:	فیپا
موضوع	:	شبکه‌های هوشمند توزیع برق
موضوع	:	Smart power grids
موضوع	:	برق نیرو -- نارسایی‌ها
موضوع	:	Electric power failures
رده‌بندی کنگره	:	۱۳۹۸ ۴ م الف / TK ۳۰۰۱
رده‌بندی دیویی	:	۶۲۱/۳۱۹
شماره کتابشناسی ملی	:	۵۶۴۵۱۳۳

مدیریت خاموشی در شبکه هوشمند

مجتبی اسماعیلی

ویرایش علمی: محمد امین رجبی‌نژاد

چاپ اول

تابستان ۱۳۹۸

۲۷۰۰۰ تومان

لیتوگرافی نقش سبز

چاپ ترانه

صحافی تیرگان

۵۰۰ نسخه

شابک: ۹-۶۱-۵۹۳۸-۹۶۴-۹۷۸

نشانی انتشارات: خیابان جمهوری - خیابان دانشگاه شمالی - کوچه بهار - پلاک ۳ - واحد ۵

تلفن: ۶۶۹۶۲۸۰۲ فکس: ۶۶۴۹۳۱۸۵

www.takbook.com

تقدیم به ساحت مقدس امام مهدی (عج الله تعالی فرجه الشریف)

سلامتی و تعجیل در فرج حضرت ولیعصر ارواحنا له الفداء صلوات

www.takbook.com

مقدمه مولف

اجرای شبکه برق هوشمند، هدف نهایی جامعه تحقیقاتی شبکه‌های قدرت می‌باشد. این هدف باعث می‌شود که فن‌آوری‌های جدید برای قوی‌تر و امن‌تر شدن سیستم شبکه‌های هوشمند، در این سیستم ادغام شود. امروزه با مطرح‌شدن شبکه‌های هوشمند برق به‌عنوان یکی از مهم‌ترین زیرساخت‌های حیاتی، موضوع امنیت آن‌ها موردتوجه قرارگرفته است.

یکی از بزرگ‌ترین مشکلات شبکه‌های برق، ایجاد خاموشی اعم از خواسته یا ناخواسته در شبکه می‌باشد. ضربه به پیکره دولت و اقتصاد ملی، نارضایتی مشترکان صنعتی، خانگی و کشاورزی و آسیب تجهیزات فشارقوی در هنگام قطع و وصل مجدد، ازجمله پیامدهای خاموشی است. امروزه مهم‌ترین هدف شرکت‌های تولید برق، تأمین انرژی الکتریکی مصرف‌کنندگان با هزینه و سطح قابلیت اطمینان بهینه می‌باشد، بنابراین وقفه در تولید، صرف‌نظر از عامل ایجاد آن، موجب کاهش سطح اطمینان و افزایش هزینه‌های سیستم می‌گردد. عدم قطعیت‌های سیستم قدرت، ناشی از برون‌رفت ناگهانی واحدهای تولیدی و یا ناشی از تغییر میزان مصرف انرژی نسبت به مقدار پیش‌بینی‌شده، جزء مهم ترین مشکلات شبکه‌های قدرت می‌باشد، از طرفی با توجه به افزایش بارهای حساس، ضروری است که مدت خاموشی به حداقل برسد. تجدید ساختار بازار برق نیز باعث شده است تا شرکت‌های برق در جستجوی راه‌هایی برای افزایش قابلیت اطمینان انرژی الکتریکی و کاهش هزینه آن باشند.

www.takbook.com

یکی از مهم‌ترین روش‌ها برای افزایش قابلیت اطمینان، اجرای صحیح سیستم مدیریت خاموشی می‌باشد. سیستم مدیریت اتفاقات به‌طورکلی دارای چهار مرحله تشخیص خطا، مکان‌یابی خطا، عملیات مانور و بازیابی و تعمیر می‌باشد که تشخیص مکان خطا نسبت به سایر مراحل، دارای اهمیت بیشتری است چراکه بسیار زمان‌بر و پردردسر می‌باشد. بدون برنامه مدیریت خاموشی، بازارهای برق دچار مشکلات عدیده‌ای شده‌اند که از آن جمله می‌توان به بروز تراکم در خطوط انتقال شبکه، نیاز به نصب ظرفیت نیروگاهی بیشتر و افزایش قیمت برق در ساعات پرباری اشاره کرد.

کشور ایران به لحاظ موقعیت خاص زمین‌شناختی، جغرافیایی و اقلیمی خود همواره در معرض خطر وقوع انواع رویدادهای طبیعی همچون زلزله، سیل، خشک‌سالی و سایر حوادث طبیعی بوده است. سوانح طبیعی درگذشته خسارات اقتصادی زیادی به کشور ما وارد نموده است به‌طوری‌که کشور ایران را از نظر آمار وقوع سوانح طبیعی، در مقام چهارم آسیا و مقام ششم جهان قرار داده است. حال با توجه به حادثه‌خیز بودن کشور، در این کتاب به کاربرد فن‌آوری‌های جدید جهت مدیریت خاموشی قبل، حین و بعد از وقوع خطا در شبکه‌های هوشمند پرداخته‌شده و دلایل استفاده از این فناوری‌ها و مزایای آن‌ها برای مدیریت خاموشی در شبکه‌های هوشمند بیان‌شده است.

کتاب پیش رو در شش فصل تنظیم شده است. در فصل اول خلاصه ای از اهمیت پرداختن به موضوعات کتاب مطرح شده است. در فصل دوم شبکه‌های برق سنتی و

www.takbook.com

موجود در جهان از منظر قابلیت اطمینان و کارایی مورد بررسی قرار گرفته است. فصل سوم به بررسی شبکه‌های برق هوشمند و مزایای اصلی آن در تطابق با بخش‌های مخابراتی و تجهیزات اندازه‌گیری پیشرفته پرداخته است. در فصل چهارم مدیریت خاموشی در شبکه‌های فعلی و سنتی (موجود در برخی نقاط دنیا) و نقاط ضعف آن مطرح شده است. در فصل پنجم مدیریت خاموشی در شبکه‌های هوشمند و نحوه تکامل آن بیان شده است و فصل ششم نیز شامل مدل سازی مشترکین و معرفی نرم‌افزارهای کاربردی مدیریت خاموشی می‌باشد.

در پایان خداوند متعال را از لطف، احسان و نعماتی که به این حقیر عنایت فرموده و توفیق نوشتن این اثر را به بنده حقیر مرحمت نموده‌اند، بی‌نهایت شکر گذارم.

از زحمات برادران بزرگوارم، آقایان عبدالحسین حویزه و سعید نصیری زرندی تقدیر و تشکر فراوان دارم.

از همسر مهربانم به خاطر صبر و کمک‌هایی که در تهیه این کتاب به بنده داشته‌اند، صمیمانه تشکر می‌کنم.

مجتبی اسماعیلی

m.esmaeili.ee@gmail.com

پاییز ۱۳۹۷

www.takbook.com

تقدیم به شهید والا مقام مدافع حرم، محرم ترک

www.takbook.com

فهرست

فصل ۱ " مقدمه " ۱
فصل ۲ " شبکه‌های برق سنتی ".....۵
فصل ۳ " شبکه‌های برق هوشمند ".....۱۹
فصل ۴ " مدیریت خاموشی در شبکه‌های برق سنتی ".....۹۹
فصل ۵ " مدیریت خاموشی در شبکه‌های برق هوشمند ".....۱۳۷
فصل ۶ "مدل‌سازی مشترکین - معرفی نرم‌افزارهای کاربردی مدیریت خاموشی".۱۷۳
" مراجع".....۱۹۳

www.takbook.com

فصل اول

مقدمه

۱–۱– شبکه‌های فعلی و رایج

شبکه برق موجود، محصول گسترش شهرنشینی و توسعه سریع زیرساخت‌های گوناگون در بخش‌های مختلف جهان در قرن‌های گذشته می‌باشد. اگرچه شرکت‌های برق در مناطق متفاوتی قرار دارند، اما به‌طورمعمول از فن‌آوری‌های مشابهی استفاده می‌کنند. بااین‌حال، رشد سیستم برق، تحت تأثیر مسائل اقتصادی، سیاسی و جغرافیایی که برای هر شرکت

www.takbook.com

قدرت موجود یکسان است. صنعت برق از آغاز ، باوجود مرز مشخص بین قسمت تولید، انتقال و توزیع خود فعالیت می‌کرده و درنتیجه هر بخش، تحول و دگرگونی متفاوتی را شکل داده است.

۱-۲- شبکه‌های هوشمند

در یک تعریف ساده می‌توان شبکه هوشمند را به‌صورت اجتماع زیرساخت‌های شبکه قدرت با شبکه گسترده مخابراتی بیان کرد. این نوع شبکه امکان ارتباط دوطرفه و استفاده از حس‌گرهای پیشرفته را به‌منظور بهبود کارایی و قابلیت اطمینان سیستم، امنیت انتقال و مصرف توان فراهم می‌کند. به‌عنوان تعریفی دیگر، می‌توان شبکه هوشمند را به‌صورت اجتماع شبکه‌های ارتباطی با سیستم قدرت به‌منظور ایجاد مسیر مناسب انرژی الکتریکی و اطلاعات بیان کرد. این مجموعه امکان پایش صحت خود را در تمام زمان‌ها دارا خواهد بود و همچنین در صورت بروز اشکالی می‌تواند آن را به‌مراتب بالاتر اطلاع‌رسانی کند و به‌صورت خودکار اقدامات اصلاحی را انجام دهد و مانع از تبدیل‌شدن یک پیشامد اتفاقی محلی به خروج سلسله مراتبی[۱] شود. بنابراین ویژگی اصلی و یا حتی هدف اصلی از مطرح‌شدن شبکه هوشمند را می‌توان کنترل و پایش سیستم قدرت مطرح کرد.

[۱] cascading out

www.takbook.com

۱-۳- مدیریت خاموشی

همواره یکی از بزرگ‌ترین معضلات شرکت‌های برق، وقوع خاموشی در شبکه‌ها می‌باشد. شکستگی یا ترک‌خوردگی مقره ها، شکستگی پایه، نشست کراس آرام، خرابی تجهیزات ایمنی، برق‌گیرها و بسیاری موارد دیگر، دلایلی برای ایجاد خاموشی در شبکه‌ها هستند و علاوه بر تمام موارد فوق انجام مانورهای دوره‌ای جهت بررسی وضعیت خطوط و نیز ایجاد تغییرات در شبکه برحسب موقعیت و شرایط خاص، خاموشی‌های زیادی به خود اختصاص می‌دهد. یکی از بزرگ‌ترین مشکلات شبکه‌های برق ایجاد خاموشی، اعم از خواسته یا ناخواسته در شبکه می‌باشد. ضربه به پیکره دولت و اقتصاد ملی، نارضایتی مشترکان صنعتی، خانگی و کشاورزی از اعمال خاموشی در شبکه و آسیب تجهیزات فشارقوی در هنگام قطع و وصل مجدد ازجمله پیامدهای خاموشی است.

امروزه مهم‌ترین هدف شرکت‌های تولید برق تأمین انرژی الکتریکی مصرف‌کنندگان با هزینه و سطح قابلیت اطمینان بهینه می‌باشد، بنابراین وقفه در تولید صرف‌نظر از عامل ایجاد آن موجب کاهش سطح اطمینان سیستم می‌گردد. خطوط و تجهیزات برق در کشور در طی سالهای گذشته در حال افزایش بوده و ناگزیر افزایش خطوط و تجهیزات، درصد به وجود آمدن حوادث و خاموشی‌ها را افزایش می‌دهد بنابراین مدیریت بر خاموشی‌ها (حوادث) امری مهم می‌باشد.

www.takbook.com

۱-۴- مدیریت خاموشی در شبکه هوشمند

اجرای شبکه هوشمند هدف نهایی برای جامعه تحقیقاتی شبکه‌های قدرت می‌باشد این هدف باعث می‌شود که فن‌آوری‌های جدید برای قوی‌تر و امن‌تر شدن سیستم شبکه‌های هوشمند، وارد آن بشوند. امروزه با مطرح‌شدن شبکه‌های هوشمند برق به‌عنوان یکی از مهم‌ترین زیرساخت‌های حیاتی، موضوع امنیت آن‌ها موردتوجه قرارگرفته است. کشور ایران به لحاظ موقعیت خاص زمین‌شناختی، جغرافیایی و اقلیمی خود همواره در معرض خطر وقوع انواع رویدادهای طبیعی همچون زلزله،سیل،خشک‌سالی بوده.

سوانح طبیعی درگذشته تلفات جانی و خسارات اقتصادی زیادی به کشور ما وارد نموده است به‌طوری‌که ایران را ازنظر آمار وقوع سوانح طبیعی در مقام چهارم آسیا و مقام ششم جهان قرار داده است. حال با توجه به حادثه‌خیز بودن ایران، در این کتاب به کاربرد فن‌آوری‌های جدید جهت مدیریت خاموشی قبل، در حین و بعد از وقوع خطا در شبکه‌های هوشمند پرداخته‌شده و دلایل استفاده از این فناوری‌ها و مزایای آن‌ها را برای مدیریت خاموشی در شبکه‌های هوشمند بیان‌شده است. از طرفی شبکه توزیع قدرت، امروزه بسیار پراهمیت گشته است. تقریباً ۹۰٪ خاموشی و مشکلات در شبکه توزیع اتفاق می‌افتد درنتیجه به‌منظور بهبود قابلیت اطمینان شبکه قدرت بسیار نیازمند توجه است. سیستم مدیریت خاموشی پیشرفته یکی از هدف‌های مهم و پرارزش برای سیستم هوشمند می‌باشد.

www.takbook.com

فصل دوم

شبکه‌های برق سنتی

۲– ۱– مقدمه

شبکه برق موجود، محصول گسترش شهرنشینی و توسعه سریع زیرساخت‌های گوناگون در بخش‌های مختلف جهان در قرن‌های گذشته می‌باشد. اگرچه شرکت‌های برق در مناطق متفاوتی قرار دارند، اما به‌طورمعمول از فن‌آوری‌های مشابهی استفاده می‌کنند. بااین‌حال، رشد سیستم برق، تحت تأثیر مسائل اقتصادی، سیاسی و جغرافیایی که برای هر شرکت منحصربه‌فرد می‌باشد، قرارگرفته است. باوجود چنین تفاوت‌ها، کلیت ساختار سیستم قدرت موجود یکسان است. صنعت برق از آغاز، دارای مرز مشخص بین قسمت تولید، انتقال و توزیع بوده و درنتیجه هر بخش، تحول و دگرگونی متفاوتی را شکل داده است[۱].

www.takbook.com

۲-۲- شبکه‌های برق قدرت سنتی

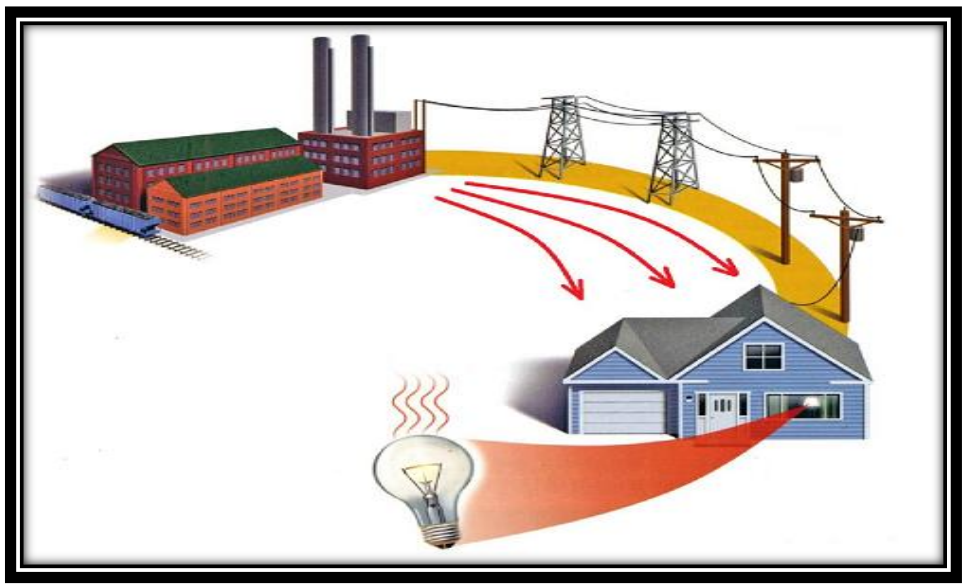
از ابتدای پیدایش شبکه‌های برق، سیستم قدرت به‌صورت متمرکز و یک‌سویه گسترش پیدا کرد. تولید، انتقال و توزیع یک زنجیره باز را تشکیل می‌دادند. گسترش این شبکه نهایتاً توده‌ای از تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگانی را پدید آورد که اطلاعاتی از وضعیت و مشکلات یکدیگر نداشتند. اپراتور غیر از نقطه ابتدایی و انتهایی، از وضعیت سایر بخش‌ها بی‌اطلاع بود.

شکل(۲-۱): شبکه‌های برق

سالیان طولانی (حدود ۱۰۰ سال) است که ساختار بنیادی و اولیه‌ی شبکه‌های برق، بدون تغییر باقی مانده است. شبکه‌های برق غیر هوشمند با روند سلسله مراتبی، برق را از طریق نیروگاه از محل تولید به محل مصرف منتقل می‌کنند. این شبکه دارای ساختار

www.takbook.com

سلسله مراتبی است که نیروگاه‌های بزرگ (شامل نیروگاه‌های ذغالی/ گاز طبیعی، هسته‌ای، برق آبی) در بالاترین سطح و مصرف کنندگان در پائین‌ترین سطح این ساختار مشاهده می‌شوند. این شبکه‌ها در حالت کلی به صورت خط‌های توزیع یک‌طرفه‌ای هستند که تمام برق تولیدی را به مشترکین تحویل می‌دهند. در این ساختار، هیچ مسیر دوطرفه‌ای برای جریان برق و تبادل همزمان اطلاعات و تصمیم‌گیری در سطح سراسری شبکه برق وجود ندارد. بنابراین شبکه برق به‌منظور حفظ قابلیت اطمینان، به‌گونه‌ای برنامه‌ریزی و طراحی می‌شود تا بتواند حداکثر تقاضای پیش‌بینی‌شده را تحمل کند. درنتیجه ازآنجایی‌که این اوج تقاضا، تنها در کسری از ساعات روز رخ می‌دهد، سیستم بیان‌شده ذاتاً غیر بهینه می‌باشد[۲].



شکل(۲-۲): سیستم یک‌طرفه برق

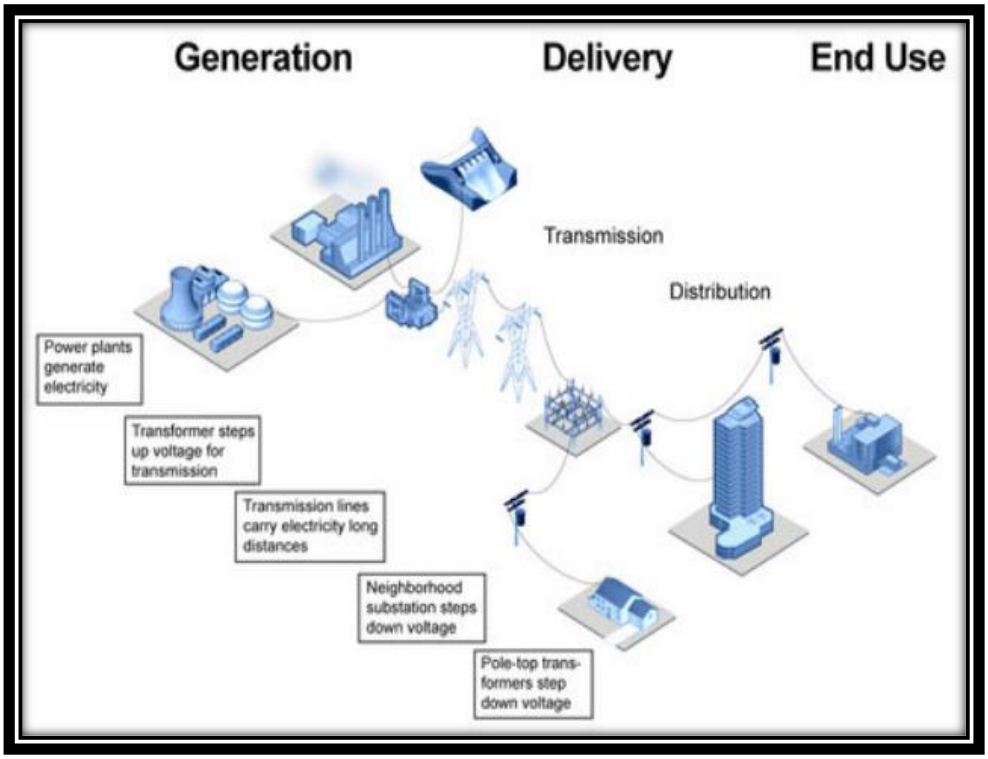
www.takbook.com

علاوه بر این، یک افزایش بی‌سابقه تقاضای توان، توأم با تأخیر در سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های سیستم قدرت، پایداری سیستم را کاهش می‌دهد. در شرایط عدم وجود حاشیه امنیت کافی، هرگونه تقاضای شدید پیش‌بینی‌نشده یا امر غیرمعمول در شبکه توزیع که باعث خطایی در قسمتی از شبکه شود، می‌تواند به خاموشی فاجعه‌آمیزی منجر شود. کمبودهای انرژی و آلاینده‌های زیست‌محیطی، انرژی تلف‌شده در خطوط انتقال و ساختار سلسله مراتبی از دیگر ضعف‌های این شبکه‌ها می‌باشد[۳]. از اواسط دهه ۱۹۷۰ میلادی به‌تدریج احساس شد که مدیریت شبکه‌های برق به شیوه سنتی پاسخگوی مشکلات روزافزون شبکه نخواهد بود. جدول (۲-۱) مشکلات سیستم برق موجود را نشان می‌دهد.

جدول (۲-۱): مشکلات سیستم‌های برق موجود

۱	افزایش تلفات و کاهش کیفیت در اثر افزایش طول انتقال و توزیع
۲	افزایش خاموشی‌ها
۳	عدم نظارت و عدم اطلاع از وضعیت سیستم
۴	نیاز به قابلیت اعتماد بالاتر در صنایع
۵	مشکل ورود تولید پراکنده در ساختار سنتی
۶	محدودیت و افزایش قیمت منابع سوخت سنتی

www.takbook.com



شکل(۲-۳): شبکه برق یک‌طرفه

۲–۳– مهم‌ترین مشکلات در شبکه‌های برق سنتی

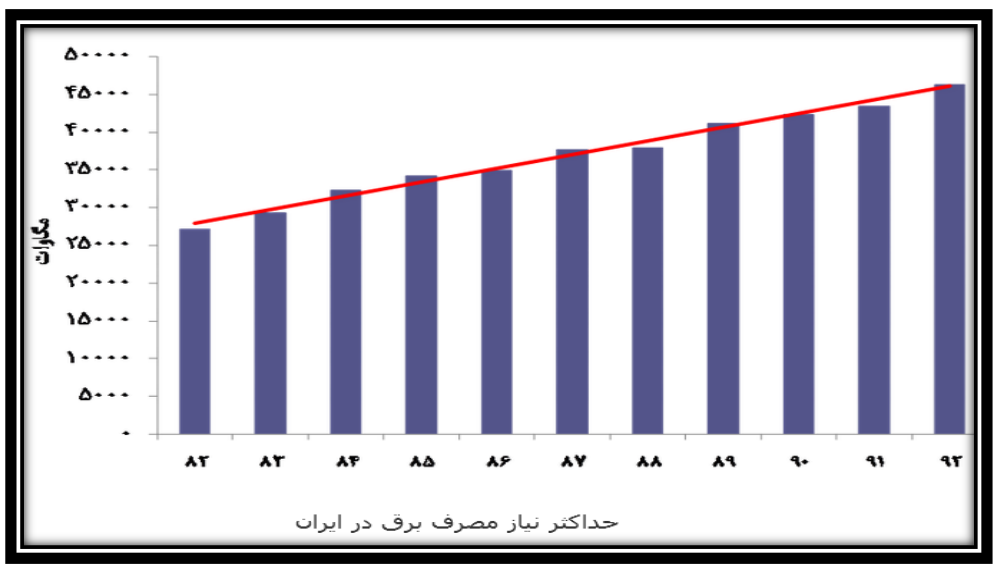
۲–۳–۱– عدم کار آیی شبکه برق در مدیریت حداکثر تقاضا

حداکثر تقاضای بار، بیش‌ازحد نیاز طراحی می‌شود از طرفی حداکثر دیماند به‌ندرت بیش از یک دوره کوتاه‌مدت در زمان رخ می‌دهد درحالی‌که شبکه‌ی برق باید همواره برای این حداکثر دیماند آماده باشد و این موضوع سبب ناکارآمدی سیستم قدرت خواهد شد.

www.takbook.com

علاوه بر این، شبکه برق باید توانایی تولید یک‌میزان اضافی برق را داشته باشد که این مازاد در درجه اول بر عهده‌ی نیروگاه‌های توان فسیلی می‌باشد که تأثیراتی مانند بهره‌وری پائین‌تر، هزینه‌ی بالاتر تولید و تولید گازهای گلخانه‌ای بیشتر و درنتیجه آلودگی هوا و پیش رفتن به‌سوی گرمایش جهانی را در پی خواهد داشت.

علاوه بر این، برای پاسخ‌گویی به تقاضای انرژی بیشتر، شرکت‌های برق باید ظرفیت تولید خود را افزایش دهند. این افزایش ظرفیت با افزایش سریع نرخ سوخت فسیلی همراه است و درمجموع، هزینه‌ی زیادی را در پی خواهد داشت. با ساخت نیروگاه‌های بیشتر ممکن است این مشکل حل شود ولی ساخت نیروگاه بیشتر، رویکرد عاقلانه و خوشایندی از دیدگاه زیست‌محیطی و اقتصادی برای تأمین نیاز برق نیست.



شکل(۲-۴): افزایش تقاضای مصرف برق

www.takbook.com

۲-۳-۲- عدم توانایی شبکه در تبادل اطلاعات قابل‌اطمینان

برای سهولت در عیب‌یابی، تعمیر و نگه‌داری تجهیزات شرکت‌های برق که معمولاً گران‌قیمت می‌باشند، سطوح مختلفی برای ارسال فرمان و کنترل ایجاد می‌شود همانند سیستم "کنترل نظارتی و اخذ داده‌ها". با محدودیت‌هایی که شرکت‌های کنترل توابع در سطح بالای شبکه‌های توزیع دارند، شرکت‌های توزیع در سطوح پایین، قادر به کنترل در زمان واقعی نیستند. این نقصان، در طرف مصرف‌کننده نیز مشاهده می‌شود و سبب می‌گردد مشترکین برق، به هیچ‌گونه اطلاعاتی در مورد نحوه قیمت‌گذاری برق خود و یا میزان مصرف انرژی در هرلحظه از زمان دسترسی نداشته باشند و از این‌رو تمایل برای استفاده بهتر و کارآمدتر و پاسخ‌گویی به تقاضا کمتر می‌شود.

شکل(۲-۵): تبادل اطلاعات

www.takbook.com

۲-۳-۳- قابلیت محدود شبکه در استفاده از منابع تولید پراکنده و انرژی تجدیدپذیر

برای تأمین انرژی در زمان‌های اوج مصرف می‌توان از منابع تولید انرژی دیگر مانند منابع انرژی‌های تجدیدپذیر استفاده کرد. انرژی‌های تجدیدپذیر که از منابع تولید انرژی پراکنده محسوب می‌شوند، به‌طور قابل‌توجهی در حال رشد می‌باشند ولی پشتیبانی شبکه‌ی توزیع برق غیرهوشمند در یکپارچه‌سازی این منابع دارای کفایت نیست. علت این امر وجود ساختار سلسله مراتبی و سبک و سیاق کنترل مرکزی است که برای شارش جریان برق دوطرفه‌ی طراحی نشده است[۳].

شکل(۲-۶): منابع تولید پراکنده

www.takbook.com

۲-۳-۴- ناکارآمدی شبکه با گسترش خودروهای الکتریکی و هیبرید الکتریکی (EVs[۲] و PHEVs[۳])

وسایل نقلیه سبز عموماً شامل وسایل نقلیه هیبرید الکتریکی و وسایل نقلیه تمام الکتریکی باتری‌دار می‌باشند. تولید گازهای گلخانه‌ای کمتر و هم‌چنین عدم تولید دیگر مواد آلاینده، برترین مزیت این وسایل به نسبت خودروهای بنزین سوز با موتورهای احتراق داخلی است. با به‌کارگیری وسایل نقلیه الکتریکی هیبرید میزان آلایندگی هوا به میزان قابل‌توجهی کاهش می‌یابد.

تولید چشم‌گیری از خودروهای الکتریکی در آینده‌ای نه‌چندان دور، می‌تواند زیان‌های قابل‌توجهی برای شبکه‌های برق داشته باشد زیرا با شبکه‌های برق غیرهوشمند فعلی، این خودروها می‌توانند شبکه را با مشکلاتی مانند Overloading یا اضافه‌بار مواجه کنند و همچنین کاربران این خودروها ممکن است اطلاعی از زمان بهینه برای شارژ باتری خودروی خود نداشته باشند[۵].

[۲] Electric Vehicles

[۳] Plug in Hybrid Electric Vehicles

www.takbook.com

شکل(۲-۷): خودروهای الکتریکی

۲-۳-۵- مستعد بودن شبکه‌ی غیرهوشمند برای بروز خاموشی و اختلال کیفیت توان

افزایش روزافزون تقاضا برای انرژی الکتریکی که با ضعف و عقب‌ماندگی سرمایه‌گذاری در زیرساختارهای برق همراه شده است، پایداری و ثبات سیستم را کاهش داده است. هرگونه افزایش پیش‌بینی‌نشده در تقاضا و یا انحراف در سیستم‌های توزیع شبکه‌ی برق، می‌تواند منجر به خرابی تجهیزات و درنتیجه خاموشی سراسری گردد و این قضیه می‌تواند به ضرر و زیان‌های شدید اقتصادی منجر شود. کارخانجات تولیدی با فن‌آوری بالا و

www.takbook.com

زیرساخت‌های حیاتی همچون شبکه‌های ارتباطی و خطوط لوله که به کیفیت بالای توان تکیه می‌کنند، در صورت عدم کیفیت توان شبکه‌های برق، عملکردشان مختل می‌شود، لذا کارخانجات مذکور برای مقابله با این بی‌کیفیتی توان باید تدابیری را اتخاذ کنند. این عدم اطمینان برای مصرف‌کنندگان میلیاردها دلار هزینه در بردارد[۶].

۲-۳-۶- آسیب‌پذیری شبکه‌های موجود براثر بلاهای طبیعی

شکل(۲-۸): حوادث شبکه برق

شبکه‌های موجود برق در قبال بلاهای طبیعی همچون زلزله آسیب‌پذیر هستند. طراحی شبکه‌های غیرهوشمند برق به‌گونه‌ای است که پس از بلایای طبیعی، بدون خاموشی سراسری نمی‌توان آن را بازیابی نمود. یک اتصال کوتاه تک‌فاز براثر یک حادثه طبیعی در

www.takbook.com

شبکه برق، می‌تواند منجر به از دست رفتن میزان قابل‌توجهی از انرژی گردد. عدم وجود منابع تولید پراکنده مانند منابع انرژی تجدیدپذیر در شبکه‌ی سراسری برق منجر شده است آسیب‌پذیری این شبکه براثر بلایای طبیعی بیشتر گردد. این موارد به دلیل ساختار سلسله‌ای و کنترل مرکزی شبکه برق می‌باشد[۷].

شکل(۲-۹): حوادث شبکه برق

۲-۳-۷- قدیمی و منسوخ بودن شبکه برق سنتی

سیستم‌های انتقال انرژی و شبکه‌های توزیع رایج، بسیار قدیمی هستند و در ساخت آن‌ها از فن‌آوری‌های منسوخ‌شده بهره‌گیری شده است. زیرساخت‌های ارتباطی موجود به عواملی چون ناحیه پوشش، ظرفیت و توانایی محدود شده‌اند[۴].

www.takbook.com

به‌طور خلاصه نیازمندی‌های زیر لزوم تغییرات بنیادی را باعث گردیده است:

جدول (۲-۲): لزوم تغییرات بنیادی شبکه‌های موجود

۱	شبکه توزیع خود بازیاب Self-Healing Grids
۲	شبکه‌ای با ضریب اطمینان بالا و داشتن امنیت ذاتی در کلیه سطوح
۳	کنترل غیرمتمرکز و فراگیر با استفاده از گسترده از حسگرها و لوازم اندازه‌گیری
۴	شبکه توزیع نیروی برق کم‌هزینه Economical Grids
۵	استفاده بهینه از دارایی‌های باارزش با به‌کارگیری مفهوم پاسخ به درخواست Demand Response
۶	توزیع غیر سلسله مراتبی تولید نیروی برق و بهرگیری از تولید پراکنده نوعاً توسط مصرف‌کنندگان
۷	اتوماسیون گسترده و کاهش دخالت عامل انسانی
۸	شبکه توزیع نیروی برق دوستدار محیط‌زیست
۹	تجمیع و متنوع نمودن منابع انرژی
۱۰	مدیریت آلاینده‌ها و دی‌اکسید کربن

www.takbook.com

www.takbook.com

فصل سوم

شبکه‌های برق هوشمند

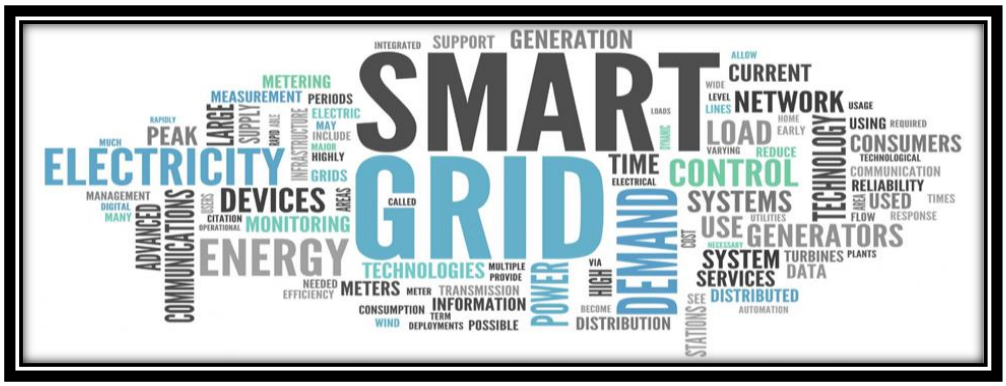
۳–۱– مقدمه

در یک تعریف ساده می‌توان شبکه هوشمند را به‌صورت اجتماع زیرساخت‌های شبکه‌ی قدرت با شبکه گسترده مخابراتی بیان کرد. این نوع شبکه امکان ارتباط دوطرفه و استفاده از حس‌گرهای پیشرفته را به‌منظور بهبود کارایی و قابلیت اطمینان سیستم، امنیت انتقال و مصرف توان فراهم می‌کند. به‌عنوان تعریفی دیگر، می‌توان شبکه هوشمند را به‌صورت اجتماع شبکه‌های ارتباطی با سیستم قدرت به‌منظور ایجاد مسیر مناسب انرژی الکتریکی و اطلاعات بیان کرد[۳].

www.takbook.com

این مجموعه امکان پایش صحت خود را در تمام زمان‌ها دارا خواهد بود و همچنین در صورت بروز اشکالی می‌تواند آن را به‌مراتب بالاتر اطلاع‌رسانی کند و به‌صورت خودکار اقدامات اصلاحی را انجام دهد و مانع از تبدیل‌شدن یک پیشامد اتفاقی محلی به خروج سلسله مراتبی شود. بنابراین ویژگی اصلی و یا حتی هدف اصلی از مطرح‌شدن شبکه هوشمند را می‌توان کنترل و پایش سیستم قدرت مطرح کرد[۴].

شکل(۳-۱): شبکه‌های هوشمند



شکل(۳-۲): شبکه هوشمند

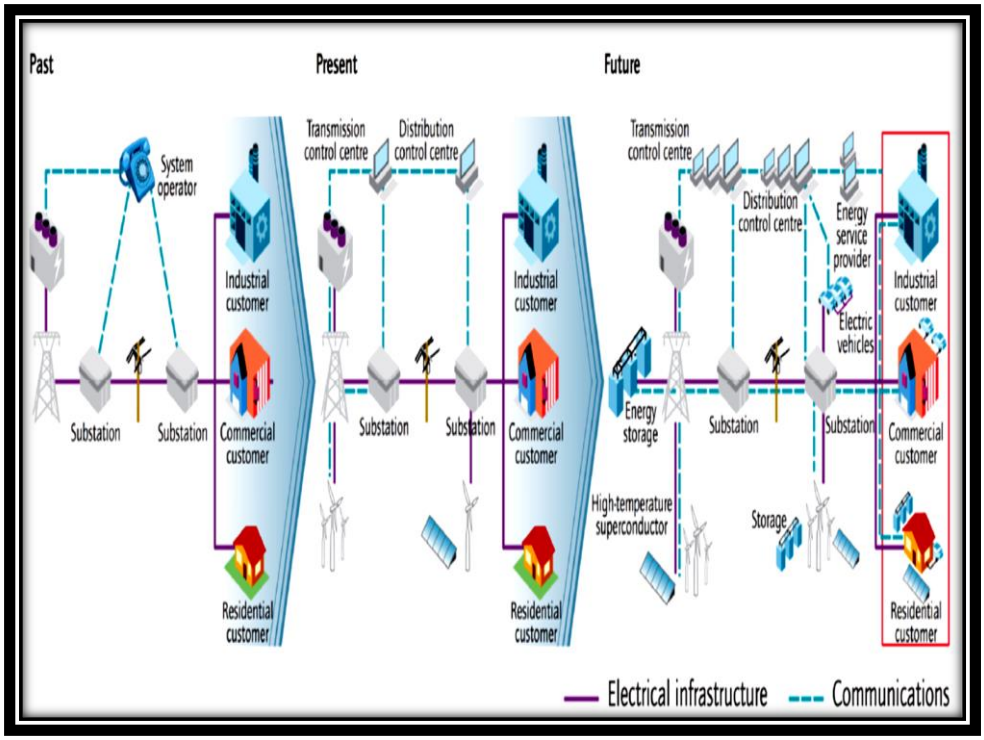
www.takbook.com

۳-۲- تاریخچه و ضرورت شبکه‌های هوشمند

کارشناسان در دهه ۱۹۷۰ با معرفی مفاهیمی به نام هوشمند سازی شبکه، درصدد پاسخگویی به مشکلات شبکه های برق برآمدند. لکن با توجه به گرانی تجهیزات مخابراتی در دهه گذشته، این مسائل تنها در بخش‌های تولید و انتقال موردتوجه قرار گرفت و در بخش توزیع همچنان در حد یک ایده باقی ماند. در دهه ۱۹۹۰ ظهور پدیده‌های جدیدی مانند منابع تولید پراکنده، ظهور ذخیره‌سازی‌های الکتریکی مدرن، فرسودگی شبکه‌های توزیع قدیم و گستردگی کاربردی در سطح توزیع، نیاز به اتوماسیون هوشمند را در سطح توزیع بیشتر کرد.

توسعه فناوری‌های مخابراتی در دهه‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰ پیاده‌سازی چنین شبکه‌هایی را بسیار قریب‌الوقوع کرد. شبکه الکتریکی هوشمند یک سیستم قدرت توانمند شده با فناوری اطلاعات (IT) است که در محیط بازار برق (Market) و با بهره‌گیری بیشینه از منابع انرژی پراکنده، برای بهبود بهره‌وری فنی و اقتصادی، پایایی و ماندگاری سیستم قدرت بر مبنای اطلاعات تمام ذینفعان توسعه داده می‌شود[۶].

www.takbook.com



شکل(۳-۳): سیرتکاملی شبکه هوشمند

امروزه صنعت برق، نه‌تنها با فراهم کردن منابع جهت برآورده سازی انرژی موردتقاضا صنایع، مواجه هست، بلکه از طرفی حداقل سازی و کاهش اثراتی که بشر بر روی محیط در ارتباط با تولید این انرژی دارد نیز، یکی دیگر از موارد موردتوجه می‌باشد و شبکه هوشمند راه‌حلی برای این چالش است که سود و بازدهی بسیار زیادی دارد. برای سمت مصرف‌کننده شبکه هوشمند بدین معنی است که آن‌ها می‌توانند بروی مصرف خود مدیریت هوشمندانه انجام دهند تا در ساعات پیک که قیمت انرژی گران می‌باشد، هزینه کمتری بپردازند.

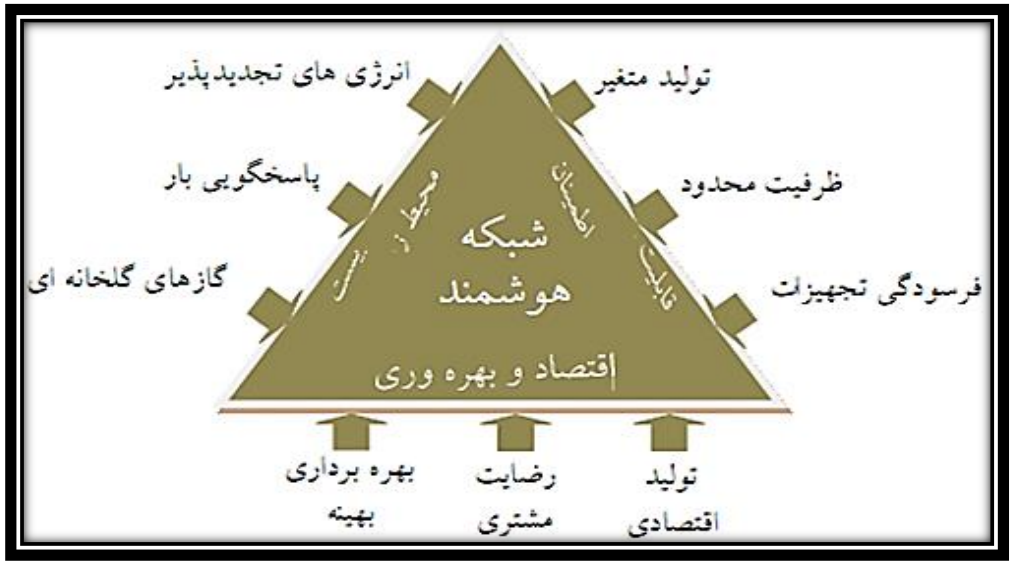
www.takbook.com

شکل(۳-۴): سیستم‌های آینده هوشمند

شکل(۳-۵): سیستم‌های آینده هوشمند

www.takbook.com

در نگاه کلی شبکه هوشمند راهکاری را برای حل چالش‌های شبکه کنونی، که در مثلث شکل (۳-۶) اشاره‌شده است، ارائه می‌کند، مانند چالش‌های قابلیت اطمینان، چالش‌های زیست‌محیطی و چالش‌های اقتصادی و بازدهی انرژی.



شکل(۳-۶): صورت مسئله‌های پیش روی شبکه هوشمند

از دیدگاه قابلیت اطمینان، شبکه هوشمند نیاز شبکه فرسوده قدرت است. شبکه الکترومکانیکی موجود، ظرفیت تأمین تقاضاهای چندین برابر شده را ندارد. کاملاً طبیعی به نظر می‌رسد شبکه‌ای که برای قرن پیش طراحی‌شده است، علاوه بر اینکه اجزای کهنه‌ای دارد و از فناوری‌های روز، بی‌بهره است، قابلیت تأمین چنین باری را نداشته باشد[۷,۶]. پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که تا سال ۲۰۵۰ میزان تقاضا، سه برابر مصرف کنونی خواهد

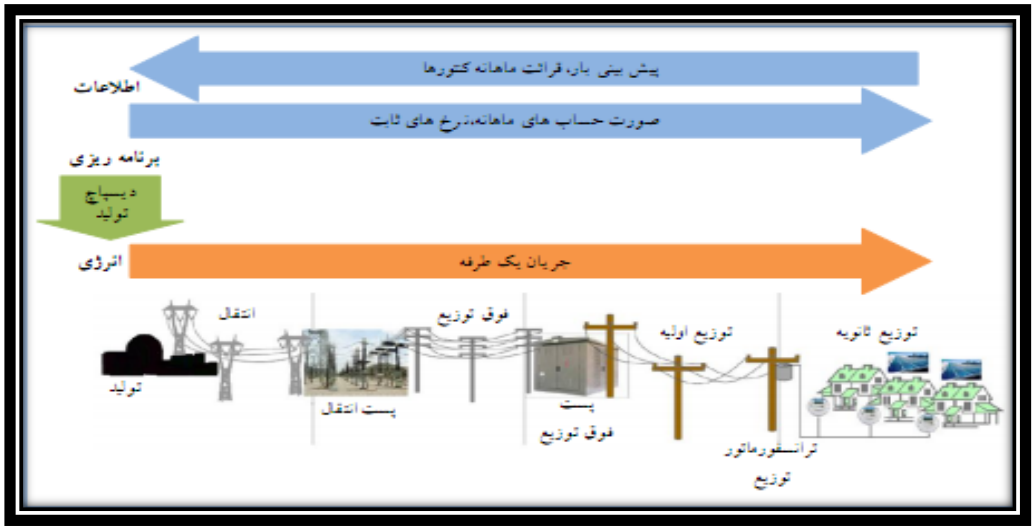
www.takbook.com

شد. بنابراین، نیاز مبرم شبکه قدرت امروزی تغییر در ساختار برای روشن نگاه‌داشتن چراغ خانه مشترکان است. خروجی‌های ناگهانی و بی‌برنامه که لطمات فراوانی را به مصرف‌کنندگان وارد می‌کند، از دیگر مواردی است که در شبکه‌های قدرت امروزی رو به افزایش است. علاوه بر تعداد، مدت‌زمان خروج نیز حائز اهمیت است و باید کاهش یابد. درنتیجه باید به دنبال راهکارهایی برای کاهش تعداد و مدت‌زمان خاموشی‌ها بود[۱۱].

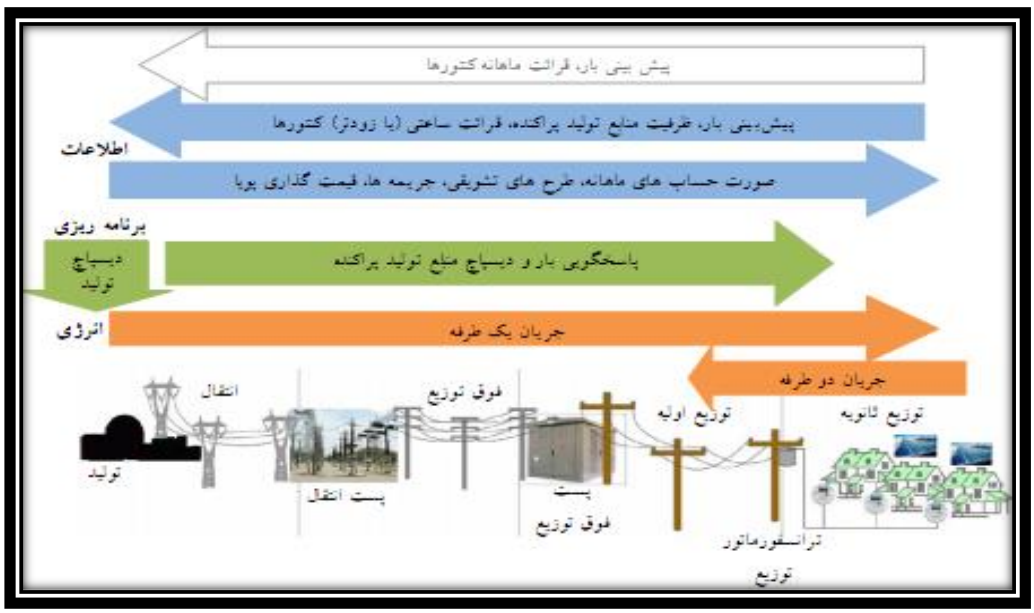
ازنظر محیط‌زیست، شبکه هوشمند به دنبال حل موانع موجود در راه استفاده گسترده از منابع تولید پاک و تجدیدپذیر است. هوشمند سازی شبکه، شامل پیاده‌سازی منابع تولید پراکنده پربازده و تجدیدپذیر در محل بارهای صنعتی، تجاری و خانگی است. از طرف دیگر، استفاده از برنامه‌های پاسخگویی بار و افزایش بهره‌وری مصرف با فرض هوشمند سازی شبکه، موجب کاهش بار و درنتیجه، کاهش آلودگی ناشی از تولید انرژی می‌شود. ازنظر اقتصادی و بهره‌وری انرژی، شبکه هوشمند با ایجاد قابلیت پایش بی‌درنگ مصرف و مدل‌سازی دقیق‌تر منابع تولید (این مدل سازی در فصل ششم بیان می شود) موجب بهره‌برداری اقتصادی‌تر از شبکه می‌شود. بهره‌برداری بهینه از سیستم موجب کاهش قیمت‌های برق می‌شود و رضایت مصرف‌کنندگان را به دنبال دارد. با توجه به تعاریف ارائه‌شده، می‌توان گفت که مهم‌ترین تفاوت شبکه قدرت سنتی و هوشمند در جهت و نحوه انتقال اطلاعات و انرژی و نحوه برنامه‌ریزی برای آن‌هاست. مقایسه شکل‌های (۳-۷) و

www.takbook.com

(۳-۸) این تفاوت‌ها را آشکار می‌سازد[۹].



شکل(۳-۷): جریان انرژی و اطلاعات در ساختار سنتی



شکل(۳-۸): جریان انرژی و اطلاعات در شبکه هوشمند

www.takbook.com

از دیدگاه انتقال اطلاعات، در شبکه سنتی اطلاعاتی که از سمت مصرف به سمت تولید منتقل می‌شود، شامل قرائت‌های ماهانه کنتورهای مصرف‌کنندگان است. اما در شبکه هوشمند، علاوه بر اینکه قرائت کنتورها به‌صورت ساعتی (یا زودتر) انجام می‌شود، پیش‌بینی بار به‌صورت دقیق‌تر و با استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته صورت می‌گیرد. علاوه بر این‌ها، در شبکه هوشمند داده‌های دیگری که شامل مشخصات و ظرفیت منابع تولید سمت تقاضاست، به سمت تولید منتقل می‌شود. در شبکه کنونی اطلاعاتی که از سمت تولید به سمت مصرف منتقل می‌شود، شامل قیمت‌های ثابت برق و صورت‌حساب‌های ماهیانه است.

در شبکه هوشمند صورت‌حساب‌ها همچنان به‌صورت ماهیانه صادر می‌شود، با این تفاوت که قیمت‌های متغیر برق به‌صورت ساعتی یا حتی کمتر به مصرف‌کنندگان اعلام می‌شود. علاوه بر این، مشوق‌های شرکت در برنامه‌های پاسخگویی بار و جریمه‌های پاسخ ندادن به برنامه‌ها، اطلاعات جدیدی هستند که از سمت تولید به سمت مصرف منتقل می‌شود. از دیدگاه برنامه‌ریزی، در شبکه سنتی برنامه‌ریزی فقط برای واحدهای تولید انجام می‌شود، اما در شبکه هوشمند علاوه بر واحدهای تولید، برنامه‌ریزی برای منابع انرژی سمت تقاضا (پاسخگویی بار، تولیدات پراکنده و تجدیدپذیر) نیز انجام می‌شود[۹].

از دیدگاه انتقال انرژی، در شبکه سنتی، انرژی الکتریکی را واحدهای بزرگ و سنتی تولید و به مصرف‌کنندگان منتقل می‌کنند، اما در شبکه هوشمند منابع انرژی دیگری نیز

www.takbook.com

در سمت تقاضا وجود دارند که نه‌تنها بخشی از مشترکان را تولید می‌کنند، بلکه می‌توانند قسمتی از آن را نیز به شبکه تزریق کنند، لذا در شبکه هوشمند جریان انرژی یک جریان دوسویه است.

۳-۳- تفاوت شبکه هوشمند و اتوماسیون شبکه

شبکه هوشمند را به طور معمول سیستمی تعریف می‌کنند که به شرکت توزیع برق امکان نظارت از راه دور و اعمال فرمان و کنترل تجهیزات شبکه را به صورت آنلاین می‌دهد. اما چنین تعریفی به ما تصویری روشن از ویژگی‌های شبکه هوشمند به دست نمی‌دهد، به خصوص که بسیاری از مواقع «اتوماسیون شبکه» و «هوشمندسازی شبکه» به جای یکدیگر به کار می‌روند و مرز بین آن‌ها مخدوش می‌شود. برای مثال، اغلب یکی از ویژگی‌های شبکه هوشمند را، امکان جداسازی شبکه معیوب به منظور کاهش تعداد مشترکان خاموش و افزایش سرعت بازیابی شبکه می‌دانند، اما این امر با اتوماسیون شبکه نیز حاصل می‌شود و بسیاری از شرکت‌های توزیع دنیا، پیش از طرح مفهوم شبکه هوشمند در پایان دهه ۱۹۹۰، به آن دست یافته‌اند. مقایسه این دو مفهوم ـ اتوماسیون شبکه توزیع و شبکه هوشمند ـ در جدول (۳-۱) می‌تواند بسیاری از این ابهام‌ها را حل کند.

www.takbook.com

جدول (۳-۱): اتوماسیون شبکه توزیع و شبکه هوشمند

اتوماسیون شبکه	شبکه هوشمند
مانیتورینگ آنلاین شبکه	ارتباط دوسویه با مشترکان از طریق کنتورهای هوشمند
تشخیص سریع خطاها و امکان جداسازی شبکه معیوب	نرم‌افزار هوشمند برای تشخیص خودکار عیب‌ها و کارکردهای نامناسب شبکه و اصلاح آن
امکان فرمان دادن برای قطع و وصل تجهیزات	امکان اتصال مولدهای پراکنده کوچک و بسیار کوچک به شبکه
	توسعه بازار خرده فروشی برق

همان‌طور که در جدول (۳-۱) نیز دیده می‌شود، با اتوماسیون شبکه توزیع می‌توان اطلاعات شبکه را از راه دور پایش کرد، امکان جداسازی و فرمان برای قطع و وصل تجهیزات نیز وجود دارد، اما شبکه هوشمند فراتر از این می‌رود و می‌تواند با ایجاد ارتباط بین اجزای شبکه و مشترکان، به کمک نرم‌افزارهای هوشمند، نسبت به بازیابی خودکار شبکه، پخش بار خودکار شبکه به منظور کاهش تلفات و استفاده بهینه از تجهیزات و غیره اقدام کند.

www.takbook.com

۳-۴- مشخصه‌ها و مزیت های اصلی شبکه‌های هوشمند

مشخصه‌های اصلی شبکه‌های برق هوشمند درواقع بیان ویژگی‌های این شبکه‌ها بر مبنای قابلیت آن‌هاست. شبکه‌های برق هوشمند به‌منظور از بین بردن معایب نامبرده از شبکه‌های سنتی تعریف شدند و دارای مشخصات زیر هستند.

۳-۴-۱- مشارکت آگاهانه و فعالانه مصرف‌کنندگان در شبکه‌های برق هوشمند

مشارکت فعال مصرف‌کنندگان در بازارهای برق، دارای فواید عینی برای شبکه و شرکت‌های برق می‌باشد. شبکه‌های برق هوشمند، اطلاعات لازم درزمینه الگوی مصرف و هزینه برق مصرفی را در اختیار مصرف‌کننده قرار می‌دهند و این امکان فراهم می‌شود تا مشترکین در بازارهای جدید برق فعالیت کنند. اطلاع‌رسانی صحیح و درست به مصرف‌کنندگان سبب می‌شود آن‌ها بتوانند میزان مصرف را بر اساس توازنی بین توان درخواستی و منابع تولید محلی و شبکه برق موجود تغییر دهند. توانایی کاهش و یا تغییر زمان اوج مصرف بار این امکان را برای تولیدکنندگان برق مهیا می‌سازد تا بتوانند هزینه‌های سرمایه‌گذاری و عملیاتی را کاهش دهند و این در حالی است که هم‌زمان منفعت‌های زیست‌محیطی با کاهش تلفات خط و به حداقل رساندن مدت‌زمان عملکرد نیروگاه‌های با

www.takbook.com

راندمان کم‌حاصل می‌شود[۴,۳].

شکل(۳-۹): شبکه هوشمند

در شبکه امروزی، مصرف‌کنندگان فقط زمانی با سیستم قدرت در ارتباط هستند که قبض برق را دریافت می‌کنند و بر اساس محاسبات صورت گرفته در شرکت‌های برق، پول مصرف خود را پرداخت می‌کنند. این ارتباط یک‌طرفه است و عملاً مصرف‌کننده نقشی ندارد. در چنین مواردی اگر مصرف‌کننده با قبض برقی با مبلغ بالا روبرو شود، بدون شک سعی در کاهش برق خود می‌کند. اما ازآنجا که نمی‌داند در چه ساعت‌هایی از شبانه‌روز نرخ برق مصرفی او بیشتر است ممکن است چندان نتواند به کاهش هزینه قبض خود در

www.takbook.com

دوره بعد دست یابد. یکی از مزایای مهم شبکه هوشمند امکان واردکردن مصرف‌کنندگان و خریداران در مدیریت بار و دارایی‌های شبکه قدرت است. [۴,۳].

شکل(۳-۱۰): استفاده از فن‌آوری برای توسعه شبکه هوشمند

شبکه هوشمند این امکان را فراهم می‌سازد که علاوه بر اینکه شرکت‌های برق اطلاعات کامل و جامعی از طریق ساختار طراحی‌شده از مصرف‌کننده به دست می‌آورند، از طریق یک ارتباط دوطرفه مخابراتی، مصرف‌کنندگان نیز از میزان و قیمت انرژی مصرفی خود اطلاع یابند، بدین ترتیب مصرف‌کنندگان این امکان را می‌یابند که هزینه برق مصرفی خود را کنترل کنند. میزان مصرف کاهش می‌یابد و درنتیجه، مصرف‌کنندگان بیشتری بدون

www.takbook.com

احداث واحدها و تجهیزات تولید و انتقال و توزیع جدید تغذیه می‌شوند. از سوی دیگر، اگر قیمت‌گذاری منطقی انجام شود، می‌توان به مدیریت بار کمک کرد. بدین‌صورت که اگر بیشترین قیمت برق در ساعت‌های پرمصرف انرژی یا همان قله بار باشد، مصرف‌کنندگان برای کاهش هزینه خود میزان مصرف خود را کاهش می‌دهند و این روش، اوج مصرف را کاهش می‌دهد و موجب می‌شود که منحنی بار هموارتر شود، این روش به انتقال قله بار معروف است. بنابراین هرچه اوج مصرف بار را کاهش دهیم، واحدهای آلوده‌کننده کمتری روشن می‌شوند و همچنین ظرفیت‌های جدیدی ایجاد می‌شود که سرمایه‌گذاری تولید و انتقال برای تأمین بارهای جدید را به تعویق می‌اندازد. همچنین مصرف‌کنندگان در شبکه هوشمند با نصب تولیدکننده‌های تجدیدپذیر کوچک علاوه بر تأمین بار خود، این امکان را می‌یابند که به تبادل توان با شبکه بپردازند[۱۰].

۳-۴-۲- منابع تولید پراکنده

یک شبکه هوشمند برق دارای قابلیت بهره‌وری از نیروگاه‌های بزرگ و متمرکز و هم‌چنین منابع تولید انرژی پراکنده در محل مصرف‌کننده است. با آنکه نیروگاه‌های بزرگ شامل نیروگاه‌های پیشرفته هسته‌ای، همچنان ایفاگر نقش اساسی در شبکه برق هوشمند هستند، می‌توان تعداد زیادی از منابع تولید پراکنده کوچک از قبیل سلول‌های فتوولتائیک، نیروگاه بادی، باتری‌های پیشرفته، اتصال برق در خودروهای هیبریدی و سلول‌های سوختی

www.takbook.com

را در این شبکه بکار برد. منابع تولید پراکنده به‌سادگی می‌تواند به شبکه برق متصل شود و قابلیت بهره‌گیری آسان از انواع مختلف منابع با یکدیگر را به‌صورت اتصال به برق فراهم آورد[۴,۳].

شکل(۳-۱۱): منابع تولید پراکنده

یکی از آینده‌نگری‌های شبکه‌های برق هوشمند، یکپارچه‌سازی بهتر و یکنواخت‌تر منابع تولید پراکنده همچون منابع انرژی خورشیدی و بادی در شبکه می‌باشد. شبکه‌ی هوشمند امکان جریان انرژی از چندین جهت را می‌دهد: از شرکت برق به خانه، از خانه به شرکت‌های برق و یا حتی خانه به خانه. منابع تولید پراکنده دربرگیرنده منابع تجدیدپذیری هستند که در حال حاضر رشد چشمگیری داشته‌اند. فراتر از انرژی‌های تجدیدپذیر، باتری‌های

www.takbook.com

خودروهای الکتریکی، منابع تولید هم‌زمان برق و حرارت، منابع تغذیه دائم نیز می‌توانند وجود داشته باشد. با افزایش تلورانس خطا و تشخیص حالت جزیره‌ای، شبکه هوشمند ارتباطی امن‌تر و قابل‌اطمینان‌تر از واحدهای تولید پراکنده را با شبکه فراهم آورده است[۳].

شکل(۳-۱۲): سیستم‌های هوشمند

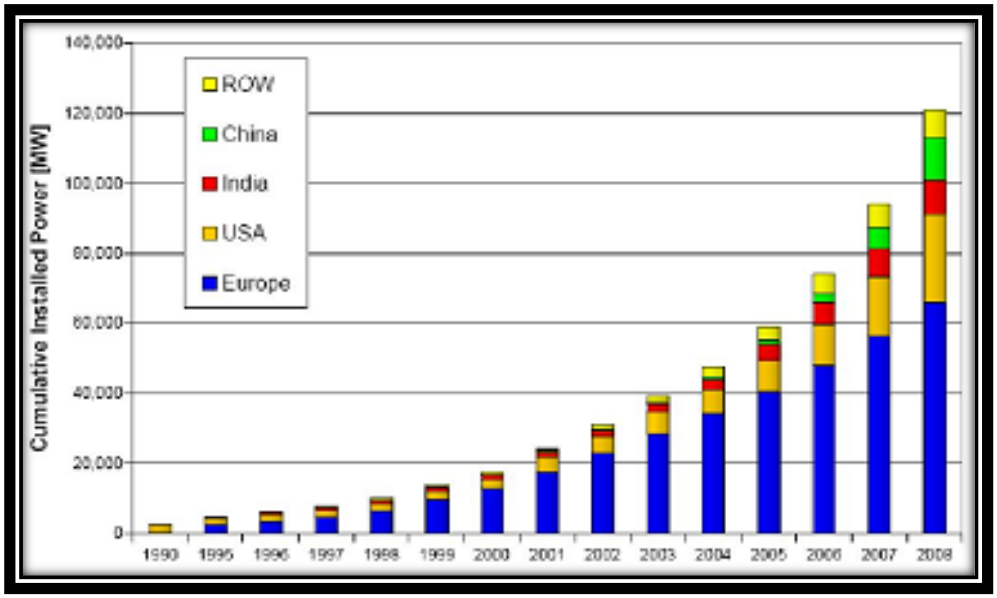
در اینجا جا دارد که به تعرفه‌ی تغذیه شبکه‌ی برق - (Feed-In Tariffs یا به‌اختصار، FITs) که در زمینه‌ی انرژی‌های نو مطرح می‌گردد، اشاره شود، طرحی که در آمریکا، چین و برخی از کشورهای اروپایی به کار گرفته‌شده است. تعرفه‌ی تغذیه‌ی شبکه‌ی برق یا FIT،

www.takbook.com

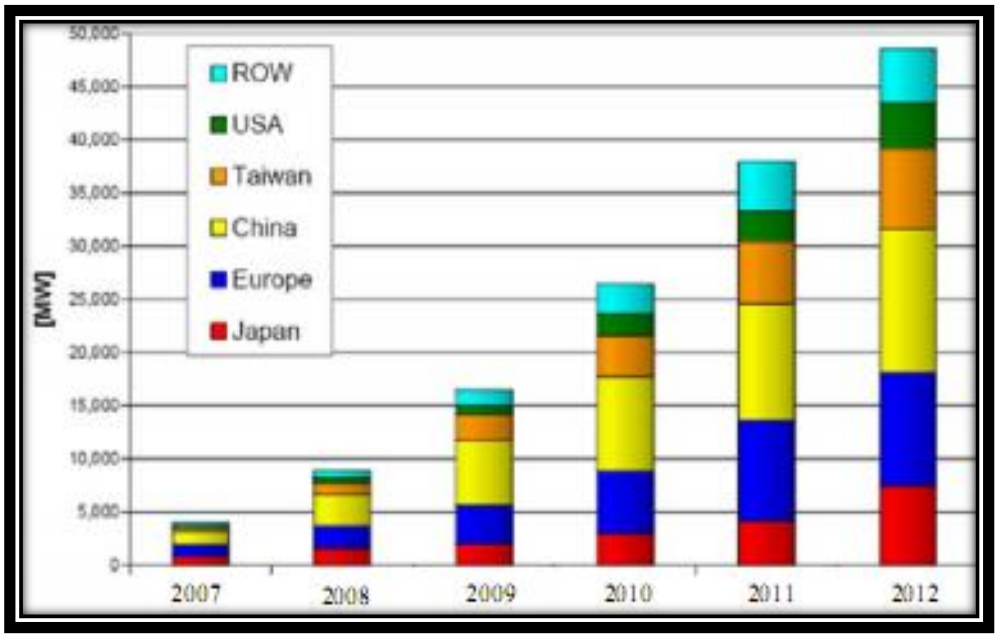
درواقع هزینه‌ای است که از طرف شرکت‌های مرتبط با شبکه‌ی برق یک کشور به کسانی پرداخت می‌شود که توسط انرژی‌های نو، انرژی مازاد مصرفی خود را تولید و به شبکه‌ی برق اصلی تزریق می‌کند. چنین طرحی می‌تواند مشوق مردم جهت استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر در یک کشور باشد. هوشمند کردن شبکه‌ی برق، زمینه را برای استفاده از چنین طرح‌هایی فراهم می‌کند[۳].

افزایش تدریجی قیمت سوخت‌های فسیلی، روبه پایان نهادن این منابع، مسائل زیست‌محیطی ناشی از مصرف این‌گونه سوخت‌ها و تولید گازهای گلخانه‌ای نظیر NO_2, SO_2, CO_2 که به تخریب لایه ازن منجر می‌شود، سبب رشد روزافزون استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر مانند توربین‌های بادی، توربین‌های آبی و سیستم‌های فتوولتاییک شده است که این امر با پیشرفت فناوری ساخت سیستم‌های فتوولتاییک و توربین‌های بادی و کاهش قیمت تمام‌شده برق تولیدی آن‌ها، سرعت گرفته است. استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر به‌منظور تولید برق در کشورهای مختلف دنیا روزبه‌روز در حال افزایش است. در شکل‌های (۳-۱۳) و (۳-۱۴) روند افزایش نصب واحدهای بادی و فتوولتاییک نشان داده‌شده است[۱۰].

www.takbook.com



شکل(۳-۱۳): روند نصب واحدهای بادی در جهان



شکل(۳-۱۴): روند نصب واحدهای فتوولتاییک در جهان

www.takbook.com

با زیادشدن سهم انرژی‌های نو در تأمین بار، بررسی تأثیر آن‌ها بر مسائل مختلف موجود در سیستم قدرت نظیر بهره‌برداری، کیفیت توان و قابلیت اطمینان اهمیت پیداکرده است. انرژی بادی، آبی و خورشیدی پتانسیل فوق‌العاده‌ای ارائه می‌دهند، اما برخلاف سوخت‌هایی مانند ذغال سنگ، منبع انرژی اغلب دور از محل تقاضای انرژی است. بنابراین، بهره‌گیری از این نوع انرژی‌ها مستلزم سیستم انتقال پیشرفته است. پذیرش مولدهای پراکنده، بخصوص مولدهای تجدیدپذیر، از اهداف شبکه هوشمند است. بدین معنا که مرتفع ساختن چالش‌های پیش روی حضور تولیدات پراکنده در شبکه توزیع، از اهدافی است که هوشمند سازی شبکه دنبال می‌کند.

رفع این چالش‌ها امکان گسترش استفاده از موانع فنی اولیه ضعف استانداردهای رسمی، از قبیل استانداردهایی برای بررسی شبکه در جزیره سازی منابع تولید پراکنده و ریز شبکه‌ها در سطح توزیع است. کاهش قیمت تمام‌شده مولدهای پراکنده، طراحی زیرساخت‌های ارتباطی مناسب برای ارتباط این مولدها باهم و با شبکه، مشارکت‌دهی و خرید برق از این مولدها، با در نظر گرفتن سیاست‌های برنامه‌ریزی و بهره‌برداری شبکه و بهره‌برداری از این مولدها با وجود نوسانات توان خروجی از مسائل پیش روی شبکه هوشمند به منظور افزایش میزان نفوذ منابع تولید پراکنده در سیستم قدرت است [۱۰].

مهم ترین مزیت استفاده از منابع تولید پراکنده در شبکه هوشمند:

- ✓ کاهش خاموشی

www.takbook.com

- ✓ کاهش تلفات شبکه
- ✓ کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از طریق استفاده از منابع مختلف انرژی مانند منابع تجدیدپذیر، مولدهای پراکنده و غیره
- ✓ مدیریت مصرف با استفاده از وسایل اندازه‌گیری هوشمند
- ✓ افزایش کیفیت برق
- ✓ استفاده بهینه از زیرساخت‌های موجود
- ✓ ایجاد امکان ارتباط دوسویه با مصرف‌کنندگان و فروش برق مازاد بر مصرف‌شان به شبکه برق

شکل(۳-۱۵): نیروگاه بادی

www.takbook.com

۳-۴-۳- فراهم آوردن کیفیت توان موردنیاز

نظارت، تشخیص و عکس‌العمل به پائین بودن کیفیت توان، منجر به کاهش چشم‌گیر ضرر و زیان مشترکین خواهد شد. روش‌های کنترل پیشرفته‌ی نظارت بر منابع اصلی، امکان تشخیص سریع و راه‌کار مقابله با عواملی که سبب کاهش کیفیت توان شده‌اند را از قبیل رعدوبرق، نوسانات شدید، خطاهای خط و منابع هارمونیکی فراهم می‌آورد. با استفاده از شبکه‌های برق هوشمند می‌توان به سطوح مختلف کیفیت توان با قیمت‌های مختلف دست‌یافت[۴,۳].

شکل(۳-۱۶): بهبود کیفیت توان

www.takbook.com

۳-۴-۴- انعطاف‌پذیری در قبال اختلالات و بلایای طبیعی

شبکه‌های برق هوشمند قادر به مواجهه با رویدادهای غیرمنتظره هستند و می‌توانند قسمت مشکل‌زا را از شبکه جدا نمایند تا بقیه شبکه به حالت کار عادی برگردد. این تشخیص و عملکرد خودکار سبب می‌شود زمان قطع سرویس مشتریان کاهش‌یافته و مدیریت بهتری با زیرساخت‌های موجود برای تحویل توان، توسط شرکت‌های برق ارائه گردد[۴,۳].

۳-۴-۵- محصولات جدید، خدمات جدید و بازار جدید

شبکه‌های برق هوشمند امکان ارتباط بین خریدار و فروشنده، از مصرف‌کننده تا شرکت‌های برق منطقه‌ای، را مهیا می‌سازد. این قابلیت سبب ایجاد بازارهای جدیدی می‌شود که دامنه آن از سطح مدیریت انرژی در محل مصرف‌کننده تا پیشنهاد فروش انرژی در آن سطح گسترده است. با افزایش مسیرهای انتقال و نصب منابع تولید انرژی در نزدیکی مصرف‌کننده، سهم مشارکت مشترکین در بازار افزایش می‌یابد[۴,۳].

۳-۴-۶- بهینه‌سازی استفاده از تجهیزات و راندمان بالاتر عملکرد

شبکه‌های هوشمند آخرین فن‌آوری‌ها را برای بهره‌وری مؤثرتر از تجهیزات بکار می‌برند. اثربخشی تعمیر و نگه‌داری با در نظر گرفتن شرایط انجام تعمیر و نگه‌داشتن، بهینه می‌شود، به‌گونه‌ای که زمان دقیق و موردنیاز برای تعمیر و نگه‌داری تجهیزات را بیان می‌کند.

www.takbook.com

دستگاه‌های کنترل سیستم، به‌گونه‌ای می‌توانند تنظیم شوند که میزان پرشدگی و تلفات خط را کاهش دهند. در این نوع دستگاه‌های کنترل، امکان تحویل انرژی با حداقل هزینه به مصرف‌کنندگان نهایی امکان‌پذیر می‌باشد که درنهایت می‌تواند راندمان بهره‌برداری را افزایش دهد[۴,۳].

۳-۴-۷- انتقال اطلاعات شبکه به طور گسترده به مرکز کنترل

با پیاده سازی شبکه هوشمند، امکان پایش و نمایش به هنگام اجزا و عملکرد سیستم قدرت در سراسر مناطق جغرافیایی وسیع و به هم پیوسته فراهم می گردد. اطلاعات کلیه تجهیزات شبکه به طور پیوسته و دائم به مرکز کنترل ارسال می شود و تصمیمات لازم بر اساس این حجم گسترده اطلاعات، به صورت به هنگام اتخاذ می گردد.

۳-۴-۸- پاسخگویی بار

به منظور اجرای مناسب برنامه های پاسخگویی بار می بایست تجهیزاتی تهیه شود تا مشترکین در هر لحظه از قیمت برق مطلع باشند و با توجه به قیمت برق در ساعات مختلف بتوانند پاسخ مناسبی در جهت کاهش هزینه های خود به شبکه بدهند، که این امر موجب کاهش مصرف در زمان اوج تقاضا خواهد گردید. شبکه هوشمند با استفاده از سیستم ارتباط

www.takbook.com

دوطرفه و انتقال اطلاعات به مصرف کنندگان و همچنین استفاده از سیستم اندازه گیری پیشرفته، ساختار مناسبی برای اجرای کامل برنامه های پاسخگویی بار فراهم کرده است.

شکل(۳-۱۷): سیستم انتقال برق

۳-۴-۹- ذخیره‌سازی برق

ذخیره‌سازی برق، شامل ذخیره سازی وسایل الکتریکی به صورت مستقیم یا غیر مستقیم می‌باشد. با مطرح شدن شبکه هوشمند و استفاده از سلول های فتوولتایی در سقف ساختمآن‌ها، اهمیت ذخیره سازها بیشتر می‌گردد. ذخیره سازهای بزرگ اتمی - الکتریکی که امروزه فراهم است، بسیار اندک و محدود می باشند و مهم ترین تکنولوژی در این زمینه واحدهای آبی تلمبه ذخیره ای می باشد. بنابراین رشد و توسعه شبکه هوشمند نیازمند یک پیشرفت جدی در بحث ذخیره سازها خواهد بود.

www.takbook.com

۳-۴-۱۰- حمل و نقل الکتریکی

این موضوع به کاربرد گسترده خودروهای الکتریکی قابل شارژ[۴] اشاره دارد. حمل و نقل الکتریکی می‌تواند به طور قابل توجهی وابستگی به مشتقات نفت را کاهش داده و استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر را افزایش دهد. همچنین باعث کاهش چشمگیر آلاینده‌های زیست محیطی خواهد شد. مسئله‌هایی که در اینجا مطرح می‌شود زمان و نحوه شارژ این خودروهای الکتریکی است. با پیاده‌سازی شبکه هوشمند در ساختمان‌ها، پردازنده مرکزی منزل، شارژ ماشین را در بهترین زمان ممکن با توجه به قیمت برق تعیین می‌کند، در عین حال شبکه هوشمند می‌تواند در صورت نیاز از خودرو الکتریکی برق بگیرد و خودرو برای شبکه در نقش مولد ظاهر شود.

توانایی تأمین برق موردنیاز حمل و نقل و وسایل نقلیه الکتریکی (ازجمله PHEV ها) که تا حد زیادی به کارآمدی مدیریت عرضه و تقاضا مربوط می‌شود، یک مزیت مهم شبکه برق هوشمند به‌حساب می‌آید. خودروهای برقی تا حد زیادی بار شبکه قدرت را افزایش می‌دهد، با این‌حال شبکه‌های برق هوشمند، امکاناتی را مهیا می‌سازند که خودروهای برقی را قادر می‌سازد تا با شرکت‌های برق ارتباط برقرار نموده و زمان چرخه شارژ خود را با در

4 Plug-In Electric Vehicles

www.takbook.com

نظر گرفتن هم‌زمان شرایطی چون قیمت پایین‌تر، تأثیر کمتر بر بار شبکه و کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای (هنگامی‌که منابع انرژی تجدیدپذیر در دسترس هستند) انتخاب نمایند.

شکل(۳-۱۸): خودروی الکتریکی

جا دارد به این نکته اشاره گردد که شرکت‌های همچون نیسان، در پی تأمین برق مصرفی منازل از طریق انرژی موجود در باتری خودروهای برقی می‌باشند. با تحقق چنین چیزی، امکان تزریق برق اضافی خودرو به شبکه‌ی برق شهر نیز فراهم خواهد شد و در صورت اجراشدن FITs که در قسمت قبل به آن اشاره شد، مشترکین می‌توانند در مواقعی

www.takbook.com

که هزینه‌ی برق پایین است، خودرو را شارژ کرده و در مواقع پیک مصرف، آن را به شبکه‌ی برق تغذیه کنند و هزینه‌ی برق تغذیه‌شده را دریافت کنند[۳۰,۳۵].

۳-۴-۱۱- افزایش قابلیت اطمینان سیستم

یکی از مواردی که در سیستم‌های امروزی بسیار موردتوجه قرار می‌گیرد، افزایش عمر مفید المان‌های شبکه و کاهش نرخ خرابی است. این کار با استفاده بهینه از المان‌های سیستم می‌تواند میسر شود. شبکه هوشمند این امکان را با پایش وضعیت المان‌ها فراهم می‌سازد تا در صورت رؤیت اختلال در عملکرد آن المان، اقدامات لازم انجام شود. روش دیگر برای بالا بردن قابلیت اطمینان تعمیر و نگهداری به‌موقع است. شبکه هوشمند در حقیقت، تعمیر و نگهداری را از حالت مبتنی بر زمان به حالت مبتنی بر وضعیت تبدیل می‌کند[۳].

۳-۴-۱۲- کاهش زمان خاموشی مشترکین

جلوگیری از قطع برق مشترکین، فاکتور اصلی رضایت مندی مشترکین است. شبکه توزیع هوشمند به سرعت، وسایلی را که احتمالاً موجب خطا در شبکه توزیع می‌شوند را شناسایی و از مدار خارج می‌کند و همچنین جریان نشتی را به سرعت مشخص می‌کند و

www.takbook.com

مکان‌هایی که نیاز به حضور نیرو جهت اصلاح شبکه را دارند به سرعت اعلام می کند. استفاده از نرم افزارهای پیشرفته اندازه‌گیری سریعاً مشترکین را که خارج از سرویس هستند، را مشخص می‌کند . فراهم نمودن چنین اطلاعاتی برای پرسنل اتفاقات که در محل خاموشی هستند، بسیار ذی‌قیمت بوده و بازده عملکرد را بسیار بالا می‌برد.

شبکه های توزیع هوشمند با استفاده از راه‌حل‌های ذیل زمان خاموشی مشترکین را کاهش می‌دهند.

- ✓ تنظیم مجدد سیستم با کمک گرفتن از سوئیچ‌های اتوماتیک هوشمند که هماهنگ با پست‌های هوشمند هستند
- ✓ تشخیص از راه دور فالت
- ✓ تعیین اندازه و محل بار خارج شده از مدار از راه دور و بصورت Real Time
- ✓ کنترل از راه دور تولیدات پراکنده انرژی و تجمیع آن‌ها جهت استفاده
- ✓ تشخیص از راه دور قطع و وصل شبکه

۳-۴-۱۳- کاهش هزینه های مرتبط با افزایش بازده قرائت کنتورها

طبیعی است که با هوشمند شدن شبکه و استفاده از کنتورهای هوشمند، نیازی به نیروی انسانی برای قرائت دوره‌ای کنتورها نخواهد بود که این خود در کاهش هزینه‌ها تاثیر

www.takbook.com

چشم‌گیری خواهد داشت.

شکل(۳-۱۹): کنتورهای هوشمند و صرفه‌جویی در هزینه

۳-۴-۱۴- بهینه سازی سرمایه

شبکه توزیع هوشمند سیستم را قادر به آگاهی از سلامت و اطمینان شبکه می‌نماید. جمع آوری و انتقال داده‌ها، سیستمی را بوجود می‌آورد که قادر است تصمیم گیری اتوماتیک انجام دهد. نتیجه این عمل، قابلیت بهره‌برداری بهینه از سرمایه است که دلایل آن عبارتند از:

www.takbook.com

اجتناب از خرابی‌ها با تعویض به موقع کابل‌ها، تجهیزات، پست‌ها و ترانس‌های توزیع، تنظیم دینامیکی ترانس‌ها برای کمک به تعویق سرمایه‌گذاری در این زمینه، افزایش عمر تجهیزات تولید.

۳-۴-۱۵- آگاهی فراگیر از موقعیت منطقه

نظارت جامع بر منطقه و آگاهی موقعیتی برای بهبود قابلیت اطمینان و جلوگیری از اختلال در تأمین انرژی ضروری است. فازور همگام ساز یکی از مهم‌ترین فن‌آوری‌های جدید در اندازه‌گیری منطقه هستند که در دل دیگر فن‌آوری‌های شبکه برق هوشمند گنجانده شده‌اند[۶].

۳-۵- شبکه توزیع هوشمند

شبکه‌های هوشمند توزیع انرژی الکتریکی یکی از جدیدترین فن‌آوری‌های روز دنیا و حاصل سعی و تلاش متخصصین جهت مدرنیزه نمودن شبکه‌های توزیع و ورود به قرن دیجیتال است. اصلی‌ترین هدف، تأمین برق مطمئن و پاسخ گوئی به نیازهای رو به رشد مشتریان با کمترین خسارت به محیط‌زیست است. اولین شبکه هوشمند جهان در مارس ۲۰۰۸ معرفی گردید و شهر بالدر ایالت کلرادو آمریکا موفق به دریافت عنوان اولین شهر با

www.takbook.com

شبکه توزیع برق هوشمند شد. هدف طراحان با به‌کارگیری فن‌آوری هوشمند، حول سه محور اصلی مشترکین، تجهیزات و ارتباطات بود. فن‌آوری هوشمند توانایی ایجاد تغییرات اساسی در تولید، انتقال، توزیع و استفاده از انرژی الکتریکی به همراه منافع اقتصادی و محیطی را داشته که درنهایت به برآورده نمودن نیازهای مشتریان و در دسترس بودن برق مطمئن و پایدار ختم می‌شود. از طرف دیگر سیستم می‌تواند با استفاده از اطلاعات جمع‌آوری‌شده در مواقع بحرانی، تصمیم‌گیری نماید و از خاموشی‌های ناخواسته جلوگیری کند[۷,۶].

سیستم شبکه برق هوشمند می‌تواند با استفاده از اطلاعات جمع‌آوری‌شده در مواقع بحرانی، تصمیم‌گیری نماید و از خاموشی‌های ناخواسته جلوگیری کند. شبکه توزیع، آخرین بخش از یک سیستم الکتریکی است که وظیفه تحویل انرژی به مصرف‌کننده‌ها را بر عهده دارد. تقریباً ۳۰٪ از سرمایه‌گذاری‌های انجام‌شده و هزینه‌ها در این بخش مصرف می‌شود[۴]. بروز مشکل و یا طراحی و بهره‌برداری نامناسب از این شبکه، تمامی تلاش‌ها و هزینه‌های صرف شده در سایر بخش‌ها (فوق توزیع، انتقال و تولید) را بی‌اثر خواهد کرد و عدم رضایت مصرف‌کنندگان را به همراه خواهد داشت. بنابراین به دلیل آنکه شبکه‌های توزیع انرژی الکتریکی گسترده‌ترین بخش شبکه قدرت به شمار می‌آیند و همچنین نزدیک‌ترین بخش از شبکه به مصرف‌کنندگان می‌باشند و نیز رضایت مشترکان و ارائه برق

www.takbook.com

مطمئن و پایدار به آن‌ها از اهمیت خاصی برخوردار است، لذا امروزه توجه خاصی به توزیع هوشمند می‌شود.

شکل(۳-۲۰): شبکه توزیع هوشمند

شبکه‌های هوشمند توزیع، شبکه‌های به هم پیوسته دو سویه‌ای می‌باشند که در آن اطلاعات نقش بنیادی در فرایند توزیع انرژی ایفا می‌نماید. توزیع هوشمند نیرو سامانه‌های

www.takbook.com

مبتنی بر ترکیب فناوری اطلاعات و ارتباطات با توانمندی‌های پردازشی رایانه‌ها و سیستم‌های الکتریکی می‌باشد. ارتقا سیستم های کنونی سخت افزاری غیر هوشمند به شبکه‌های دوسویه توزیع شده کارآمد و اقتصادی که در آن بهره‌وری سرمایه گذاری‌های انجام شده در صنعت برق به طرز چشمگیری بالا می‌رود، از اهداف اصلی هوشمند سازی شبکه می‌باشد. بالا رفتن ضریب اطمینان و پایداری شبکه از اهداف دیگر بکارگیری این فناوری می‌باشد. بطور خلاصه نیازمندی‌های زیر لزوم تغییرات بنیادی را باعث گردیده است:

- ✓ شبکه توزیع خودبازیاب "Self Healing Grids"
- ✓ شبکه‌ای با ضریب اطمینان بالا و داشتن امنیت ذاتی در کلیه سطوح
- ✓ کنترل غیر متمرکز و فراگیر با استفاده از گسترده از حسگرها و لوازم اندازه‌گیری
- ✓ شبکه توزیع نیروی برق کم هزینه "Economical Grids"
- ✓ استفاده بهینه از دارایی‌های با ارزش با بکارگیری مفهوم پاسخ به درخواست"Demand Response"
- ✓ توزیع غیرسلسله‌مراتبی تولید نیروی برق و بهرگیری از تولید پراکنده نوعاً توسط مصرف کنندگان
- ✓ اتوماسیون گسترده و کاهش دخالت عامل انسانی

www.takbook.com

- ✓ شبکه توزیع نیروی برق دوستدار محیط زیست
- ✓ تجمیع و متنوع نمودن منابع انرژی
- ✓ مدیریت آلاینده‌ها و دی‌اکسیدکربن

در سامانه توزیع هوشمند نیروی برق "Smart Grid" نه‌تنها داده‌ها به صورت دوسویه از شبکه به مشترک و بالعکس منتقل می‌گردد، بلکه جریان انرژی نیز دوسویه می‌گردد و شبکه می‌تواند بالقوه متشکل از هزاران تولید کننده و فروشنده خرد برق " Electricity Retailer" باشد. این فروشندگان از طریق منابع تجدیدپذیر انرژی "RES" (Reusable Energy Sources) مانند سلول‌های خورشیدی، گرمای زمین و یا از طریق ذخیره انرژی در ساعات و یا ایام کم بار (و البته ارزان) و فروش آن در ساعات پربار (و صد البته گران) وارد بازار خرده فروشی برق شوند. لذا در SG با دو شبکه جدید آشنا می‌شویم:

- ✓ ریز شبکه توزیع برق "Micro grids"
- ✓ شرکت توزیع برق مجازی"Virtual Utility" (و یا بازار مجازی برق) "Virtual Electricity"

یک مقایسه کلی بین شبکه‌ی هوشمند و شبکه‌های برق فعلی در جدول (۳-۲) آورده شده است.

www.takbook.com

جدول (۳-۲): مقایسه سیستم‌های توزیع سنتی و هوشمند

الکترومکانیکال	دیجیتال
بدون ارتباط یا با ارتباط ضعیف یکسویه	ارتباط دوسویه با کلیه المان‌های فعال شبکه
تولید متمرکز	تولید غیرمتمرکز نوعا مبتنی بر انرژی‌های پاک
ساختار سلسله مراتبی	ساختار شبکه‌ای
قطع گسترده در زمان بروز مشکل	محدود نمودن و قطع جزیره‌ای
کنترل محدود شبکه	کنترل همه‌جانبه شبکه
ارائه سرویس محدود به مشترکین و مصرف کنندگان	ارائه سرویس متنوع به مشترکین و مصرف کنندگان
تست و بررسی دستی شبکه	تست و بررسی شبکه از راه دور
سنسورها و المان‌های اندازه‌گیری محدود	سنسورها و المان‌های اندازه‌گیری فراگیر
شبکه بدون بازخورد	کنترل ذاتی و بلادرنگ
راه‌اندازی دستی	بازیابی خودکار

www.takbook.com

شبکه توزیع هوشمند از روش‌های زیر برای کاهش تلفات سیستم استفاده می‌کند[۶]:

- ✓ در مدار قرار دادن بانک‌های خازنی از راه دور برای کاهش جریان موردنیاز برای توان راکتیو
- ✓ اندازه‌گیری ضریب توان مشترکین در ترانس‌های توزیع
- ✓ بالانس بار با استفاده از اتوماسیون توزیع
- ✓ کنترل و به مدار آوردن منابع انرژی تولید پراکنده (DG)

نتیجه این روش‌ها، قابلیت بهره‌برداری بهینه از سرمایه است که دلایل آن عبارت‌اند از:

۱. اجتناب از خرابی‌ها با تعویض به‌موقع کابل‌ها، تجهیزات، پست‌ها و ترانس‌های توزیع
۲. تنظیم دینامیکی ترانس‌ها برای کمک به تعویق سرمایه‌گذاری در این زمینه
۳. افزایش عمر تجهیزات تولید که از سرمایه‌گذاری مجدد جهت تولید انرژی موردنیاز جلوگیری می‌کند

www.takbook.com

شکل(۳-۲۱): شبکه توزیع هوشمند

www.takbook.com

۳-۵-۱- روند عمومی طی شده در زمینه هوشمند سازی شبکه توزیع برق

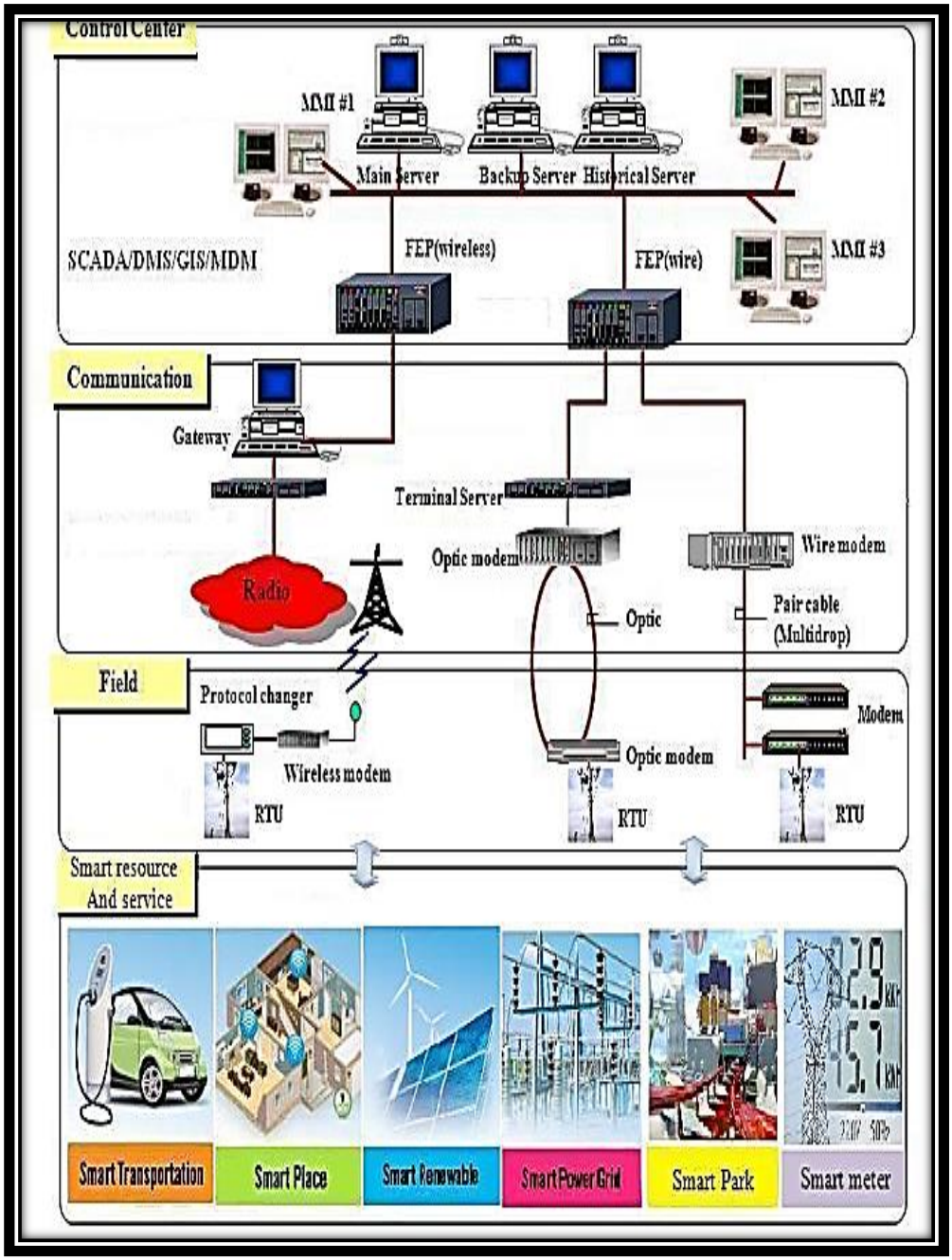
زیرساخت شبکه هوشمند توزیع برق دارای سه سطح زیر است:

جدول (۳-۳): سه سطح زیرساخت شبکه هوشمند

۱	سطح Field شامل شبکه خطوط و پست های توزیع برق، کنتورهای هوشمند، منابع تولید پراکنده انرژی بادی و خورشیدی، خانه‌های هوشمند، اتومبیل‌های برقی، پارکینگ هوشمند
۲	سطح سیستم مخابراتی شامل فناوری‌های مخابراتی و پروتکل‌های ارتباطی
۳	سطح سیستم پایش، کنترل و مدیریت شبکه شامل مرکز کنترل و تجهیزات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری مربوطه

این ساختار در شکل (۳-۲۲) نشان داده شده است.

www.takbook.com



شکل(۳-۲۲): ساختار شبکه توزیع هوشمند

www.takbook.com

اگر بخواهیم با توجه به این ساختار نگاهی گذرا به روند عمومی هوشمند سازی شبکه‌های توزیع برق دنیا در سه سطح فوق داشته باشیم می‌توان سه دهه زیر را بررسی نمود.

۳-۵-۱-۱- (۱۹۹۰- ۲۰۰۰)

در این دهه اتوماسیون در سطح فیدر با استفاده از ریکلوزر، سکشنالایزر، نشانگر خطا، رگولاتور، اسکادا، FLISR[۵] و اتوماسیون در سطح پست با استفاده از دژنکتور، ترانس، بانک خازنی، LTC[۶]، RTU[۷]، اسکادا، FLISR و در سطح مشترکین با استفاده از قرائت خودکار کنتورها و سیستم مدیریت خاموشی رشد نسبتاً چشمگیری داشت. در این دهه پایش آنلاین شبکه و کنترل تجهیزات از راه دور یا همان DAS، تشخیص سریع محل خطا، جداسازی قسمت معیوب و به مدار آوردن قسمت‌های سالم شبکه با به‌کارگیری FLISR به‌عنوان اساسی‌ترین قابلیت DMS، قرائت از راه دور کنتورها و به‌کارگیری سیستم پاسخ‌گویی تلفنی مشترکین رشد نسبتا چشمگیری داشت[۶,۱].

[۵] Fault Location and Isolation and Service Restore

[۶] Load Tap Changer

[۷] Remote Terminal Unit

www.takbook.com

۳-۵-۱-۲- (۲۰۰۰-۲۰۱۰)

در این دهه با آغاز هوشمند سازی شبکه‌های توزیع برق اتوماسیون در سطح فیدر با استفاده از ریکلوزر، سکشنالایزر، نشانگر خطا، رگولاتور، اسکادا، FLISR، DMS و اتوماسیون در سطح پست با استفاده از دژنکتور، ترانس، بانک خازنی، LTC، RTU، اسکادا، FLISR، DMS و در سطح مشترکین با استفاده از AMR، OMS و AMI اجرا شد. در این دهه استفاده از DMS و AMI نسبت به دهه قبل گسترش یافت.

در این دهه پایش آنلاین شبکه و کنترل تجهیزات از راه دور (DAS)، تشخیص سریع محل خطا، جداسازی قسمت معیوب و به مدار آوردن قسمت‌های سالم شبکه و به‌کارگیری سایر قابلیت‌های DMS، قابلیت خود ترمیمی شبکه، قرائت از راه دور کنتورها و به‌کارگیری TCS، مدیریت سمت تقاضا برای ایجاد تعادل بین تولید و مصرف (DSM) و به‌کارگیری کنتورهای هوشمند، گسترده شد. ملاحظه می‌شود که در این دهه قابلیت خود ترمیمی شبکه، مدیریت سمت تقاضا برای ایجاد تعادل بین تولید و مصرف و بکار گیری کنتورهای هوشمند نسبت به دهه قبل گسترش یافت[۶,۱].

۳-۵-۱-۳- (۲۰۱۰-۲۰۲۰)

در این دهه با گسترش فناوری‌های هوشمند سازی شبکه‌های توزیع برق اتوماسیون در سطح فیدر با استفاده از ریکلوزر، سکشنالایزر، نشانگر خطا، رگولاتور، اسکادا، FLISR،

www.takbook.com

DMS و اتوماسیون در سطح پست یا استفاده از دژنکتور، ترانس، بانک خازنی، LTC، RTU، اسکادا، FLISR، DMS و در سطح مشترکین با استفاده از AMR، OMS، AMI، BMS، منابع تولید پراکنده و حمل و نقل هوشمند نسبت به دهه قبل در حال گسترش است. در این دهه پایش آنلاین شبکه و کنترل تجهیزات از راه دور، تشخیص سریع محل خطا، جداسازی قسمت معیوب و به مدار آوردن قسمت‌های سالم شبکه و به‌کارگیری سایر قابلیت‌های DMS، قابلیت خودترمیم شبکه، قرائت از راه دور کنتورها و به‌کارگیری TCS، به‌کارگیری کنتورهای هوشمند، واکنش به تقاضا، مدیریت هوشمند ساختمان‌ها، به‌کارگیری منابع تولید پراکنده و حمل‌ونقل هوشمند گسترده شد. ملاحظه می‌شود که در این دهه مباحث واکنش به تقاضا، مدیریت هوشمند ساختمان‌ها، به‌کارگیری منابع تولید پراکنده و حمل‌ونقل هوشمند نسبت به دهه قبل در حال گسترش است[۶,۱].

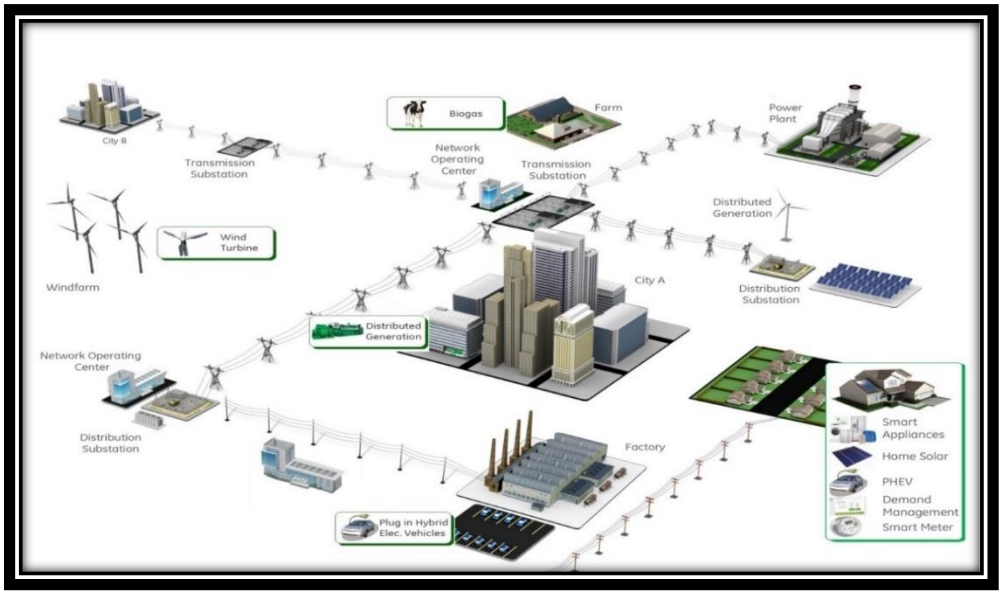
شبکه توزیع هوشمند امکان نظارت و کنترل تجهیزات از راه دور در شبکه توزیع شرکت‌های برق را فراهم می‌آورد و این امکان از طریق تصمیم‌گیری خودکار، عیب‌یابی سریع‌تر و مؤثرتر و بازیابی سیستم قابل انجام خواهد بود. شبکه توزیع هوشمند متشکل از سیستم‌های مرکزی کنترل و نظارت، از قبیل سیستم‌های توزیع اسکادا یا سیستم‌های مدیریت توزیع می‌باشد. این شبکه قابلیت‌های جدیدی را ارائه می‌دهد که به‌نوبه خود کمک خواهد کرد که تعداد و طول مدت خاموشی مشتری کاهش یابد. شبکه‌های هوشمند توزیع

www.takbook.com

نیرو، شبکه‌های به‌هم‌پیوسته دوسویه‌ای می‌باشند که در آن اطلاعات نقش بنیادی در فرایند توزیع انرژی ایفا می‌نماید. توزیع هوشمند نیرو سامانه‌های مبتنی بر ترکیب فناوری اطلاعات و ارتباطات با توانمندی‌های پردازشی رایانه‌ها و سیستم‌های الکتریکی می‌باشد. ارتقا سیستم‌های کنونی سخت‌افزاری غیرهوشمند به شبکه‌های دوسویه توزیع‌شده کارآمد و اقتصادی که در آن بهره‌وری سرمایه‌گذاری‌های انجام‌شده در صنعت برق به طرز چشمگیری بالا می‌رود، از اهداف اصلی هوشمند سازی شبکه می‌باشد. بالا رفتن ضریب اطمینان و پایداری شبکه از اهداف دیگر به‌کارگیری این فناوری می‌باشد.

در سامانه توزیع هوشمند نیروی برق شبکه‌های هوشمند نه‌تنها داده‌ها به‌صورت دوسویه از شبکه به مشترک و بالعکس منتقل می‌گردد، بلکه جریان انرژی نیز دوسویه می‌گردد و شبکه می‌تواند بالقوه متشکل از هزاران تولیدکننده و فروشنده خرد برق باشد. این فروشندگان از طریق منابع تجدیدپذیر انرژی، مانند سلول‌های خورشیدی، گرمای زمین و یا از طریق ذخیره انرژی در ساعات و یا ایام کم‌بار (و البته ارزان) و فروش آن در ساعات پربار (و صدالبته گران) وارد بازار خرده‌فروشی برق شوند[۱۰].

www.takbook.com



شکل(۳-۲۳): سیستم‌های آینده هوشمند

۳-۶- اجزای شبکه هوشمند

- ✓ کنتورهای هوشمند
- ✓ قرائت خودکار دستگاه‌های اندازه‌گیری/زیرساخت‌های اندازه‌گیری پیشرفته (AMR[۹]/AMI[۸])
- ✓ GIS[۱۰] و GPS[۱۱] در برق

[۸] Advanced Metering Infrastructure

[۹] Automatic Meter Reading

[۱۰] Geographical Information Systems

[۱۱] Global Position System

www.takbook.com

- ✓ SCADA[۱۲]
- ✓ سیستم‌های مخابراتی

۳-۶-۱- کنتورهای هوشمند

کنتور هوشمند یک کنتور الکتریکی است که مصرف برق را در فواصل زمانی یک ساعته و یا کمتر ثبت کرده و اطلاعات ثبت شده را حداقل یک بار در روز به سیستم مرکزی برای نظارت و صدور صورت حساب ارسال می‌کند. کنتور هوشمند پیشرفته قادر به ارتباط دو جانبه میان کنتور نصب شده در اماکن و سیستم مرکزی است. بر خلاف کنتور مغناطیسی، کنتور هوشمند می‌تواند داده‌ها جمع آوری شده را تجزیه و تحلیل کرده و از آن‌ها یک گزارش تهیه کند که این گزارش‌گیری در جایی غیر از محل کنتورها انجام می‌گیرد که اصطلاحا فراهم کردن گزارش از راه دور نامیده می‌شود.

در کشورهای برخوردار از تکنولوژی دیگر کنتور نویسی به مفهوم رایج آن در ایران منسوخ شده‌است. در این کشورها که پول الکترونیکی بسیار رایج است از کنتورهای هوشمند که در بازه‌های زمانی خاص میزان مصرف را مشخص کرده و به ادارات برق گزارش می‌دهند استفاده می‌شود. این کنتورها میزان مصرف را از طریق همان خطوط برقی که

[۱۲] Supervisory Control And Data Acquisition

www.takbook.com

آنرا می‌رسانند، به توزیع کننده اطلاع می‌دهند و شرکت‌های فروشنده برق نیز بطور خودکار از حساب مصرف کننده برداشت می‌کنند. در صورت موجود نبودن حساب و پس از اخطارهای کتبی از طریق فرمان از راه خطوط برق بصورت خودکار کنتور برق مشترک را قطع می‌کند و مشترک پس از پرداخت هزینه می‌تواند از خدمات شرکت فروشنده استفاده کند.

شکل(۳-۲۴): کنتورهای هوشمند

www.takbook.com

۳-۶-۱-۱- مزایای کنتورهای هوشمند

۳-۶-۱-۱-۱- کاهش تلفات غیر فنی و فنی

- ✓ شناسایی و اعلام دست‌کاری در کنتور و استفاده غیرمجاز از شبکه
- ✓ کاهش خطای لوازم اندازه‌گیری و خطای قرائت
- ✓ در مدار قرار دادن بانک‌های خازنی از راه دور برای کاهش جریان موردنیاز برای توان راکتیو
- ✓ اندازه‌گیری ضریب توان مشترکین در ترانس‌های توزیع
- ✓ بالانس بار با استفاده از اتوماسیون توزیع
- ✓ کنترل و به مدار آوردن منابع انرژی تولید پراکنده (DG)

۳-۶-۱-۱-۲- مدیریت تقاضا با موافقت مشترک (مدیریت تعرفه)

- ✓ مدیریت تقاضا بر اساس اعمال تعرفه‌های متفاوت و متنوع و افزایش مشارکت در بازار برق و درنتیجه بهبود ضریب بار و بهره‌برداری اقتصادی از تأسیسات تولید، انتقال و توزیع
- ✓ تسهیل در اجرای برنامه‌های پاسخ تقاضا و افزایش مشارکت مصرف‌کنندگان در بازار انرژی

www.takbook.com

۳-۶-۱-۱-۳- اجرای برنامه‌های برپایه قیمت، باهدف هموار کردن منحنی بار و قیمت

- ✓ قیمت‌گذاری بر اساس زمان استفاده
- ✓ قیمت‌گذاری پیک بحرانی
- ✓ قیمت‌گذاری زمان حقیقی

۳-۶-۱-۱-۴- مدیریت بار و مزایای اقتصادی و اجتماعی

- ✓ اعمال محدودیت در دیماند و کاهش مصارف غیرضروری در شرایط بحرانی
- ✓ اصلاح الگوی مصرف از طریق اطلاع‌رسانی به مشترک از میزان مصرف و قیمت برق در زمان‌های مختلف
- ✓ بهبود سیستم وصول مطالبات و کاهش مطالبات معوقه، به دلیل امکان قطع و وصل از راه دور مشترک
- ✓ کاهش هزینه‌های قرائت، سرویس و نگهداری، قطع و وصل مشترکین
- ✓ امکان پیش‌فروش برق و آماده‌سازی برای بازار خرده‌فروشی برق
- ✓ عدم نیاز به حضور مامور قرائت در محل مشترک و جلوگیری از ایجاد مزاحمت‌های احتمالی
- ✓ ایجاد بستر مناسب برای توسعه خدمات دولت الکترونیک

www.takbook.com

- ✓ افزایش گزینه‌های فروش برق باقیمت‌های متفاوت و امکان پیش‌فروش برق
- ✓ تحویل برق به مشترکین باکیفیت توان و قابلیت اطمینان بالاتر
- ✓ کاهش قیمت تمام شده برق بدلیل کاهش هزینه‌های بهره‌برداری
- ✓ افزایش دقت و سرعت در صدور صورتحساب با حذف عامل انسانی و خطای ناشی از آن و امکان اطلاع‌رسانی دقیق به مشترکین از طریق شبکه اینترنت
- ✓ کاهش عملیات انجام‌شده در مراکز پاسخگویی به مشترکین
- ✓ ارائه بهتر خدمات به مشترکین
- ✓ ایجاد بستر مناسب جهت مشارکت مشترکین در مدیریت مصرف و کاهش هزینه

۳-۶-۱-۱-۵- توسعه استفاده از تولیدات پراکنده

- ✓ ایجاد زیرساخت لازم برای توسعه سیستم‌های تولید پراکنده، استفاده از منابع تجدیدپذیر انرژی از طریق ایجاد سامانه مدیریت و کنترل و خریدوفروش برق
- ✓ کاهش مصرف سوخت‌های آلاینده در نیروگاه‌ها از طریق اعمال مدیریت مصرف انرژی در سمت تقاضا در مواقع کمبود گاز
- ✓ کاهش مصرف از طریق اعمال مدیریت انرژی و کاهش تلفات شبکه

www.takbook.com

- ✓ مدیریت تقاضا از طریق ارسال نرخ به مشترکین و تشویق آن‌ها به کاهش مصرف

۳-۶-۲- قرائت خودکار دستگاه‌های اندازه‌گیری/زیرساخت‌های اندازه‌گیری پیشرفته (AMI[۱۳]/AMR[۱۴])

شبکه قدرت به‌عنوان ستون فقرات صنعت برق، امروزه با فن‌آوری‌های جدید برای به‌کارگیری در ساختارش روبرو شده است. شرکت‌های برق در اکثر نقاط دنیا، در حال حرکت در جهت استفاده از این فناوری‌های جدید در جنبه‌های مختلف بهره‌برداری و همچنین زیرساختی می‌باشند. در مرکز این تحولات، استفاده بهینه‌تر از تجهیزات موجود قرار دارد. پیشرفت تجهیزات و امکان استفاده از آن‌ها در شبکه‌های قدرت، شرایط حرکت به سمت کاربردهای شبکه‌های هوشمند را فراهم ساخته است. این کاربردها، درواقع پایه‌ای برای پیاده‌سازی عوامل مدنظر در شبکه‌های هوشمند می‌باشند و شرایط لازم برای دسترسی به اهداف شبکه هوشمند را فراهم می‌کنند. به‌عنوان‌مثال، پاسخگویی بار که از ویژگی‌های مهم و برجسته شبکه هوشمند می‌باشد، بدون ارتباط تنگاتنگ وسایل اندازه‌گیری هوشمند و شبکه‌های خانگی به‌خوبی قابل‌اجرا نخواهد بود[۶,۲].

---

[۱۳] Advanced Metering Infrastructure

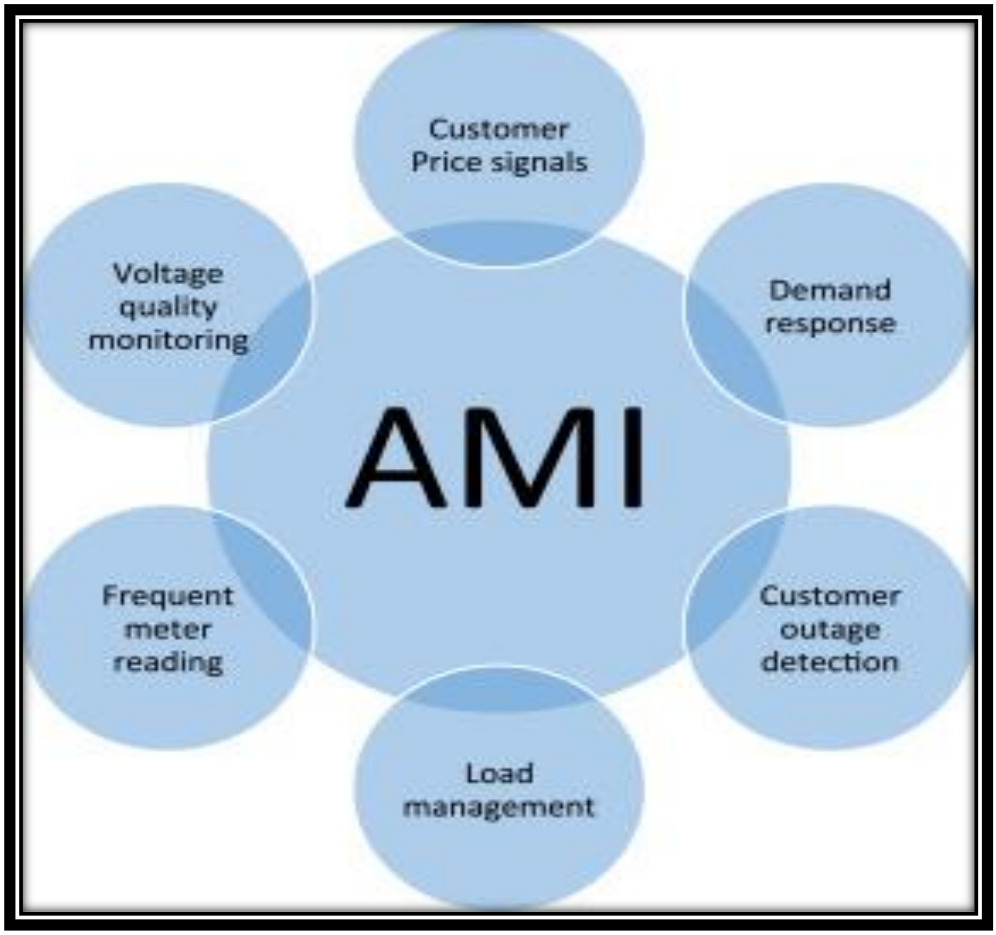
[۱۴] Automatic Meter Reading

www.takbook.com

دستگاه‌های AMR با دارا بودن پورت ارتباطی یک‌طرفه در درجه اول به‌منظور صدور حساب ماهیانه مشترکین نصب و راه‌اندازی می‌شود به‌گونه‌ای که دیگر نیازی به حضور فرد برای قرائت کنتور اندازه‌گیری هر مشترک نمی‌باشد. در فاز بعدی AMI ها راه‌اندازی می‌شوند که یک مسیر ارتباطی دوطرفه بین مشترک و شرکت برق ایجاد کنند. این ساختار، این امکان را برای شرکت‌های برق مهیا می‌کند که به جمع‌آوری، اندازه‌گیری و تجزیه‌وتحلیل اطلاعات مصرف انرژی به‌منظور مدیریت شبکه، اطلاع از خاموشی و صدور صورت‌حساب از طریق این ارتباط دوطرفه می‌پردازد.

دستگاه‌های AMI، ابزاری هستند که می‌توانند سابقه مصرف انرژی مشترک را در بازه‌های مختلف زمانی را جمع‌آوری نموده، میزان مصرف انرژی مشترکین خانگی یکسان را مقایسه کرده و اطلاعات مربوط به قیمت‌گذاری پویا و روش‌های پیشنهادی برای کاهش بار پیک را از طریق صفحه‌نمایش خانه، به اطلاع مشترک برساند. برای دست‌یابی به اهداف معینی از قبیل بازخورد داده‌ها درزمانی نزدیک به زمان واقعی و تجزیه‌وتحلیل کامل مدیریت انرژی، نیاز به نصب و راه‌اندازی AMI ها وجود دارد[۶,۲].

www.takbook.com

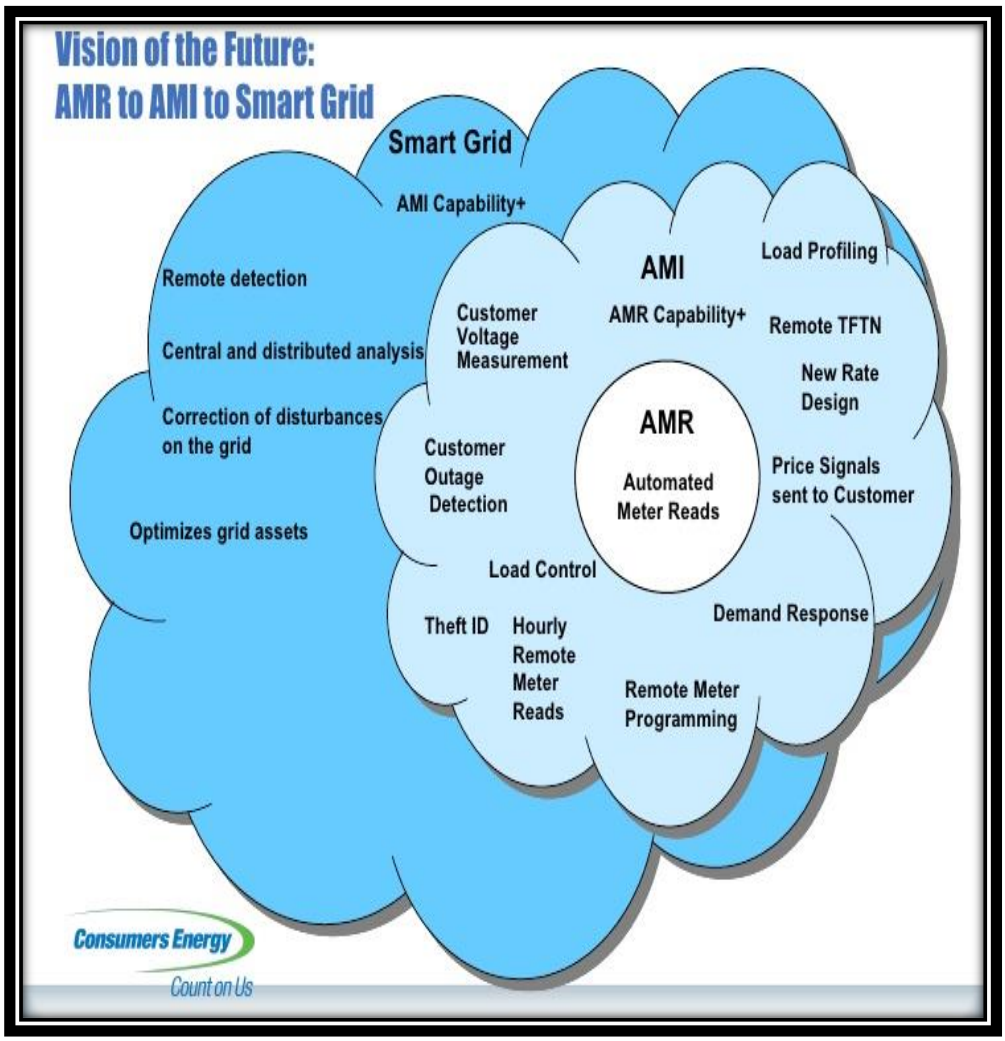


شکل(۳-۲۵): ویژگی‌های AMI

این تجهیزات، ارتباط دوطرفه‌ای بین مراکز کنترل و مشترکین، برای مبادله اطلاعات با دستگاه‌ها مصرف‌کننده فراهم می‌کنند. AMI موجب آگاهی مشترکین از قیمت برق شده و می‌تواند به بهره‌برداران در دستیابی به کاهش بار موردنیاز کمک نماید. بدین طریق شرکت‌ها نه‌تنها می‌توانند اطلاعات لحظه‌هایی از تقاضای فردی و جمعی دریافت کنند،

www.takbook.com

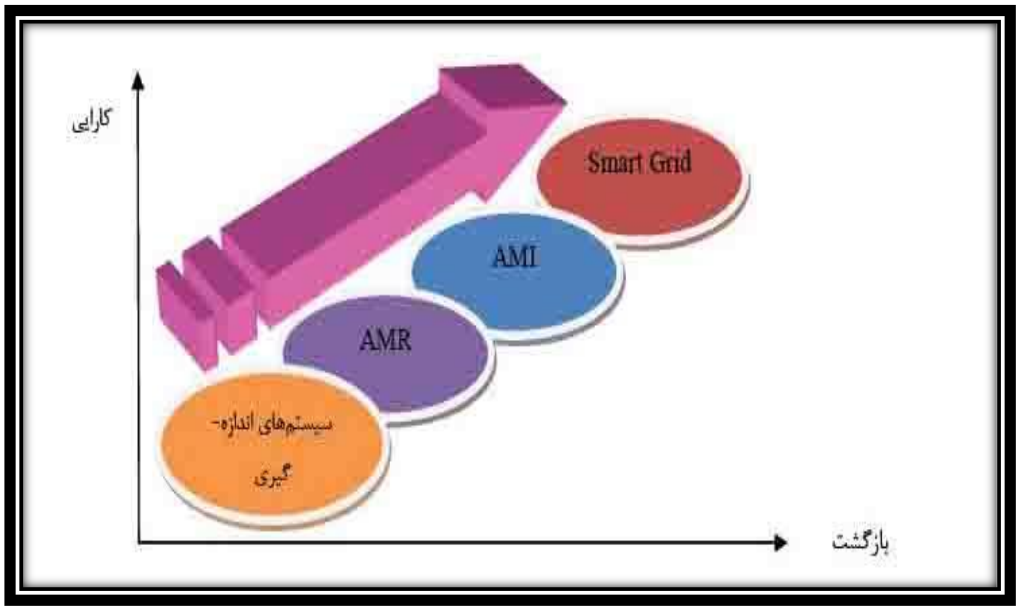
بلکه می‌توانند محدودیت‌های معینی بر میزان مصرف و نیز مدل‌های مختلف درآمدی را برای کنترل هزینه‌های خود، اعمال کنند. البته سیستم مخابراتی مورداستفاده برای AMI ها و میزان اطلاعاتی که به مشترکین می‌رسد یا مبادله می‌گردد، می‌تواند متفاوت باشد.



شکل(۳-۲۶): ویژگی‌های AMR, AMI, Smart Grid

www.takbook.com

همان‌طور که شکل (۳-۲۶) نشان می‌دهد، وسایل اندازه‌گیری سیستم توزیع، نقطه تمرکز سرمایه‌گذاری‌های زیربنایی اخیر می‌باشند. در ابتدا سیستم‌های اندازه‌گیری که موردتوجه قرار گرفتند، سیستم اندازه‌گیری خواندن خودکار اندازه‌گیری (AMR) در شبکه توزیع بودند. AMR به شرکت‌های برق اجازه خواندن سوابق مصرف، هشدارها و وضعیت مشتریان را به‌صورت از راه دور می‌دهد[۷,۶].



شکل(۳-۲۷): روند تکامل سیستم‌های هوشمند

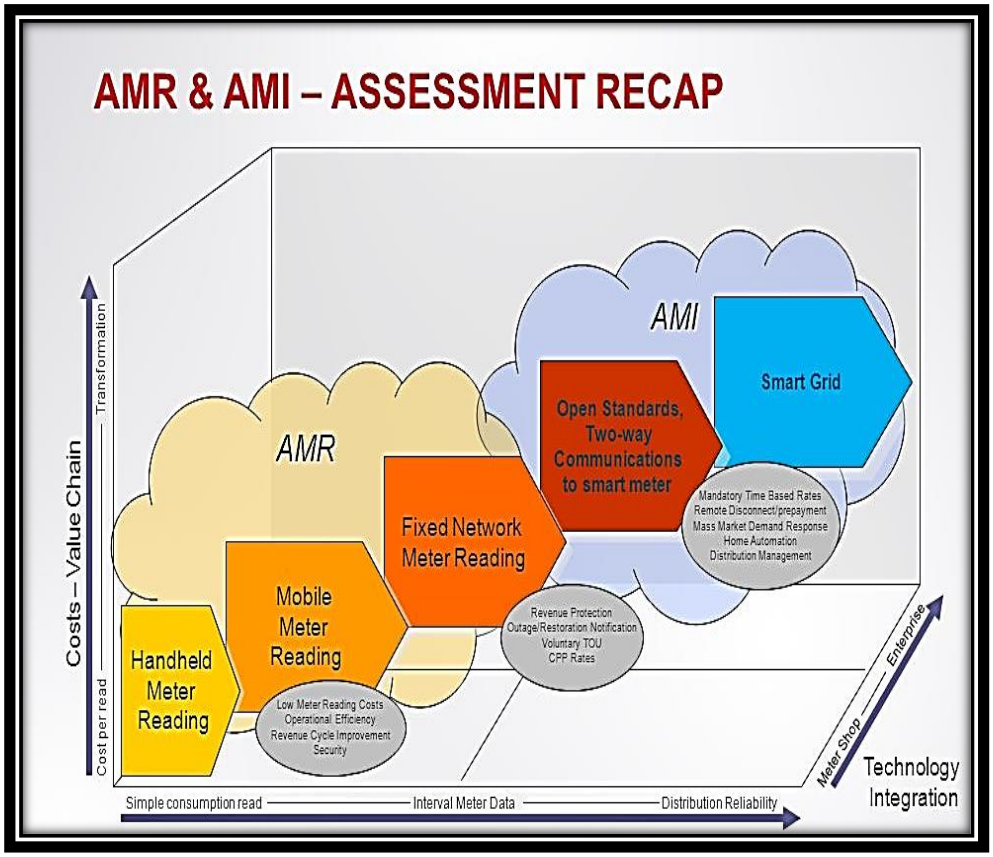
در شکل (۳-۲۷) مشاهده می‌شود که اگرچه در ابتدا مفید بودن فن‌آوری AMR اثبات گردید، اما بعداً شرکت‌ها متوجه شدند که AMR قادر به حل مشکل اصلی آنان، یعنی مدیریت سمت تقاضا نمی‌باشد. با توجه به یک‌طرفه بودن سیستم مخابراتی AMR، توانایی

www.takbook.com

آن، به خواندن داده‌های اندازه‌گیری شده محدود می‌باشد و شرکت‌های برق توانایی انجام اقدامات اصلاحی در مقدار توان مصرفی بر اساس اطلاعات واصله از وسایل اندازه‌گیری را ندارند و نیز مصرف‌کنندگان اطلاع دقیقی از قیمت برق به‌صورت زمان واقعی دریافت نمی‌کنند. به‌عبارت‌دیگر، سیستم‌های AMR امکان گذر به شبکه هوشمند، که در آن کنترل فراگیر در تمام سطوح از اصول اولیه می‌باشد، را نمی‌دهند. درنتیجه، استفاده از فناوری AMR به تنهایی، عمر کوتاهی داشت.

شرکت‌ها در سراسر جهان، به سمت زیرساخت‌های اندازه‌گیری پیشرفته (AMI) متمایل شدند. AMI برای شرکت‌ها، یک سیستم ارتباطی دوطرفه با وسایل اندازه‌گیری و همچنین توانایی تغییر پارامترهای خدمات به مشتریان را فراهم می‌کند. به کمک این سیستم اندازه‌گیری، نه‌تنها شرکت‌های برق از مقدار مصرف توان توسط هر مصرف‌کننده مطلع می‌شوند، بلکه مصرف‌کنندگان نیز از طریق اطلاع از قیمت دقیق برق در زمان واقعی، امکان تنظیم میزان مصرف برق با توجه به هزینه‌ی آن و سود حاصله از این استفاده را دارا خواهند بود. بدین طریق شرکت‌ها می‌توانند اهداف اساسی خود در مدیریت بار را از طریق AMI تأمین کنند و اطلاعات لحظه‌ای از تقاضای فردی و جمعی دریافت کنند، همچنین محدودیت‌های معینی بر میزان مصرف و نیز مدل‌های مختلف را برای کنترل هزینه‌های خود، اعمال کنند[۸,۲].

www.takbook.com



شکل(۳-۲۸): ویژگی‌های AMR, AMI

همان‌طور که گفته شد، AMI در کنار عوامل دیگر مانند تولیدات پراکنده، سبب مطرح‌شدن شبکه هوشمند گردید. بنابراین یکی از معیارهای مهم شرکت‌ها در انتخاب بین فناوری‌های مختلف AMI، امکان سازگاری با ساختارها و فن‌آوری‌های فعلی شبکه هوشمند می‌باشد. می‌توان مدیریت سمت تقاضا و پاسخگویی بار را، به‌عنوان یکی از عوامل پایه‌ای در مطرح‌شدن شبکه‌های هوشمند نام برد. شبکه هوشمند درواقع پاسخی به تعهدات اقتصادی،

www.takbook.com

امنیتی و زیست‌محیطی تحمیل‌شده به تولیدکنندگان و تحویل‌دهندگان انرژی می‌باشد. شبکه هوشمند نقاط دسترسی معینی فراهم می‌کند (بسیار شبیه به تجهیزات کامپیوتری)، که با یک آدرس بر اساس پروتکل‌های اینترنت می‌توانند در محیط اینترنت شناخته شوند. شبکه هوشمند از پروتکل‌های اینترنت برای انتقال اطلاعات از ابتدا به انتها، بین بهره‌برداران و مشترکین، استفاده می‌نماید. ارتباط دوطرفه بین مشترکین و بهره‌برداران می‌تواند کنترل بیشتری بر مصرف شبکه و ساختار فیزیکی و امنیت سایبری آن داشته باشد[۹].

این سیستم قابلیت‌های زیر را که در جدول (۳-۴) نشان داده شده است، به‌صورت خودکار فراهم می‌نماید.

جدول (۳-۴): مزایای AMI

۱	امکان ارتباط دوطرفه
۲	قرائت از راه دور و توزیع قبض بر اساس برنامه زمان‌بندی دلخواه ویل به‌صورت پیش‌پرداخت پیکربندی(تعرفه‌ها)
۳	نظارت و کنترل از راه دور کنتورها
۴	جمع‌آوری، مدیریت، پردازش و تحلیل اطلاعات جمع‌آوری‌شده
۵	تولید گراف‌ها و گزارش‌های لازم
۶	امکان رؤیت اطلاعات مربوط به مصرف توسط مشترکین

www.takbook.com

شکل(۳-۲۹): مکان استفاده از AMR, AMI

www.takbook.com

۳-۶-۳- GIS[۱۵] و GPS[۱۶] در شبکه هوشمند

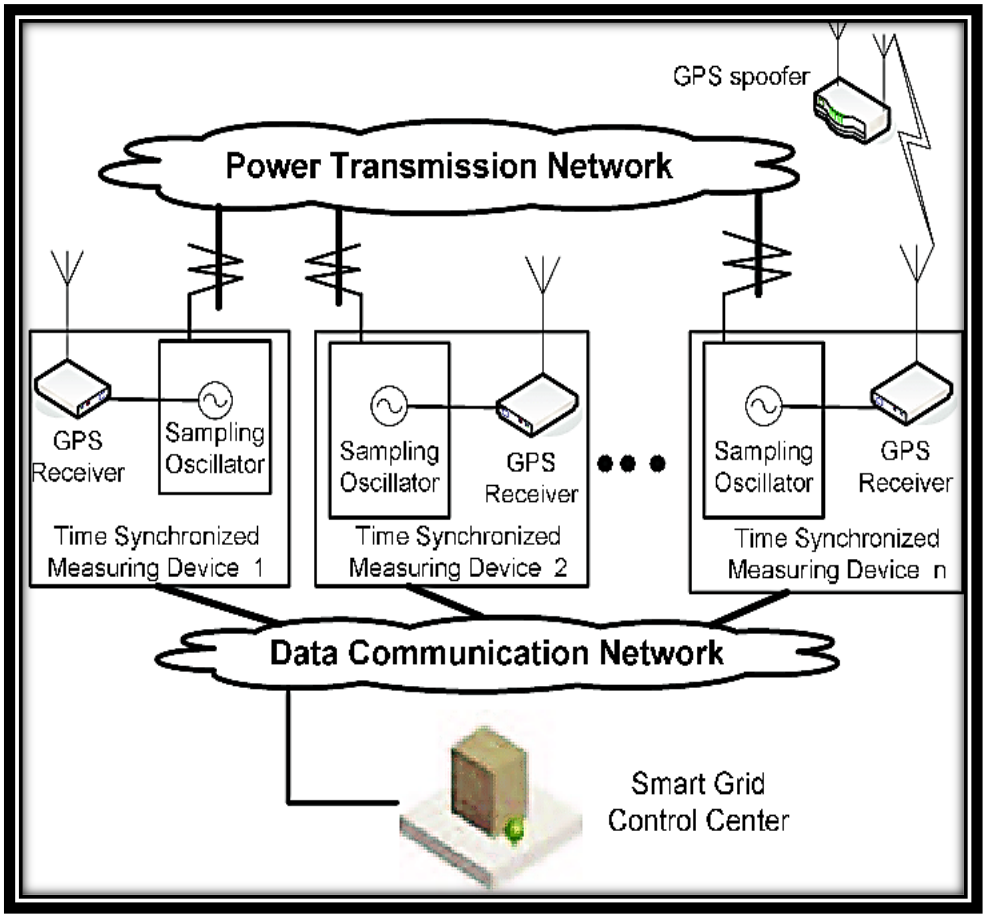
سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی که به‌اختصار GIS نامیده شده‌اند، سیستم نوینی جهت جمع‌آوری، ذخیره و آنالیز اطلاعات و پدیده‌های جغرافیایی در مواردی است که موقعیت و شرایط جغرافیایی پدیده‌ها، ویژگی مهم و حساس برای آنالیز به شمار می‌رود. GIS مجموعه‌ای از نقشه‌ها و اطلاعات توصیفی مربوط به عوارض موجود در نقشه‌ها را در خود گردآوری می‌کند. GIS مکان کاملی از شبکه را به ما نشان می‌دهد و پیش‌نمایشی با مدل‌های واقع‌گرایانه و با روشی که توپولوژی شبکه را قابل‌فهم کند، ارائه می‌دهد.

GPS به معنی سیستم موقعیت‌یاب جهانی است که برای تخمین حالت سیستم قدرت، برای اندازه‌گیری افتادگی هادی‌های خطوط برق، ایجاد برنامه مکان‌یابی عیب برای سیستم توزیع، ترکیب GPS و GIS برای نقشه‌کشی و تجزیه‌وتحلیل مدارهای توزیع الکتریکی، کنترل و دیده‌بانی سیستم قدرت، هم‌زمانی مبدل‌های فرکانسی، ارزیابی کیفیت قدرت، حفاظت سیستم‌های قدرت و غیره می‌باشد[۲۴].

[۱۵] Geographical Information Systems

[۱۶] Global Position System

www.takbook.com



شکل(۳-۳۰): عملکرد GPS در شبکه هوشمند

شناخت مکان‌های حادثه‌خیز براثر حوادث طبیعی و غیرطبیعی، در مناطق شهری و برون‌شهری یکی از مهم‌ترین عوامل توسعه تجهیزات و شبکه‌های هوشمند و مدیریت بر آن‌ها می‌باشد. این شناخت باعث می‌شود که بتوانیم در هنگام وقوع حادثه در شبکه، سریع‌ترین و به‌موقع ترین و هدفمندترین اقدامات لازم را انجام دهیم. عوامل طبیعی می‌توانند گاهی برخلاف میل و انتظار ما رفتار غیرقابل‌پیش‌بینی از خود نشان داده و تبدیل

www.takbook.com

به یک بحران گردند. چنانچه بتوان این عامل طبیعی را مهار نمود می‌توان ادعا نمود که در پیش‌بینی و مهار یک بحران موفق بوده‌ایم. سامانه‌های اطلاعاتی GIS وGPS ازجمله فن‌آوری‌هایی می‌باشند که این روزها می‌توانند به بشر در ارائه روش‌های نوین در پیش‌بینی‌ها کمک شایانی نمایند و بدین ترتیب از هدر رفتن سرمایه و زمان که مهم‌ترین عوامل در یک بحران می‌باشند، جلوگیری نمایند[۲۰].

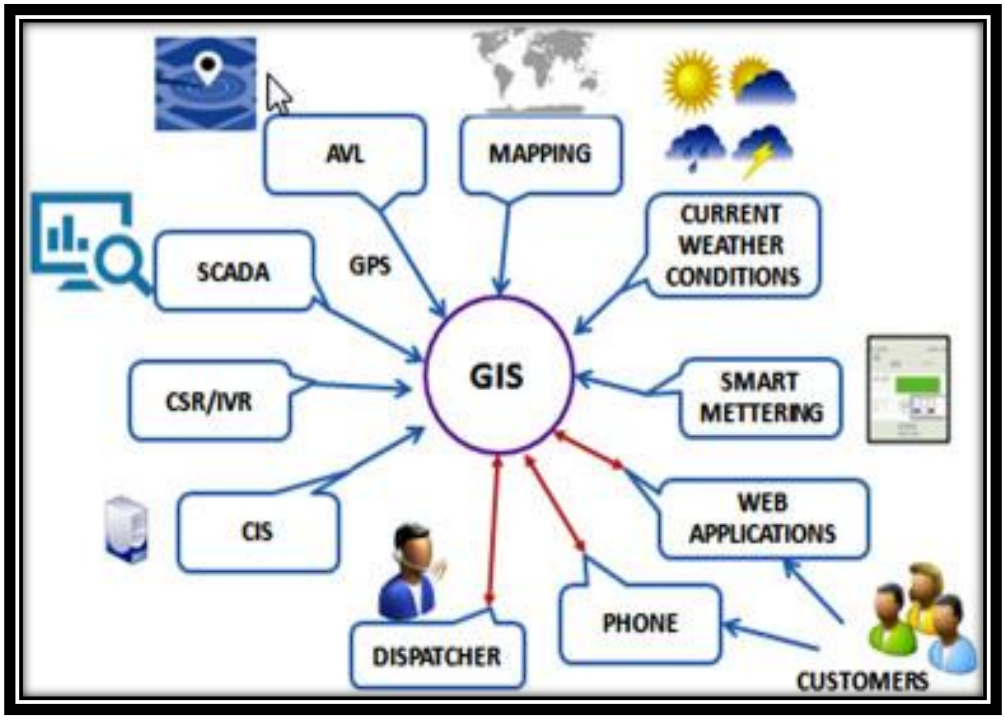
۳-۶-۳-۱- نقش GIS در شبکه هوشمند

مفهوم شبکه هوشمند باهدف رفع مشکلات شبکه‌های برق فعلی و مدیریت بهتر و کارآمدتر سیستم قدرت مطرح‌شده است. شبکه‌های هوشمند امکان پایش کامل و کنترل لحظه‌به‌لحظه تجهیزات را برای شرکت‌های برق فراهم می‌کند. پس از شبکه هوشمند انتظار می‌رود که با توجه به هوشمند بودنش خاموشی را در کمترین زمان ممکن مدیریت نمایید. افزایش تقاضا و پراکندگی شبکه‌های توزیع باعث گردید تا نیاز به شبکه‌های هوشمند به‌منظور رفع خطای احتمال انسانی به‌منظور رضایت مشترکین و جلوگیری از اتلاف انرژی احساس گردد.

ازآنجایی‌که شبکه هوشمند از طریق ارتباط با بانک اطلاعاتی جامع از تجهیزات شبکه کار می‌کند لذا نیاز به سیستم‌های GIS به‌منظور زیربنای اجرایی شبکه هوشمند الزامی

www.takbook.com

هست. در مدیریت شبکه‌های هوشمند GIS نقش اساسی دارد، برای مثال GIS لیست موجودی فراگیر و کاملی از اجزای شبکه‌های توزیع انرژی الکتریکی را به همراه مکان‌یابی نقطه‌ای آن‌ها فراهم آورده است. وجود شبکه‌های ارتباطی پیچیده در شبکه‌های هوشمند تاثیر زیادی را بر روی شبکه‌های الکتریکی خواهد داشت، لذا مدیریت اطلاعات با سیستم GIS کاملاً حساس و مهم خواهد بود. بانک GIS به وجود آوردن اطلاعات مکان محور درباره تجهیزات منصوب شده و دارائی‌ها از قبیل انواع پایه‌ها، سیم‌ها، ترانسفورماتورها و غیره و اطلاعات جامعی از مشترکین هست[۲۶].



شکل(۳-۳۱): ویژگی‌های GIS

www.takbook.com

در جدول (۳-۵) کاربردهای GIS در شبکه هوشمند و مدیریت اتفاقات شبکه‌های برق و حوادث آورده شده است.

جدول (۳-۵): کاربردهای GIS در شبکه هوشمند

ردیف	کاربرد
۱	GIS کمک خواهد کرد تا نسبت به اطلاعات شرایط فعلی امکانات و تجهیزات منصوب شده مدیریت شود.
۲	GISبرای نظارت، تعمیر و نگهداری تجهیزات نیز استفاده می‌شود.
۳	توانمندی GIS کمک می‌کند تا ارتباط میان تجهیزات نصب‌شده و در حال بهره‌برداری با تجهیزات دیگر را بدانیم. GIS ابزار و چارچوب‌های موردنیاز برای مدل‌سازی شبکه و ردیابی پیشرفته را فراهم می‌نماید.
۴	GIS به ارتباط میان شبکه‌ها و محیط اطراف می‌پردازد چراکه می‌تواند به شناسایی ارتباط میان سیستم‌ها و طبیعت کمک کند که این، یک ابزار ضروری برای استخراج و بازیافت اطلاعات مربوط به تغییر ناگهانی آب‌وهوا و اقدامات عملیاتی جهت مدیریت بحران در شبکه‌های توزیع به‌حساب می‌آید.
۵	GISشرایطی را برای نمایش و گزارش صحت کارکرد سیستم را فراهم آورده است.
۶	GIS می‌تواند زمان حقیقی برای تعویض یا تعمیر تجهیزات را به ما اطلاع دهد که عملکرد بسیار مهمی می‌باشد.

www.takbook.com

۷	GISبرای تعیین کردن مکان‌های بهینه برای اجزاء شبکه هوشمند بکار می‌رود پس GIS معنای شایسته‌ای برای تکمیل سرویس‌های طراحی می‌باشد تا جائیکه انتخاب بهینه‌ترین مکان‌ها از طریق سیستم GIS به‌راحتی امکان‌پذیر می‌باشد.
۸	در سیستم توزیع GIS می‌تواند، بخش‌های مختلف شبکه را کنترل کند این فن‌آوری می‌تواند راهکارهایی را برای به دست‌آوردن و یا برگرداندن شبکه به حالت نرمال پس از هر اتفاق غیرمعمولی ارائه کند. با شبکه GIS اپراتورها قادر خواهند بود به تجزیه‌وتحلیل مکانی برای تعیین میزان و درصد خطای قابل ایجاد در شبکه بپردازند.
۹	الگوریتم‌های شبکه هوشمند با هماهنگی GIS توانایی کاهش بار را در محل مشترکین دارند که این کار توسط پیکربندی مجدد شبکه برای آزادسازی فضای شبکه و تغذیه بار یا توسط سوئیچینگ‌های کاملاً منحصربه‌فرد انجام خواهدشد.

SCADA[۱۷] –۴–۶–۳

تکنولوژی‌ای که امکان جمع آوری اطلاعات از تاسیسات دور دست و ارسال دستورالعمل‌های کنترلی به آن‌ها را فراهم می‌کند، اسکادا نامیده می‌شود. اسکادا، کاربر را

[۱۷] Supervisory Control And Data Acquisition

www.takbook.com

از اقامت در محل تاسیسات یا بازدید از آن‌ها در هنگام کار نرمال بی‌نیاز می‌کند. هنگامی که ابعاد تاسیسات گسترش می‌یابد و صدها یا هزاران کیلومتر بین یک نقطه تا نقطه‌ی دیگر فاصله می‌افتد با کاهش هزینه بازدیدهای متناوب، مزایای اسکادا خود را نشان می‌دهد. ارزش این مزایا وقتی بیشتر خواهد بود که فاصله تاسیسات خیلی زیاد و یا دسترسی به آنها مشکل می‌شود، مانند مکان‌هایی که دسترسی به آنها با هلیکوپتر صورت می‌گیرد.

شکل(۳-۳۲): سیستم SCADA

۳-۶-۴-۱- سیر تکاملی SCADA

در دهه ۵۰ میلادی، مینی کامپیوترهای ابتدایی توسعه یافتند و برای اولین بار برای اهداف صنعتی مورد استفاده قرار گرفتند. دهه ۶۰ این کامپیوترها در ابعاد متوسط به کار

www.takbook.com

گرفته شدند و برای نظارت و کنترل از راه دور مورد استفاده قرار گرفتند. مفهوم SCADAبرای اولین بار در اوایل دهه ۷۰ مطرح شد، در این دهه پیشرفت میکروپروسسورها و کنترلرهای منطقی برنامه پذیر(PLCs)، بیش از پیش توانایی نظارت و کنترل اتوماتیک فرآیندها را به شرکت های فعال در این زمینه می داد.

در دهه‌های ۸۰ و ۹۰ نیز سیستم های SCADA با استفاده از تکنولوژی LAN تکامل یافتند، این تکنولوژی به سیستم های SCADA قابلیت اتصال به دیگر سیستم ها را داد. در اواخر دهه ۹۰ نیز دیتابیس SQL به پایگاه داده استاندارد IT مبدل شد اما برای سیستم های SCADA مورد استفاده قرار نگرفت. نتیجه این شکاف میان زمینه های کنترل و IT تضعیف جایگاه SCADA در میان راهکارهای کنترلی در آن دوره بود.

سیستم های SCADA مدرن اجازه‌ی دسترسی به داده‌های Real-Time از هر نقطه جهان را به کاربر می‌دهند. این ویژگی به دولت‌ها، سازمان‌ها و شرکت‌ها اجازه می‌دهد تا مبتنی بر این داده‌ها، به منظور ارتقاء بازده پروژه‌های خود تصمیم گیری کنند. بدون سیستم SCADA این امر اگر غیر ممکن تلقی نشود، گردآوری اطلاعات کافی به منظور تصمیم گیری آگاهانه به طور پیوسته، بسیار دشوار به نظر می رسد.

تعریف استانداردهای مدرن برای IT و پیشرفت زمینه‌هایی مانند SQL و برنامه‌های مبتنی بر وب و به کارگیری آن‌ها در نرم افزارهای SCADA به طور قابل توجهی بازده،

www.takbook.com

امنیت، بهره‌وری و قابلیت اعتماد سیستم‌های SCADA را بالا برد. نرم افزارهای SCADA که از قدرت پایگاه داده SQL بهره می‌برد در برابر نمونه قدیمی خود (نسخه به کار گرفته شده در دهه ۹۰) مزیت‌های بسیاری دارد. یکی از مزیت‌های بزرگ تلفیق با زمینه های IT، قابلیت تجمیع با سیستم های MES و ERP موجود است، که به داده‌ها قابلیت جریان یکپارچه در تمام سیستم را می‌دهد.

شکل(۳-۳۳): کاربردهای SCADA

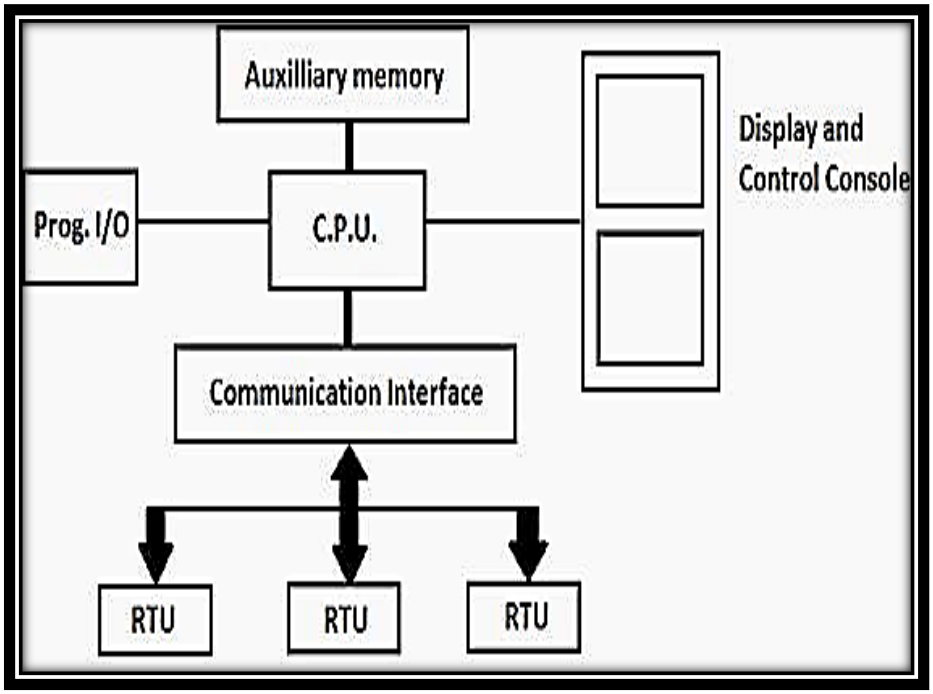
www.takbook.com

یک سیستم SCADA متداول از اجزای زیر تشکیل می شود:

- ✓ **رابط انسان و ماشین (Human Machine Interface):** این بخش رابطی است که اطلاعات پردازش شده را برای اپراتور به نمایش در می‌آورد و به این واسطه اپراتور بر پروژه نظارت دارد و آن‌را کنترل خواهدکرد.
- ✓ **سیستم نظارت (Supervisory System):** این بخش وظیفه گردآوری داده‌ها از فرآیند و ارسال دستورات (یا کنترل) به فرآیند را دارد.
- ✓ **پایانه راه‌دور (Remote Terminal Units):** این بخش از سیستم اسکادا با اتصال به سنسورها در فرآیند، سیگنال‌های دریافتی از حسگر را به داده‌های دیجیتال تبدیل کرده و آن‌ها را به بخش نظارت ارسال می‌کند.
- ✓ **کنترل کننده منطقی برنامه پذیر (PLCs):** این بخش متنوع تر، انعطاف پذیرتر از بخش RTU بوده و به منظور انتخاب آن محدودیت‌های اقتصادی بیشتری وجود دارد و متناسب با نیاز پروژه انتخاب می شوند.
- ✓ **ساختار ارتباطی (Communication Infrastructure):** ارتباط با بخش نظارت و RTU ها را فراهم می‌کند. به طور کلی سیستم‌های SCADA با هدف ذخیره داده و فراهم کردن زمینه کنترل پروژه در سطح نظارتی به کار گرفته می‌شوند، HMI ها معمولا توسط کاربران محلی مورد استفاده قرار می‌گیرد و به

www.takbook.com

مهندسان اجازه اداره کردن فرآیند را به صورت دستی، به منظور بالا بردن کارایی سیستم SCADA می‌دهد.



شکل(۳-۳۴): اجزای تشکیل‌دهنده SCADA

گردآوری و ذخیره داده، نخست در بخش RTU یا PLC آغاز می‌شود، این بخش با پارامترهای دریافتی توسط سنسورها که به بخش نظارت SCADA ارسال می شود، سر و کار دارد. اطلاعات پس از این به صورتی کامپایل و قالب بندی می‌شوند که اپراتور اتاق کنترل با استفاده از HMI به وسیله‌ی این داده‌ها قادر به تصمیم‌گیری‌هایی متناسب باشد که توسط کنترلرها تنظیم و پیاده سازی می‌شوند. سیستم‌های SCADA علاوه بر این، به

www.takbook.com

اپراتورها اجازه‌ی تغییر تنظیمات مورد نیاز در بخش RTU و یا ایستگاه مرکزی را می‌دهد. شرایط اخطار مانند دمای بالا و غیره قابل گزارش گیری و نمایش هستند. کنترلرهای برنامه پذیر اتوماسیون (PACs) یک کنترلر کاپکت است که ویژگی‌ها و ظرفیت‌های یک سیستم کنترل مبتنی بر PC (PC-Based) همراه یک PLC را به صورت یکپارچه داراست. PAC ها در سیستم های SCADA می‌توانند جایگزین مناسبی برای بخش RTU یا PLC باشند.

۳-۶-۵- سیستم‌های مخابراتی در شبکه‌های هوشمند

یکی از عوامل مهم در استقرار شبکه هوشمند، دسترسی به‌موقع به داده‌ها و اطلاعات از طریق شبکه‌های ارتباطی مخابراتی مقیاس‌پذیر و فراگیر است. زیرساخت ارتباطی شبکه برق هوشمند یک شبکه چندلایه است، که به شبکه برق شبیه می‌باشد و با بهره‌گیری از معماری طبقه‌ای برای تأمین انرژی از تولیدکننده به محل‌های مصرف‌کننده مشابهت دارد. شبکه‌های دسترسی، اجزای موجود در سطح مشتری را به یکدیگر متصل نموده و هدف اصلی از این شبکه‌ها دست‌یابی به انرژی تبدیل‌شده در سمت مصرف‌کننده است. شبکه‌های توزیع، اطلاعات را از دستگاه‌های اندازه‌گیری هوشمند جمع‌آوری نموده و به نقطه تجمع انتقال می‌دهند. اطلاعات برگشتی از نقاط تجمع به شبکه‌های برق از طریق شبکه‌های

www.takbook.com

گسترده (WAN[۱۸]) انجام می‌پذیرد. شبکه مخابراتی چندلایه در شبکه‌های برق هوشمند شامل شبکه مخابراتی دسترسی، توزیع، گسترده و میدان می‌باشد[۷].

شکل(۳-۳۵): سیستم مخابرات در شبکه هوشمند

- ✓ **شبکه‌های دسترسی:** شبکه‌هایی هستند که از اتصال اجزاء موجود در محل مشتری حاصل‌شده و به سه دسته طبقه‌بندی می‌شوند: شبکه‌های خانگی

[۱۸] Wide Area Networks

www.takbook.com

(HANs[۱۹])، شبکه‌های صنعت (IANs[۲۰]) و شبکه‌های تجاری- اداری. از ویژگی این سامانه‌ها می‌توان به مواردی همچون کوچک بودن منطقه تحت پوشش، وسعت محدود و نیاز به مصرف برق کم و سهولت پیکربندی لوازم و دستگاه‌های متعدد و تعامل برای ارائه طیف گسترده‌ای از قابلیت‌هایی مانند مدیریت کل انرژی اشاره نمود[۷].

- ✓ **شبکه‌های توزیع:** شبکه‌های توزیع از دو نوع مختلف شبکه‌های همسایه (NANs[۲۱]) و شبکه‌های میدانی (FANs[۲۲]) تشکیل‌شده‌اند. به‌طورمعمول NAN ها شامل شبکه‌ای از نقاط دسترسی واقع در سراسر سیستم توزیع برق هستند و یک شبکه در میان کنتورهای هوشمند ایجاد کرده و آن‌ها را به نقاط دسترسی محلی متصل می‌کند. شبکه‌های NAN دارای قابلیت ارتباط دوسویه برای خواندن کنتورها، پاسخ به تقاضا، قیمت‌گذاری پویا و قطع از راه دور هستند[۷,۸].

- ✓ **شبکه‌های میدان (FANs):** اتصال بین پست‌های توزیع برق را فراهم می‌آورند، و این درحالی‌که است که شبکه‌های FAN و NAN برای اتصال دستگاه‌های

[۱۹] Home Area Networks

[۲۰] Industry Area Network

[۲۱] Neighbor Area Networks

[۲۲] Field Area Networks

www.takbook.com

میدان، تولید پراکنده و ذخیره‌سازهای برق، و تعمیرکار سیار به کار می‌روند. شبکه‌های توزیع ارتباطی نیز شامل نقاط دسترسی توزیع (DAPs[۲۳]) هستند که وظیفه جمع‌آوری اطلاعات از شبکه‌های NAN و FAN به مراکز کنترل برق و مرکز عملیات از طریق سیستم برگشت اطلاعات شبکه‌های گسترده (WAN) را عهده‌دار هستند. سیستم برگشت اطلاعات از نقاط تجمع به سمت شرکت‌های برق بر عهده WAN است[۷,۸].

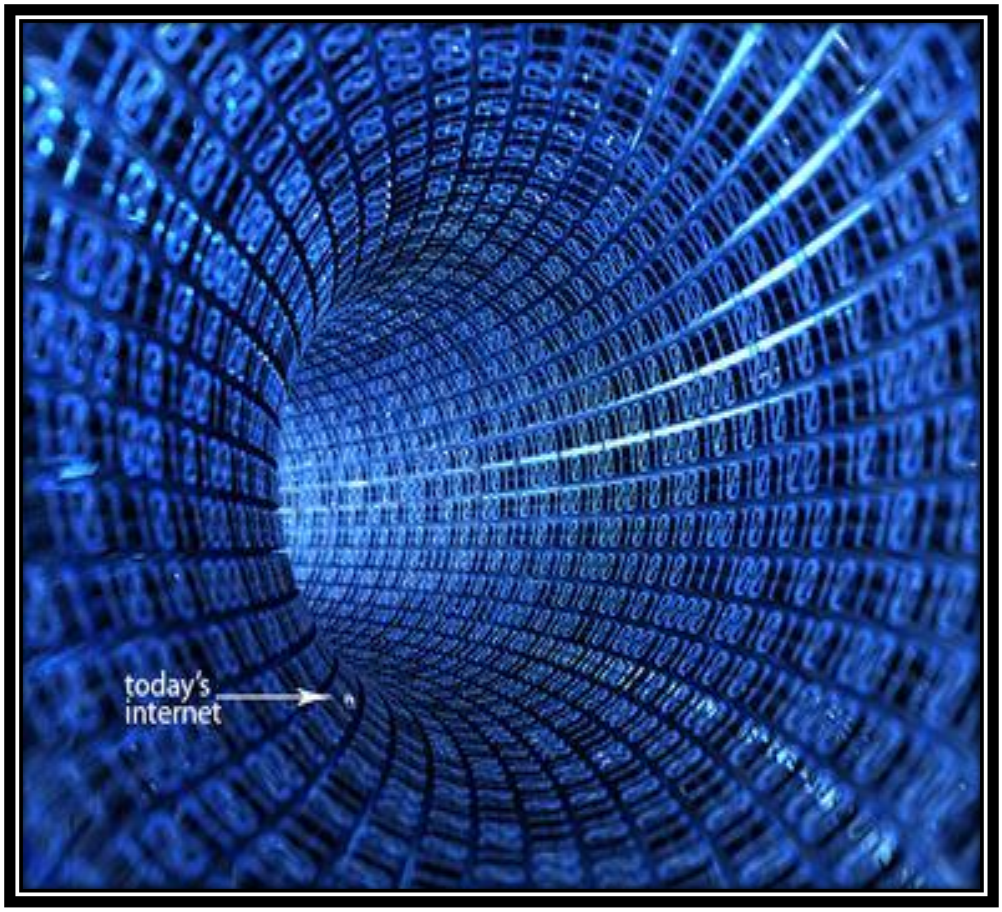
- ✓ **شبکه‌های گسترده:** شبکه‌های گسترده به‌طورکلی از دو شبکه به‌هم‌پیوسته تشکیل‌شده‌اند: شبکه‌های هسته‌ای و اطلاعات برگشتی. شبکه‌های هسته‌ای با نرخ بالای داده و با استفاده از فیبر نوری، حداقل زمان تأخیر را بین دفاتر مرکزی و پست‌های برق داشته و این دو را به هم متصل می‌کند. شبکه‌های اطلاعات برگشتی، عمدتاً از پهنای باند اتصال به شبکه‌های NAN و FAN برای جمع‌آوری داده از DAP ها استفاده می‌کنند. آن‌ها هم‌چنین می‌توانند داده‌ها را از کاربرهای متعدد ازجمله سیستم اتوماسیون و کنترل توزیع، دستگاه‌های حس‌گر و ناظر، و سیستم‌های اسکادا که در سیستم‌های توزیع برق یا شبکه‌های انتقال برق واقع‌شده‌اند، جمع‌آوری کنند. شبکه‌های گسترده اطلاعات برگشتی، باید قابلیت

[۲۳] Distribution Area Networks

www.takbook.com

پشتیبانی ظرفیت بالای اتصال را داشته باشند و این در حالی است که به‌طور کامل به چشم‌انداز شبکه هوشمند که شامل ویژگی‌های اصلی همچون خود بهبودی و مشارکت مصرف‌کننده است، دست می‌یابند[۷,۸].

۳-۶-۵-۱- نقش مخابرات در توسعه شبکه‌های هوشمند



شکل(۳-۳۶): تبادل اطلاعات سیستم‌های مخابراتی

www.takbook.com

۳-۶-۵-۱-۱- تولید متمرکز برق

کنترل و مدیریت عملکرد نیروگاه‌ها در سطح منطقه‌ای و ملی به وجود زیرساخت مخابراتی برای تبادل اطلاعات و جابجایی داده‌ها نیاز دارد. عملکرد مطمئن و مناسب تولید درگرو وجود اطلاعات موردنظر با قابلیت اعتماد و اطمینان موردنیاز در مراکز کنترل و مدیریت شبکه‌های قدرت است[۸].

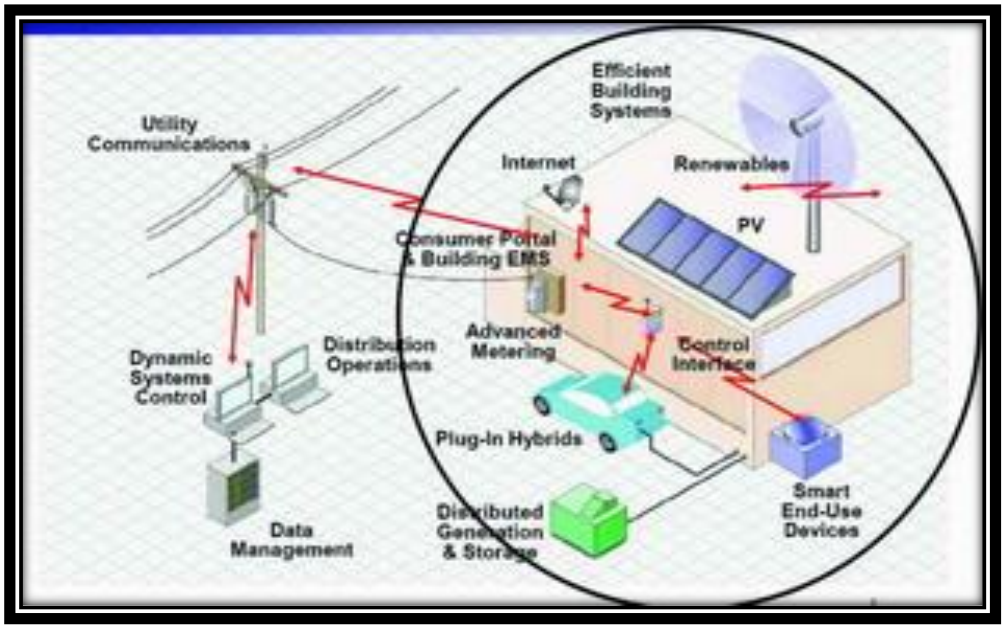
۳-۶-۵-۱-۲- انتقال و توزیع انرژی برق

برنامه‌ریزی و توسعه شبکه برق مستلزم دسترسی به اطلاعات حیاتی شبکه تولید، انتقال، توزیع و مصرف است. این اطلاعات نقش مهمی در برنامه‌ریزی صحیح، تشخیص گلوگاه‌ها، حفاظت از شبکه، پیش‌بینی و انجام دادن اقدامات پیشگیرانه و اصلاحی برای جلوگیری از خاموشی‌های سراسری در شبکه برق ایفا می‌کنند. شبکه‌های مخابراتی در صنعت برق، زیرساخت لازم برای جمع‌آوری و تحلیل این اطلاعات را فراهم می‌کنند. باید فرمان‌های لازم کنترلی با تأخیری بسیار اندک و به صورتی قابل‌اعتماد، میان پستهای برق مرتبط جابجا شود و این امر مستلزم زمینه قابل‌اعتماد مخابرات میان این دو است[۸].

www.takbook.com

۳-۶-۵-۱-۳- بازار برق

شبکه مخابراتی صنعت برق باید امکان خریدوفروش و جابجایی برق را به‌منظور شکل‌گیری انواع معاملات برق به‌عنوان یک کالا در سطوح مختلف ولتاژ و برای کلیه خریداران و فروشندگان خصوصی و دولتی برق در بازارهای مختلف برق و بورس برق تأمین کند. بازار مجازی برق درواقع مفهومی مشابه مدل اینترنتی است که در آن انرژی از هر منبعی صرف‌نظر از شیوه تولید، خواه ژنراتورهای سنتی یا منابع تجدیدپذیر انرژی باشند، عرضه و در هر نقطه دلخواهی در شبکه به مصرف می‌رسد. بدیهی است تحقق چنین آرمانی بدون بهره‌گیری از فناوری‌های پیشرفته اطلاعات و ارتباطات (ICT) میسر نمی‌گردد.



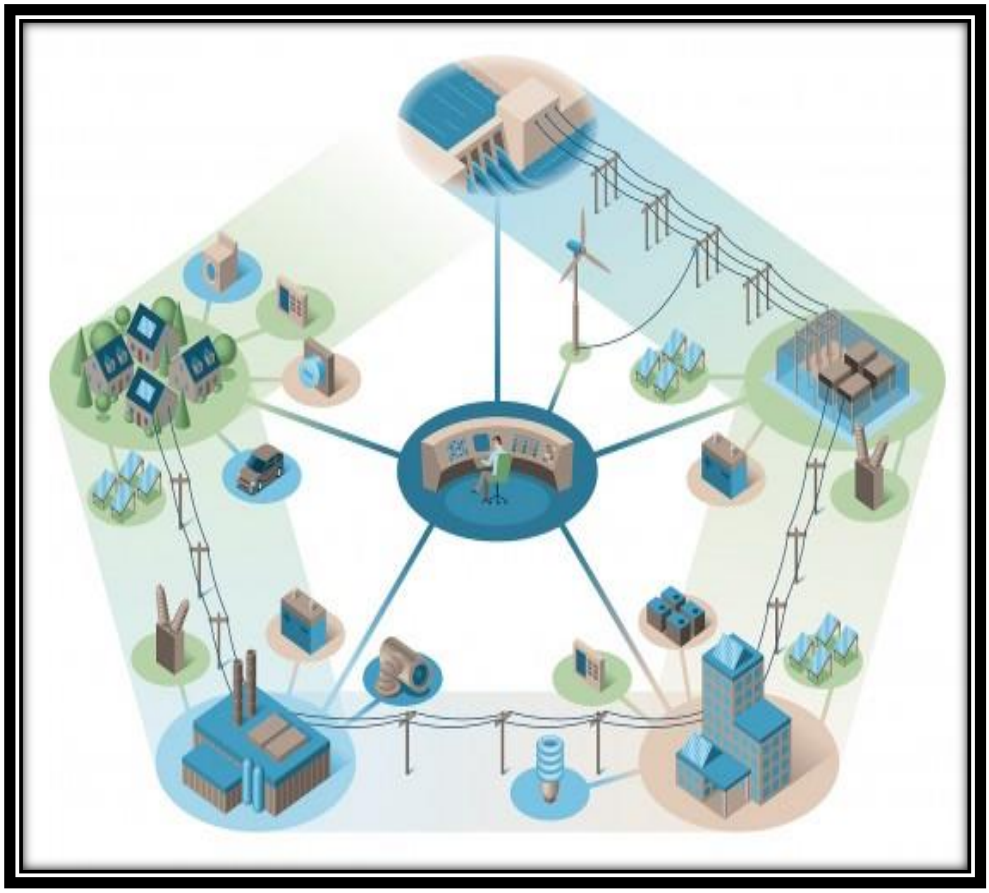
شکل(۳-۳۷): نمایی از یک شبکه توزیع نیروی هوشمند آینده

www.takbook.com

نصب و راه‌اندازی حس‌گرهای هوشمند بر روی تمام عناصر کلیدی شبکه توزیع و برقراری شبکه ارتباط دوسویه، ادغام و هماهنگ‌سازی سامانه AMI با سایر نرم‌افزارهای کاربردی مرکز (Office Back-end)، درگاه"Portal" خدمات‌رسانی مشترکین (Office Front-end) و سامانه‌ها Enterprise Resource Planning و خدمات صوتی به مشترکین، نصب سیستم‌های نرم‌افزاری تشخیص خرابی بلادرنگ، تنظیم بار، قطع و وصل جریان برق به‌صورت انبوه درعین‌حال انتخابی، همسویی و ادغام با شبکه‌های کنترل بلادرنگ توزیع و فوق توزیع مانند SCADA و تبادل اطلاعات در راستای تعامل کامل در شبکه ازجمله فعالیت‌های اصلی جهت برپایی شبکه کامل توزیع هوشمند نیروی برق می‌باشد.

به‌کارگیری و خرید انرژی از تولیدکنندگان خرد نوعاً مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر و منابع ذخیره فراگیر (مانند انرژی ذخیره‌شده در خودروهای الکتریکی در ساعات اوج مصرف) و نیروگاه‌های ترکیبی نیرو و گرما Combined Heat and Power و برقراری ارتباط دوسویه داده‌ای و انرژی، با این تولیدکنندگان از مصادیق دیگر شبکه هوشمند خواهد بود[۸].

www.takbook.com



شکل(۳-۳۸): سیستم‌های هوشمند و کنترل آن

۳-۶-۵-۱-۴- تولید پراکنده برق

کنترل تولید و توزیع انرژی برای مراکز و منابع متعدد تولید و مصرف باید به‌خوبی انجام پذیرد و این امر مستلزم اطلاعات کنترلی و مدیریتی برای تعداد نقاط زیادی در شبکه و ایجاد هماهنگی‌های لازم در این خصوص است که تنها در بستر مخابراتی میسر می‌شود[۸].

www.takbook.com

۳-۶-۵-۱-۵- تعامل با مشترکان

امور متعددی مانند بررسی و ثبت مصرف انرژی مشترکان، گزارش خرابی‌ها، پاسخگویی به نیازمندی‌های مشترکان و مانند آن همگی بر زمینه‌های مخابراتی برای تبادل اطلاعات متکی است[۸].

www.takbook.com

فصل چهارم

مدیریت خاموشی در شبکه‌های سنتی

۴–۱– مقدمه

همواره یکی از بزرگ‌ترین معضلات شرکت‌های برق، وقوع خاموشی در شبکه‌ها بوده‌است. شکستگی یا ترک‌خوردگی مقره‌ها، شکستگی پایه، نشست کراس آرام، خرابی تجهیزات ایمنی مثل کات‌اوت‌ها، برق‌گیرها و بسیاری موارد دیگر، دلایلی برای ایجاد خاموشی در شبکه‌ها هستند و علاوه بر تمام موارد فوق انجام مانورهای دوره‌ای جهت بررسی وضعیت خطوط و نیز ایجاد تغییرات در شبکه، برحسب موقعیت و شرایط خاص، خاموشی‌های زیادی به خود اختصاص می‌دهد. یکی از بزرگ‌ترین مشکلات شبکه‌های بر

www.takbook.com

ایجاد خاموشی اعم از خواسته یا ناخواسته در شبکه می‌باشد. ضربه به پیکره دولت و اقتصاد ملی، نارضایتی مشترکان صنعتی،خانگ و کشاورزی از اعمال خاموشی در شبکه و آسیب تجهیزات فشارقوی در هنگام قطع و وصل مجدد ازجمله پی آمدهای خاموشی است. امروزه مهم‌ترین هدف شرکت‌های تولید برق تأمین انرژی الکتریکی مصرف‌کنندگان با هزینه و سطح قابلیت اطمینان بهینه می‌باشد، بنابراین وقفه در تولید صرف‌نظر از عامل ایجاد آن موجب کاهش سطح اطمینان سیستم می‌گردد. خاموشی برق می‌تواند هزینه‌های اقتصادی فراوانی درپی داشته باشد[۱۱].

۴-۲- خاموشی

خاموشی پدیده ناگواری است و گاهی زیان‌های جبران‌ناپذیری بر جامعه تحمیل می‌کند. خاموشی دارای عواقب گوناگون اجتماعی، اقتصادی و حتی روانی است. گذشته از جنبه‌های مختلف مربوط به اثرات آن، زیان‌های هنگفت اقتصادی خود به‌تنهایی انگیزه کافی برای مطالعه برآورد هزینه خاموشی را ایجاد می‌کند. تأثیر خاموشی بر تمامی بخش‌های اقتصادی یکسان نیست. در بخش‌های تولیدی تأثیر مزبور بیشتر به‌صورت زیان ناشی از فقدان تولید و سایر خسارت‌های فیزیکی است. درحالی‌که در بخش‌های غیر تولیدی (مانند خانگی) بخش عمده‌ای از زیان‌های ناملموس و غیرقابل‌اندازه‌گیری می‌باشد. ازجمله این زیان‌ها

www.takbook.com

می‌توان به برهم خوردن نظم زندگی، تأثیرات روانی خاموشی و کاهش مطلوبیت و رفاه مصرف‌کننده اشاره کرد.

در یک طبقه‌بندی خاموشی را به دو نوع: خاموشی ناشی از کمبود ظرفیت و خاموشی ناشی از کمبود انرژی تقسیم می‌کنند. خاموشی ناشی از کمبود ظرفیت، هزینه‌ای به‌مراتب بالاتر از خاموشی ناشی از کمبود انرژی خواهد داشت. زیرا خاموشی ناشی از کمبود ظرفیت معمولاً بدون اطلاع قبلی و مقطعی خواهد بود. در خاموشی ناشی از کمبود انرژی، ازآنجاکه صنعت برق می‌تواند برنامه‌ریزی خاموشی را در دستور کار قرار دهد،

معمولاً خاموشی با اعلان قبلی و با تکرار کمتری همراه است. استراتژی مدیریت خاموشی نیز می‌تواند روی هزینه خاموشی تأثیر عمده داشته باشد. مثلاً اگر خاموشی به دلیل کمبود ظرفیت باشد و مدیریت خاموشی از طریق محدود کردن تقاضای پیک صورت گیرد (از طریق سازوکار قیمتی یا جیره‌ای)، هزینه کمتر از حالتی خواهد بود که مدیریت خاموشی از طریق کاهش ذخایر نهایی عملیاتی اعمال می‌گردد. در حالت دوم، خاموشی به‌طور برابر بین مصرف‌کنندگان توزیع می‌گردد، درحالی‌که مصرف‌کنندگان مطلوبیت‌های متفاوتی دارند[۱۱].

www.takbook.com

شکل(۴-۱): خسارت‌های ناشی از حوادث

درگذشته و در شرایط فعلی در بعضی از شرکت‌های توزیع از روش‌های فنی برای کاهش میزان خاموشی‌ها استفاده‌شده است که این روش‌ها گرچه تا حدودی مؤثر بوده است ولی به لحاظ پیچیدگی فن‌آوری‌های جدید و توسعه روزافزون شبکه‌های برق دیگر کارساز نیست و لذا لازم است که شرکت‌ها با شناخت کامل از عوامل تأثیرگذار بر خاموشی‌ها و

www.takbook.com

تجزیه‌وتحلیل علمی آن‌ها، میزان خاموشی‌ها را تا حد ممکن کاهش دهند. شبکه‌های توزیع از مهم‌ترین بخش‌های سیستم قدرت هستند که انرژی الکتریکی را در بین مصرف‌کنندگان توزیع می‌کنند. مهم‌ترین وظیفه این بخش تأمین برق مطمئن و پایدار است که بایستی با حداقل خاموشی و با ولتاژ استاندارد به مصرف‌کنندگان برسد.

نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که خاموشی‌های حوزه توزیع یکی از عمده‌ترین دلایل خاموشی‌های برق مشتریان هستند. خاموشی‌های حوزه توزیع بر دودسته‌اند: خاموشی‌های برنامه‌ریزی نشده (اتفاقی) و خاموشی‌های برنامه‌ریزی‌شده. خاموشی‌های اتفاقی به خاموشی‌هایی اطلاق می‌شود که در اثر اتفاقات فنی و غیرفنی در شبکه‌های توزیع برق رخ می‌دهد و بدون اراده شرکت و کارکنان قطع می‌گردد.

خاموشی‌های برنامه‌ریزی‌شده به خاموشی‌هایی اطلاق می‌گردد که طبق برنامه‌های تدوین‌شده و با هماهنگی قبلی رخ می‌دهد که این نوع خاموشی‌ها یا برای رفع فوری اشکال پیش‌آمده در شبکه و یا جهت اجرای تعمیرات پیشگیرانه اعمال می‌شود. عوامل فنی و غیر فنی متعددی بر کاهش خاموشی‌های اتفاقی تأثیرگذار است و شناسایی این عوامل منتهی به ارائه راهکارهایی خواهد شد که اجرای آن‌ها کاهش میزان خاموشی‌ها، رضایتمندی مشتریان و تداوم تأمین و افزایش سطح رفاه عمومی را به دنبال خواهد داشت.

www.takbook.com

نگهداری و تعمیرات موجب افزایش عمر مفید شبکه‌های برق، کاهش خاموشی‌ها و انرژی توزیع نشده و همچنین کاهش هزینه‌ها شده و کارایی و پایداری شبکه‌ها را در جهت تأمین برق مطمئن افزایش می‌دهد. نگهداری و تعمیرات به دو گروه تقسیم می‌شوند که عبارت‌اند از تعمیرات و نگهداری پیشگیرانه و گروه دیگر اصلاحی. یکی از ویژگی‌های تجهیزات شبکه برق خرابی و ازکارافتادگی ناگهانی و برنامه‌ریزی نشده آن‌هاست. روش‌های نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه به‌منظور کاهش نیاز به نگهداری و تعمیرات اصلاحی انجام می‌شود. در این روش عیوب و اشکالات شبکه‌های برق قبل از، ازکارافتادگی، اصلاح و از خاموشی‌های برق جلوگیری می‌شود. در تعمیرات پیشگیرانه، مهم‌ترین مسئله بازدید و بررسی شبکه‌های توزیع و کشف تجهیزات معیوب است که بلافاصله بایستی نسبت به اصلاح یا تعویض تجهیزات معیوب اقدام نمود. نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه مهم‌ترین و باصرفه‌ترین نوع نگهداری و تعمیرات است[۱۲].

۴-۳- خاموشی در ایران

ایجاد خاموشی براثر حوادث و اتفاقات طبیعی و درنتیجه کاهش سطح قابلیت اطمینان شبکه یکی از بزرگ‌ترین مشکلات شبکه‌های هوشمند برق بشمار می‌آید. در کشور ما، به

www.takbook.com

دلیل پراکندگی محل‌های تولید و مصرف انرژی، خطوط نیرو از تمامی مناطق آب و هوایی و جغرافیایی کشور عبور کرده‌اند عواملی مانند بهمن، لغزش زمین، طوفان و غیره، گاهی سبب واژگون شدن و خرابی یک یا چند دکل متوالی از خطوط انتقال نیرو می‌شوند.

نارضایتی‌های مشترکان صنعتی، خانگی، کشاورزی و آسیب تجهیزات در هنگام قطع و وصل مجدد ازجمله پیامدهای خاموشی است که منجر به کاهش سطح قابلیت اطمینان سیستم شده و خسارات زیادی به مشترکان و شرکت‌های برق منطقه‌ای وارد می‌نماید. شناسایی مخاطراتی که در هر منطقه وجود دارد و به‌عنوان تهدیدی برای منطقه بشمار می‌رود و شناسایی مناطقی که بیشترین احتمال بروز حوادث و مخاطرات در آنجا است، بسیار حائز اهمیت می‌باشد. زیرا در این صورت می‌توان برای جلوگیری از بروز حوادثی که می‌تواند خسارت‌های بی‌شماری را در برگیرد، برنامه‌ریزی نمود و برنامه‌های واکنش در شرایط اضطراری را از قبل آماده نمود[۲۰].

کشور ایران ازنظر ساختار اقتصادی در ردیف کشورهای درحال توسعه قرار دارد و انتظار می‌رود که برآورد هزینه‌های خاموشی در تمامی بخش‌های اقتصادی در سطحی پایین‌تر از کشورهای توسعه‌یافته قرار گیرد و در حدود سایر کشورهای درحال‌توسعه باشد[۱۲].

www.takbook.com

مصرف کنندگان برق	ایران	کشورهای توسعه یافته	کشورهای در حال توسعه
واحدهای بزرگ صنعتی	۱/۷۸ -۷/۱۵	۰/۲۴ -۲۷	۰/۰۶ -۶
واحدهای تجاری و عمومی	۱/۰۸ -۳/۱۷	۶/۹۵ -۲۶/۶۵	۱
مصرف کنندگان خانگی	۰/۶۶ -۲/۵۶	۱ - ۶	۰/۵ -۱/۸۷

شکل(۴-۲): مقایسه هزینه خاموشی در ایران با سایر کشورها (برای هر Kwh عرضه نشده برحسب دلار)

برای هر ساعت خاموشی	برای هر بار قطع برق	برای هر KWh عرضه نشده	حدود هزینه خاموشی ($)
۶۳/۵۶ -۲۶۱/۳۴	۱۷۳/۸۴ -۹۲۰/۴۰	۱/۷۸ -۷/۱۵	بزرگ صنعتی
۱۰/۳۷	۱۵/۹۲	۰/۹۵ -۲/۷۸	تولیدی شهری
۰/۹ -۱۰/۴۲	۱/۶۳ -۵/۵۳	۱/۰۸ -۳/۱۷	تجاری و عمومی
۰/۳۲ -۰/۹۴	۰/۰۲۹ -۰/۰۵	۰/۶۶ -۲/۵۶	مصرف کننده خانگی

شکل(۴-۳): هزینه خاموشی در ایران (برحسب دلار)

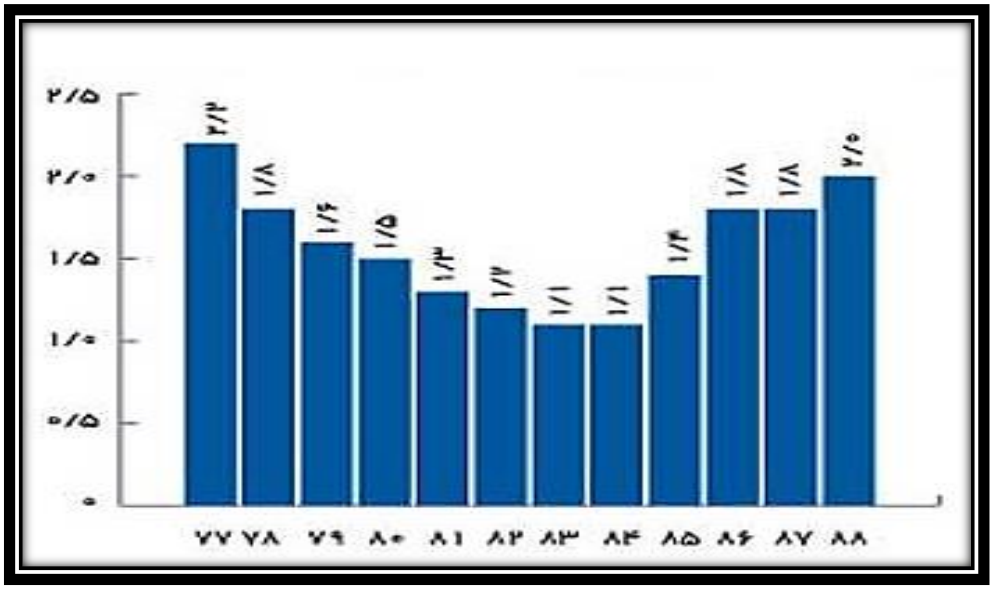
www.takbook.com

۴-۳-۱- وضعیت خاموشی در چند سال گذشته در ایران

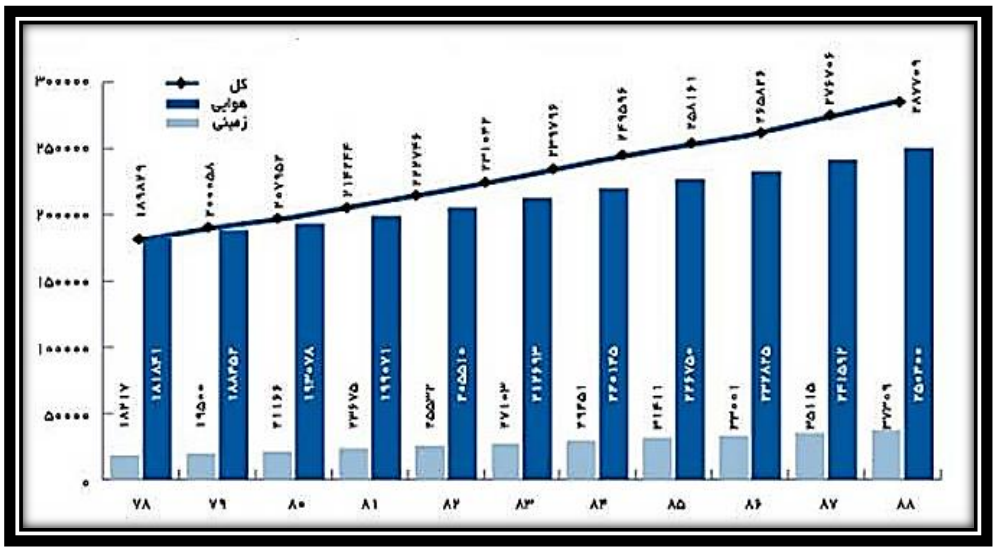
یکی از وظایف اصلی شرکت‌های توزیع برق، تأمین پایداری شبکه در سطح قابل‌قبول و استاندارد می‌باشد. عوامل مختلف سبب بروز خطا در سیستم می‌گردد و خطا ممکن است منجر به قطع برق مشترکین گردد. امروزه تعداد بارهای حساس و نیازمند به قابلیت اطمینان بالا، زیاد شده است. علاوه بر این وابستگی زندگی روزمره به انرژی الکتریکی، سبب شده تا قطعی برق علاوه بر اثرات سوء اقتصادی، اثرات روانی و اجتماعی نیز داشته باشد. بنابراین تعداد قطعی‌ها و مدت‌زمان رفع خاموشی‌ها از شاخص‌های ارزیابی مهم شرکت‌های توزیع برق می‌باشد. عوامل مختلفی نظیر شرایط جوی، فرسودگی تجهیزات و اختلالات فنی سبب بروز خطا در سیستم می‌گردد که این خطا ممکن است منجر به قطع برق مشترکین گردد[۱۶].

همان‌گونه که از شکل (۴-۵) مشخص است، خاموشی غیرقابل‌کنترل است چون در بین سال‌های مختلف به‌جای کنترل و کاهش خاموشی، افزایش خاموشی داشته‌ایم و درنتیجه برای مدیریت خاموشی در صنعت برق باید گامی محکم برداشته شود، حال چه این خاموشی‌ها ناشی از عوامل طبیعی یا از عوامل غیرطبیعی باشد[۱۲].

www.takbook.com



شکل(۴-۴): نمودار روند نرخ خاموشی‌های شبکه توزیع طی سالهای ۱۳۸۸-۱۳۷۷ (برحسب در هزار)



شکل(۴-۵): روند افزایش طول خطوط فشار ضیف شبکه توزیع طی سالهای ۱۳۸۸-۱۳۷۷ (برحسب کیلومتر)

www.takbook.com

مدیریت بحران شامل پنج مرحله می‌باشد که عبارت‌اند از بحران، کاهش شدت بحران، آمادگی برای بحران، مداخله در بحران و بازگشت به شرایط عادی پس از بحران. سه مرحله اول قبل از وقوع بحران و دو مرحله دیگر در زمان وقوع بحران مدیریت می‌شود[۱۶].

شکل(۴-۶): اتفاقات شبکه قدرت

برای مدیریت بحران در هریک از مراحل فوق دسترسی به اطلاعات جامع امری اجتناب‌ناپذیر است. دسترسی به این اطلاعات به‌خصوص در زمان وقوع بحران و تصمیم‌گیری برای اولویت‌های مداخله ازنظر مکان، زمان و نوع مداخله اهمیتی مضاعف خواهد داشت.

www.takbook.com

شکل(۴-۷): اتاق کنترل

ازآنجاکه ایران یکی از ۱۰ کشور حادثه‌خیز در جهان محسوب می‌شود و سوانحی چون زلزله، سیل، تغییرات اقلیمی و ناپایداری‌های جوی و همچنین سوانح انسان‌ساخت و غیره با فراوانی بسیاری در کشور وجود دارند، بطوریکه از ۴۳ نوع سانحه شناخته‌شده در جهان، ۳۲ نوع آن را می‌توان در ایران سراغ گرفت که در استان‌ها به فراخور موقعیت آن‌ها تنوع سوانح متفاوت است. در چنین شرایطی که بشدت از مسائل و مشکلات فیزیکی، اجتماعی و اقتصادی ناشی از حوادث ذکرشده رنج می‌بریم، به نظر می‌رسد سیستمی یکپارچه که بتواند با ارائه اطلاعات صحیح و کاربردی، بر تصمیم‌گیری‌ها در مواقع لزوم اثر بگذارد ضروری است.[۱۶].

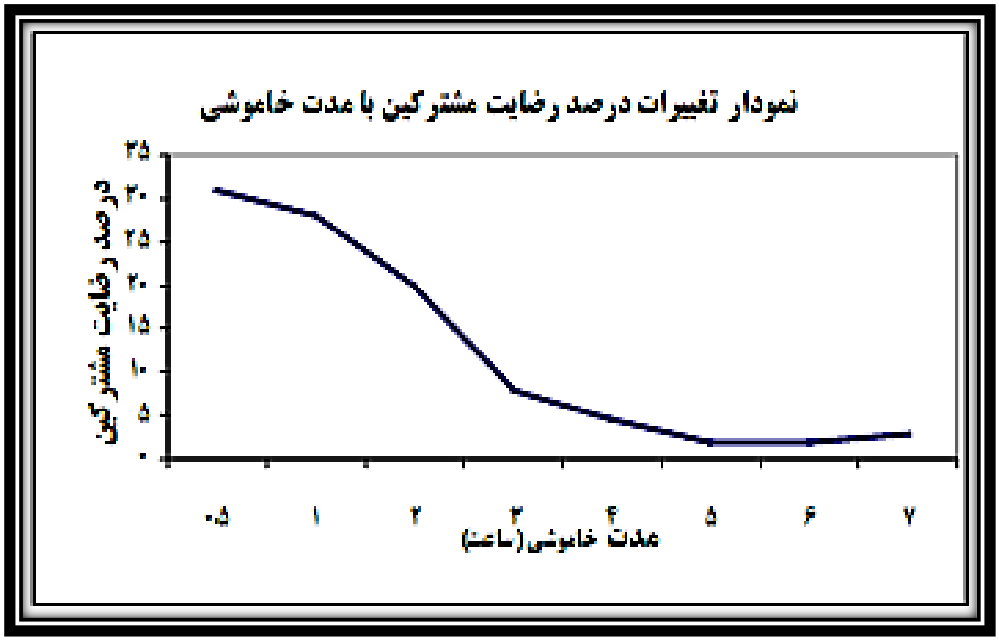
www.takbook.com

در سال ۸۸ میزان خاموشی در استان گیلان ۳,۳۷ دقیقه برای هر مشترک بوده است. این رقم در کل کشور ۲,۸۶ دقیقه برای هر مشترک بوده است. در خاموشی‌های کوتاه‌مدت و موردی مشترکین عمدتاً جهت اطلاع به شرکت یا آگاهی از دلیل و زمان رفع خاموشی تماس می‌گیرند. ولی در خاموشی‌های متعدد و بلندمدت، اعتراضات تلفنی و حضوری، گاهی با خشونت همراه می‌باشد. بنابراین لازم است میزان تحمل مشترکین هر منطقه و عوامل اثرگذار بر آن شناسایی گردد تا بتوان نسبت به برنامه‌ریزی و اعمال مدیریت مناسب در خاموشی‌های بی‌برنامه و با برنامه اقدام کرد[۱۸].

۴-۳-۲- تحلیل نظرسنجی در مورد خاموشی از مشترکین

نتایج حاصل ازنظر سنجی حدود ۱۴۰۰ مشترک شهر رشت نشان می‌دهد تعداد خاموشی‌های قابل‌تحمل ۲ بار و مدت‌زمان خاموشی قابل‌تحمل برای اکثریت ۲ ساعت در فصل تابستان می‌باشد. به عبارتی در صورت افزایش تعداد یا زمان خاموشی‌ها بیش از مقدار اعلام‌شده، نارضایتی افزایش خواهد یافت. در شکل‌های زیر تغییرات درصد رضایتمندی مشترکین با مدت و تعداد خاموشی‌ها را نشان می‌دهد[۱۸].

www.takbook.com



شکل(۴-۸): نمودار تغییرات درصد رضایت مشترکین با مدت خاموشی در فصل تابستان شهرستان رشت

شکل(۴-۹): نمودار تغییرات درصد رضایت مشترکین با تعداد خاموشی در یک روز شهرستان رشت

www.takbook.com

۴-۴- برآورد هزینه خاموشی

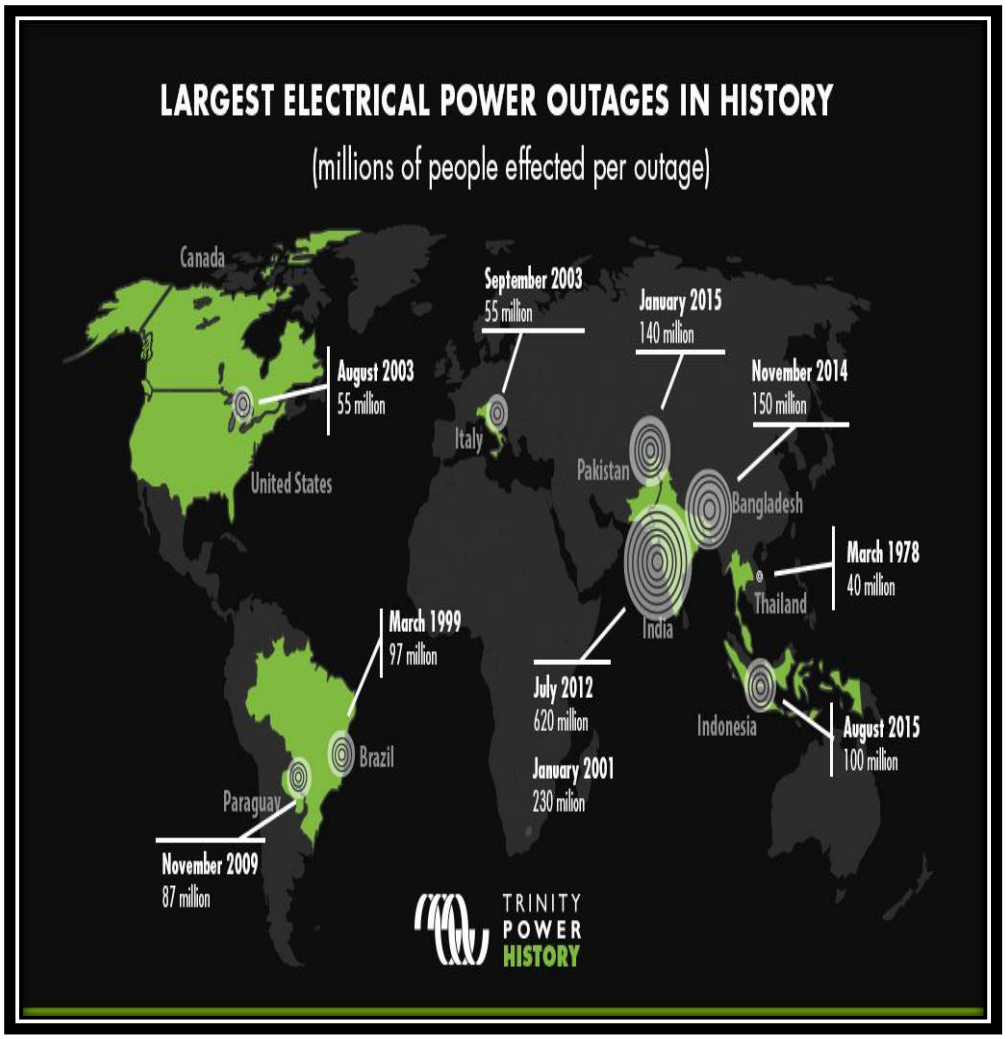
۴-۴-۱- هزینه خاموشی در جهان

خاموشی در کشورهای مختلف، با توجه به ساختار اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی آن‌ها اثرات مختلفی دارد. فقدان برق در کشورهای پیشرفته، با توجه به وابستگی زیاد آن‌ها به مصرف برق، زیان‌هایی بیشتر از دیگر کشورها به بار خواهد آورد. این کشورها دارای اتوماسیون پیشرفته هستند و خاموشی آن‌ها اغلب از کمبود دیماند و قابلیت اطمینان سیستم ناشی می‌شود. مشکل کمبود برق در بسیاری از کشورهای درحال‌توسعه نیز به چشم می‌خورد مشکل مزبور از محدودیت‌های این کشورها برای گسترش ظرفیت تولید برق نشات می‌گیرد.

از عمده‌ترین محدودیت‌ها در این گروه از کشورها، محدودیت سرمایه و انرژی موردنیاز برای تأمین سوخت نیروگاه‌ها می‌باشد. این وضعیت متأسفانه با عملکرد نامناسب نیروگاه‌های موجود، عملیات ضعیف تعمیر و نگهداری پیشگیرانه، کمبود لوازم‌یدکی، مشکلات مربوط به عرضه سوخت و نیروی انسانی تشدید می‌گردد. وضعیت مزبور باعث شده که این کشورها با خاموشی قابل‌توجهی مواجه گردند. زیان‌های خاموشی به‌صورت هزینه‌های فرصت عوامل تولید بیکاری، هزینه‌های ضایعات، هزینه‌های راه‌اندازی مجدد تولید و غیره، بوده است. به‌این‌ترتیب با از دست رفتن بخشی از تولید جامعه در صنعت و

www.takbook.com

خدمات و همچنین فقدان خدمات ناشی از الکتریسیته در ساعات قطع برق برای خانوارها، رفاه جامعه کاهش خواهد یافت. درزمینه تخمین هزینه خاموشی، دانشگاه‌های مختلف و مؤسسات تحقیقاتی سراسر دنیا، بررسی‌هایی بر روی مناطق مختلف انجام داده‌اند[۱۲].



شکل(۴-۱۰): بزرگ‌ترین خاموشی‌های رخ‌داده شده در تاریخ

www.takbook.com

روال کار در اکثر این تحقیقات به این صورت است که ابتدا روش‌های برآورد هزینه متناسب با نوع مصرف‌کننده و خصوصیات منطقه بررسی می‌شود و سپس پرسش‌نامه‌هایی بر مبنای اطلاعات موردنیاز روش اتخاذشده تهیه و با جمع‌آوری نمونه از منطقه موردبررسی، هزینه خاموشی محاسبه می‌گردد. در بررسی این نتایج، اختلافات زیادی در تخمین هزینه خاموشی در مناطق مختلف مشاهده می‌شود. این اختلافات عمدتاً ناشی از اختلاف خصوصیت خاموشی موردبررسی (مانند زمان وقوع خاموشی، مدت خاموشی، تکرار خاموشی، نوع خاموشی به‌صورت اعلان‌شده یا بدون آگاهی و غیره)، روش برآورد هزینه خاموشی، استراتژی مدیریت خاموشی، مدیریت بار و مصرف برق و تفاوت در ساختار اجتماعی و اقتصادی می‌باشد. از طرفی دقت محاسبات نیز به دلیل محدودیت دقت داده‌های آماری (تعداد نمونه‌ها و کیفیت نمونه‌ها شامل نوع سؤالات پرسشنامه‌ها و روش‌های مختلف نمونه‌گیری) و وابستگی محاسبات به مفاهیم ذهنی (نداشتن اتفاق‌نظر روی بکار گیری تئوری) محدود می‌گردد.

برای مقایسه اجمالی این تحقیقات با یکدیگر، هزینه خاموشی چندین کشور، برای یک نوع خاموشی (به‌طور پیوسته)، به‌طور میانگین ساعت‌ها (وجود تفاوت هزینه برای مدت‌زمان‌های مختلف قطع برق) با طبقه‌بندی نوع مصرف‌کننده در شکل (۳-۱۱) آورده شده است[۱۲].

www.takbook.com

بخش مصرف کننده		خانگی $/KWh	تجاری	کشاورزی	صنعتی	عمومی	ترکیب
هند	هاریانا	-------	-----	۰/۰۲۷-۰/۰۸	۰/۰۷-۰/۱۵	-----	-------
	کارانتاکا	-------	-----	۰/۰۳۵ -۰/۰۴۱	۰/۰۷۸-۰/۵۲	-----	-------
تایلند		-------	-----	----------	---------	-----	۰/۸۸ -۱/۴
استرالیا		-------	-----	----------	---------	-----	۵ -۵۶
نیوزلند		۴/۵۸ ٪۳۵	۵۷/۱۳۴ ٪۲۲	۸۹/۲۱۳ ٪۴	۲۶/۵۷ ٪۴۰	-----	۳۳/۴۸ ٪۱۰۰

شکل(۴-۱۱): هزینه خاموشی در بعضی کشورهای جهان

۴-۴-۲- هزینه خاموشی در ایران

کشور ایران از نظر ساختار اقتصادی در ردیف کشورهای در حال توسعه قراردارد و انتظار می‌رود که برآورد هزینه‌های خاموشی در تمامی بخش‌های اقتصادی در سطحی پایین تر از کشورهای توسعه یافته قرارگیرد و در حدود سایر کشورهای در حال‌توسعه باشد.

www.takbook.com

۴-۵- خاموشی در سطح توزیع

یکی از مهم‌ترین اهداف شرکت‌های توزیع برق، استفاده بهینه از انرژی تولیدشده با کاهش انرژی توزیع نشده می‌باشد. به همین دلیل توزیع مداوم و بی‌وقفه انرژی برق از اهمیت ویژه‌ای برای صنعت برق کشور برخوردار است. عوامل متعددی از توزیع بی‌وقفه انرژی برق جلوگیری می‌کنند که از آن جمله می‌توان به بروز حوادث و بلایای طبیعی، استفاده نامناسب مشترکین، برخورد حیوانات و وسایل نقلیه با شبکه و غیره، اشاره نمود.

جلوگیری از وقوع برخی حوادث تقریباً غیرممکن می‌باشد به همین دلیل تشخیص محل وقوع حادثه و برطرف نمودن اشکال مربوطه در کمترین زمان ممکن، بهترین راه‌حل برای کاهش زمان خاموشی می‌باشد. کاهش انرژی توزیع نشده موجب استفاده بهینه از انرژی تولیدشده و افزایش رضایت مشترکین خواهد شد. به همین دلیل راه‌ها و روش‌هایی که به این هدف برسند موردتوجه می‌باشد[۱۳].

خاموشی‌های شبکه را به دودسته زیر تقسیم می‌کنند:

۱) خاموشی‌های برنامه‌ریزی‌شده

۲) خاموشی‌های ناشی از حوادث

www.takbook.com

خاموشی‌های نوع اول عموماً به دلیل انجام سرویس‌های دوره‌ای، تغییر ساختار شبکه و انجام مانور در شبکه صورت می‌گیرد. طراحی بهینه شبکه، مدیریت و برنامه‌ریزی صحیح و استفاده از تجهیزات مناسب موجب کاهش زمان این نوع خاموشی‌ها خواهد شد.

خاموشی‌های نوع دوم، عموماً به دلیل بروز حوادث و بلایای طبیعی، استفاده نامناسب مشترکین، برخورد حیوانات، برخورد درختان و وسایل نقلیه به شبکه و غیره، به وقوع می‌پیوندد. برخی از عوامل فوق با طراحی بهینه شبکه، استفاده از راه‌کارهای حفاظتی و همچنین با افزایش سطح فرهنگ مردم قابل جلوگیری می‌باشد، ولی آنچه مسلم است این است که همواره در شبکه اتفاقاتی می‌افتد که موجب قطع برق و عمل کردن تجهیزات حفاظتی خواهد شد. در این شرایط موقعیت تجهیز حفاظتی عمل کرده در شبکه، نامشخص بوده و زمان زیادی جهت یافتن موقعیت موردنظر صرف خواهد شد.[۱۳].

۴–۶– دسته بندی خاموشی ها

۴–۶–۱– مدیریت خاموشی‌های با برنامه

مبحث مشتری محوری چه در امر اطلاع‌رسانی و چه در امر مدت، تاریخ، تعداد و ساعت خاموشی‌ها، نیازمند ارائه برنامه‌ریزی مطلوب و نظارت عالی می‌باشد. با توجه به استقرار

www.takbook.com

سیستم ثبت حوادث در شرکت‌های توزیع، می‌توان جهت برنامه‌ریزی خاموشی‌های با برنامه از بانک اطلاعاتی موجود استفاده نمود به این صورت که تعداد و مدت خاموشی‌های فوق توزیع، فشار متوسط و فشار ضعیف را از سیستم استخراج نموده و با توجه به تعداد خاموشی‌ها و زمان اتفاق افتادن آن‌ها و نتایج پرسشنامه، جهت فعالیت‌های تعمیراتی برنامه‌ریزی نمود[۱۴].

۴-۶-۲- مدیریت خاموشی بی‌برنامه

پایدار نمودن شبکه، تعمیرات پیشگیرانه، تشخیص صحیح محل خطا، تصمیم‌گیری صحیح و عملکرد کارکنان آموزش‌دیده، توجیه دستورالعمل‌ها و اطلاع‌رسانی نقش مهمی را در کنترل خاموشی‌ها ناخواسته ایفاء می‌نماید. شایان‌ذکر است که استفاده از ابراز آلات و فناوری‌های جدید شبکه و بهره‌گیری از سیستم‌های OMS[۲۴] نیز در کاهش زمان خاموشی‌های بی‌برنامه مؤثر است[۱۴].

[۲۴] Outage Management System

www.takbook.com

۴-۶-۳- خاموشی از دیدگاه مصرف‌کنندگان

از دیدگاه مصرف‌کنندگان یکی از مهم‌ترین مسائلی که مطرح می‌شود، رفع سریع خاموشی در صورت وقوع خاموشی می‌باشد و این‌که چه روندی باعث رفع خاموشی می‌شود اصلاً مطرح نمی‌باشد. پس، از دید مصرف‌کنندگان این موضوع مطرح است که خاموشی به وجود نیاید و یا در صورت رخ دادن آن سریعاً برطرف گردد[۱۷].

۴-۶-۴- خاموشی از دیدگاه شرکت توزیع برق

از دیدگاه شرکت‌های توزیع نیز وقوع خاموشی پیامدهایی از قبیل نارضایتی مشترکین، افزایش میزان انرژی توزیع نشده و مسائلی از این قبیل را به دنبال دارد، پس شرکت‌های توزیع نیز به دنبال رفع سریع خاموشی و پیش‌گیری از وقوع خاموشی می‌باشند. باید توجه شود که تفاوت در دیدگاه شرکت‌های توزیع با مصرف‌کنندگان برمی‌گردد به این‌که نحوه رفع خاموشی برای شرکت‌های توزیع بسیار مهم می‌باشد چراکه این روند در ارزیابی شرکت‌های توزیع بسیار موردتوجه می‌باشد به‌این‌ترتیب که ایجاد بهبود در این روند در شاخص‌هایی مانند مدت‌زمان خاموشی و نرخ انرژی توزیع نشده تأثیرگذار است. با توجه به مطالب گفته‌شده، می‌توان مدیریت اتفاقات را مجموعه‌ای از عملیات تعریف کرد که از زمان ایجاد خاموشی شروع می‌شود و تا برق‌دار کردن شبکه و رساندن شبکه به حالت عادی

www.takbook.com

ادامه می‌یابد با توجه به این تعریف هدف از مدیریت اتفاقات، رفع سریع خاموشی بعد از وقوع آن می‌باشد[۱۷].

۴-۷- مدیریت خاموشی در شبکه سنتی

از زمانی که سیستم توزیع برق شروع به کار نموده است نیاز پاسخگویی به خاموشی‌ها نیز متولدشده است. برای رسیدن به این مهم، سیستم‌های مدیریت خاموشی به‌صورت گسترده در کشورهای مختلف استفاده‌شده است. در ابتدا تنها راه اطلاع شرکت‌های برق از خاموشی شبکه، تلفن مشترکین بود. اطلاعات خاموشی از طریق تلفن‌ها توسط شرکت دریافت شده و روی برگه‌هایی نوشته می‌شد. این برگه‌ها به‌صورت دستی و بر اساس شبکه، منظم شده و جهت تحویل به اکیپ‌ها در صف قرار می‌گرفت. محتوی برگه‌ها معمولاً توسط افراد باتجربه آنالیز شده که با بررسی آن‌ها، محل و نوع خطا حدس زده می‌شد. سپس روی نقشه الکتریکی چاپ‌شده و محل خاموشی پیدا می‌گشت. این روش‌ها برای زمان‌هایی که خاموشی و تماس‌های تلفنی کم است مناسب می‌باشد. اما در تابستان یا بروز طوفان و یا سایر مواقع که خاموشی زیاد است، ریسک اشتباهات زیاد می‌شود.

www.takbook.com

پروسه بررسی برگه‌ها، شناسایی محل خطا و عامل خطا، سبب می‌شود زمان زیادی مشترکین در خاموشی باشند. سپس تصمیم گرفته شد از پیمانکارانی جهت جمع‌آوری آمار خاموشی مشترکین استفاده نمایند که این کار، بار اضافی بر شرکت‌ها تحمیل می‌کرد و تائید صحت اطلاعات را نیز بسیار دشوار می‌نمود. البته نتایج چندان دقیق نبود، درنتیجه محاسبات مدت خاموشی به‌صورت تخمینی انجام می‌شد. با ظهور کامپیوتر، برگه‌های کاغذی جای خود را به صفحه مانیتور دادند ولی باقی اقدامات مشابه قبل انجام می‌شد. پس‌ازآن باهدف بهبود شناسایی خاموشی‌ها و کاهش زمان موردنیاز برای آنالیز آن‌ها، سیستم مدیریت خاموشی کامپیوتری نسل قدیم، آغاز به کار نمود[۱۸].

سیستم‌های کامپیوتری نسبت به سیستم‌های کاغذی از نظر تشخیص درست محل و نوع خطا، کاهش زمان پردازش به‌ویژه در زمان بحران، آمار صحیح خاموشی‌ها و زمان تعمیرات و محاسبه خودکار زمان خاموشی مشترکین برتری قابل‌توجهی داشتند. از معایب این سیستم، دشواری بررسی اثر تغییر و تجدید ساختار شبکه به‌ویژه تغییرات مانوری و پشتیبانی می‌باشد. اگر این تغییرات کوچک قابل‌مقایسه نباشند تأثیر زیادی در شاخص‌های قابلیت اطمینان کل شبکه می‌گذارند.

در نسل اول سیستم مدیریت خاموشی در شبکه‌های سنتی، کاربر محل تلفن‌ها را بر نقشه شهر مشخص نموده و سیستم با رسم چندضلعی، محل خطا را مشخص نماید. ویژگی

www.takbook.com

این سیستم آن است که محل خاموشی به‌سرعت مشخص می‌شود و نیاز به جزئیات مدل الکتریکی شبکه ندارد. در این شیوه تغییر ساختار موقت شبکه، قابل‌محاسبه در شاخص‌های قابلیت اطمینان نیست[۱۸]. در نسل بعدی سیستم‌های مدیریت خاموشی که در دهه ۲۰۰۰ ایجادشده‌اند هر مشترک دارای یک مشخصه جغرافیایی است، با استفاده از این مشخصه فیدر مشترک مشخص‌شده و در نقشه شبکه توزیع نشان داده‌می‌شود. این روش نیاز به یک مدل کامل و درست سیستم توزیع دارد که در بخش فشار ضعیف چندان به‌صرفه نیست. پس‌ازآن سیستم‌های مدیریت خاموشی پیشرفته‌تر آمدند که شامل دو بخش اصلی نرم‌افزار طراحی توزیع و GIS می‌شدند. هردوی این‌ها دیتای فراوانی داشتند، از طرفی اگر در یک سیستم توزیع در طول یک هفته ۱۰۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰ تغییر اتفاق بیفتد غیرمعمول نیست، بنابراین بدست آوردن دیتا، تحلیل و به‌روزرسانی آن‌یکی از مهم‌ترین شاخصه‌های مدیریت خاموشی بوده که در شبکه‌های سنتی بدلیل نبود کامل سیستم‌های اندازه‌گیره و تحلیل داده‌ها این امر میسر نبود[۱۸].

۴-۷-۱- اجزاء سیستم مدیریت خاموشی در شبکه‌های سنتی

۴-۷-۱-۱- واحد اپراتوری

وظایف واحد اپراتوری عبارت‌اند از:

www.takbook.com

جدول (۴-۱): وظایف واحد اپراتوری

۱	ثبت خاموشی مطابق آخرین ویرایش دستورالعمل ثبت خاموشی
۲	دریافت اطلاعات تماس‌گیرنده از مرکز تماس هنگام برقراری تماس
۳	تجمیع امکانات تلفنی مثل انتظار، انتقال، کنفرانس و برقراری تماس در پنل واحد اپراتوری
۴	نمایش وضعیت صف تماس و حداکثر زمان انتظار مشترک در صف به‌صورت آنلاین
۵	کنترل و هدایت مشترکین به سیستم پاسخگویی خودکار در مرکز تماس و نمایش نحوه پاسخگویی به مشترکین (اعلان‌های صوتی)
۶	امکان ثبت مشخصات الکتریکی حادثه در مواقعی که اپراتور وظیفه پیگیری واحد اتفاقات را دارد
۷	نمایش سوابق گزارشات مشترک
۸	کنترل وضعیت نمایشگر دیواری
۹	دریافت درخواست مشترک از طریق پیامک، ثبت و پاسخ به آن‌ها

www.takbook.com

۴-۷-۱-۲- ضبط، آرشیو و مدیریت مکالمات تلفن و بی‌سیم

برای نگهداری سابقه مکالمات تلفنی و بی‌سیم‌ها و همچنین به‌منظور نظارت بر ارائه سرویس باکیفیت بالاتر، ذخیره‌سازی تماس‌ها باقابلیت بازیابی آسان و مطمئن لازم است. در این مرکز ضبط و ذخیره‌سازی مکالمات همراه با تاریخ و زمان مکالمه همراه با شماره تماس‌گیرنده و همچنین شماره اپراتور پاسخگو برای دسترسی در آینده انجام می‌شود. این داده صوتی به پرونده گزارش ثبت‌شده مشترک الصاق می‌گردد. ذخیره مکالمات و دسته‌بندی روزانه آن‌ها به همراه درج آن در پرونده مشترک به استفاده‌کنندگان از سیستم، دیدی کامل از اتفاقات و تعاملات صورت گرفته برای مشترک را ارائه می‌دهد و داده‌ها را قابل‌پیگیری می‌نماید. در ضمن این شرکت با ساخت و تولید دستگاه Radio Over Ip و تجمیع آن با مرکز تماس امکان ضبط و انتقال مکالمات بی‌سیم در محیط شبکه را فراهم نموده است[۱۸].

شکل(۴-۱۲): حوادث شبکه قدرت

www.takbook.com

شکل(۴-۱۳): حوادث شبکه قدرت

۴-۷-۱-۳- واحد مدیریت اتفاقات در سیستم‌های توزیع

وظایف سیستم مدیریت اتفاقات عبارت‌اند از:

جدول (۴-۲): وظایف سیستم مدیریت اتفاقات

۱	تشخیص خطا
۲	مکان یابی خطا
۳	جداسازی خطا
۴	بازیابی بار
۵	رفع خطا
۶	عادی سازی
۷	محاسبات کیفیت توان

www.takbook.com

۴-۷-۱-۴- گزارش‌گیری

جدول (۴-۳): گزارش‌گیری

۱	گزارش‌های متعدد با فرمت‌های از پیش تعریف‌شده و ذخیره‌سازی در محیط‌های PDF، Word، Excel و ...
۲	نمودارهای متعدد با فرمت‌های از پیش تعریف‌شده و ذخیره‌سازی در محیط‌های PDF، Word، Excel و ...
۳	امکان ساخت و تولید انواع گزارشات به‌صورت جدول و نمودار (از مشترکین، حوادث، تجهیزات، شبکه و ...)

۴-۷-۲- عملکرد مدیریت اتفاقات در سیستم توزیع [۳۷]

درواقع بخش اصلی سیستم مدیریت خاموشی در شبکه‌های سنتی توسط واحد مدیریت اتفاقات صورت می‌پذیرد که در این قسمت به آن اشاره می‌شود. مدیریت اتفاقات با سایر سیستم‌های کاربردی سیستم توزیع رابطه تنگاتنگی دارد که به دو دسته تقسیم بندی می‌شود:

۱. ارتباط مدیریت اتفاقات با سایر سیستم‌های کاربردی حین خاموشی
۲. ارتباط مدیریت اتفاقات با سایر سیستم‌های کاربردی پس از خاموشی (به‌منظور بازخورد از خاموشی جهت اصلاح سیستم، تشخیص سرقت، دستکاری کنتور و غیره)

www.takbook.com

در دسته اول مدیریت اتفاقات با سایر سیستم‌های کاربردی به‌گونه‌ای ارتباط برقرار می‌کند تا بتواند عملیات رفع خاموشی را در زمان کمتری انجام دهد. این ارتباطات را می‌توان به تفکیک مراحل مدیریت اتفاقات به‌صورت ذیل جمع‌بندی نمود.

۴-۷-۲-۱- تشخیص خطا

اطلاع یافتن از ایجاد خطا از روش‌های مختلفی صورت می‌پذیرد:

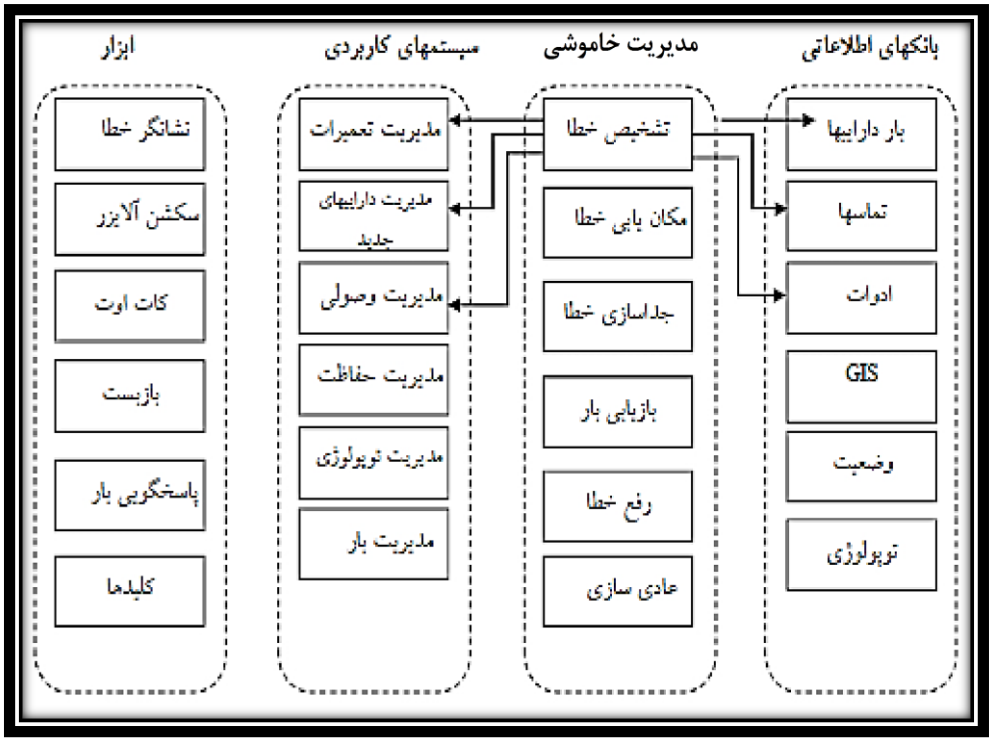
- ✓ **از طریق تماس تلفنی مشترکین:** در این روش اکثریت قریب به‌اتفاق خاموشی‌ها از طریق تماس مشترکین اطلاع‌رسانی می‌شود.
- ✓ **از طریق پایش اهداف حفاظتی:** در صورت پایش ادوات حفاظتی و تشخیص دستور قطع آن‌ها و عملکرد کلیدها می‌توان به خاموشی‌ها پی برد. در حال حاضر این‌گونه اطلاع‌رسانی، توسط دیسپاچینگ و پایش کلید فیدرهای فشار متوسط صورت می‌پذیرد.
- ✓ **از طریق پایش پیوسته بار:** در صورت پایش پیوسته بار، دارایی‌ها و تجهیزات می‌توان در صورت قطع ولتاژ یا بار آن‌ها، به ایجاد خاموشی پی‌برد.
- ✓ **از طریق پایش برنامه تعمیرات و اتصال دارایی‌های جدید:** طبق برنامه از پیش تعیین‌شده برای بخش کوچکی از شبکه، جهت انجام تعمیرات

www.takbook.com

دارایی‌ها و یا اتصال دارایی‌ها در پروژه‌های جدیدالاحداث به شبکه، باید خاموشی با برنامه ایجاد شود.

- ✓ **از طریق پایش برنامه قطع مشترکین بدهکار:** برق مشترکین بدهکار پس از چند تذکر و اخطار در لیست قطع قرار می‌گیرد. چنین مشترکی باید تا زمان وصل، جزء خاموشی‌های عدم نیاز به اقدام باشد.

بدین‌صورت در مرحله تشخیص خطا، مدیریت اتفاقات طبق شکل (۴-۱۴) با سایر سیستم‌های کاربردی و بانک‌های اطلاعاتی در ارتباط است.



شکل(۴-۱۴): جایگاه تشخیص خطا در مدیریت خاموشی

www.takbook.com

۴-۷-۲-۲- مکان‌یابی خطا

مکان‌یابی خطا عمدتا در سه مرحله صورت می‌پذیرد.

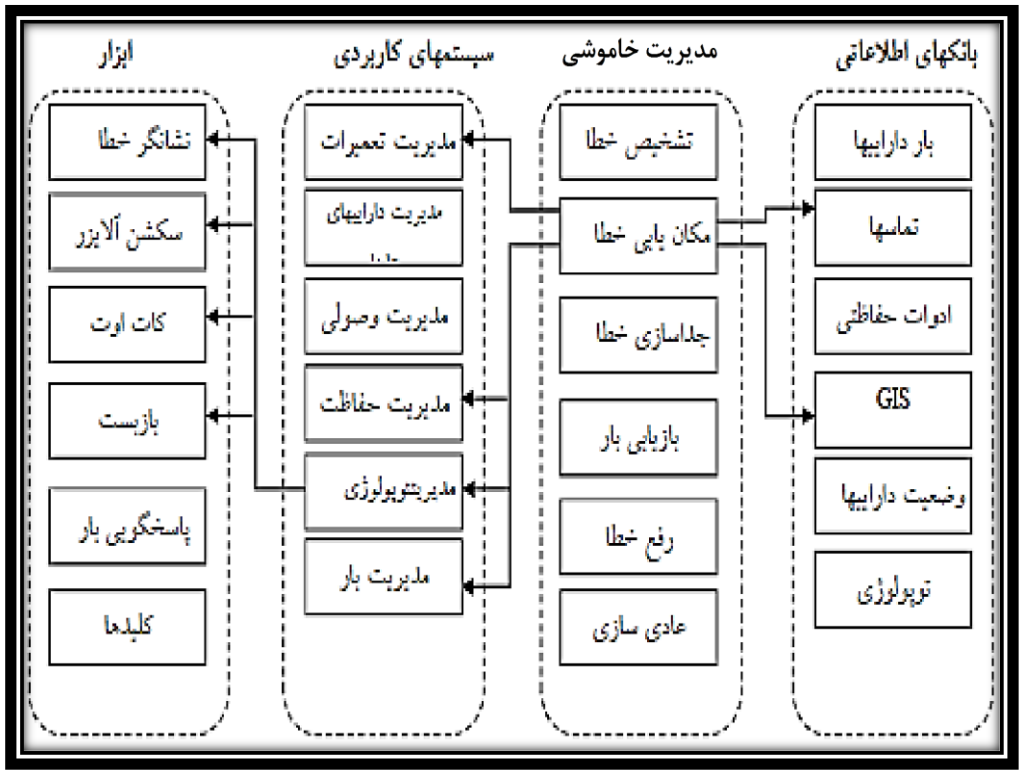
- ✓ یافتن حوزه جغرافیایی خاموشی
- ✓ یافتن فیدر و پست خاموش شده و حوزه الکتریکی خاموشی
- ✓ یافتن دقیق محل عیب

حوزه‌ی جغرافیایی خاموشی عمدتا با تطبیق تماس‌ها با نقشه، GIS شهری، تاریخچه تماس‌ها، تمرکز و چگالی تماس‌ها تشخیص داده می‌شود و آدرس مذکور مورد بازدید قرار می‌گیرد. نقشه GIS شهری و همچنین اطلاعات تماس مشترکین به انضمام آدرس آن‌ها به‌عنوان یک بانک اطلاعات مهم در یافتن محل جغرافیایی خاموشی بشمار می‌رود. فیدر و پست خاموش شده به کمک تطبیق تماس‌ها با نقشه شبکه و دیاگرام تک‌خطی، تعقیب نقطه خاموش شده و تماس‌گیرنده تا محل عیب و بررسی تمرکز تماس‌ها در یک منطقه تحت پوشش دارایی‌های خاص صورت می‌پذیرد.

در این بخش عیوب باقیمانده بر روی شبکه از بخش‌هایی چون مدیریت بار، مدیریت تعمیرات و مدیریت حفاظت می‌تواند در تشخیص محل الکتریکی خطا راه‌گشا باشد. یافتن حوزه الکتریکی خاموشی توسط ادوات جانبی چون کلید، نشانگر خطا، جداکننده، کات اوت

www.takbook.com

و غیره صورت می‌پذیرد. در یافتن دقیق محل عیب، نیاز جدی به خطوط و محل پست‌ها وجود دارد که خود وابستگی به GIS با دقت بالا را نشان می‌دهد.

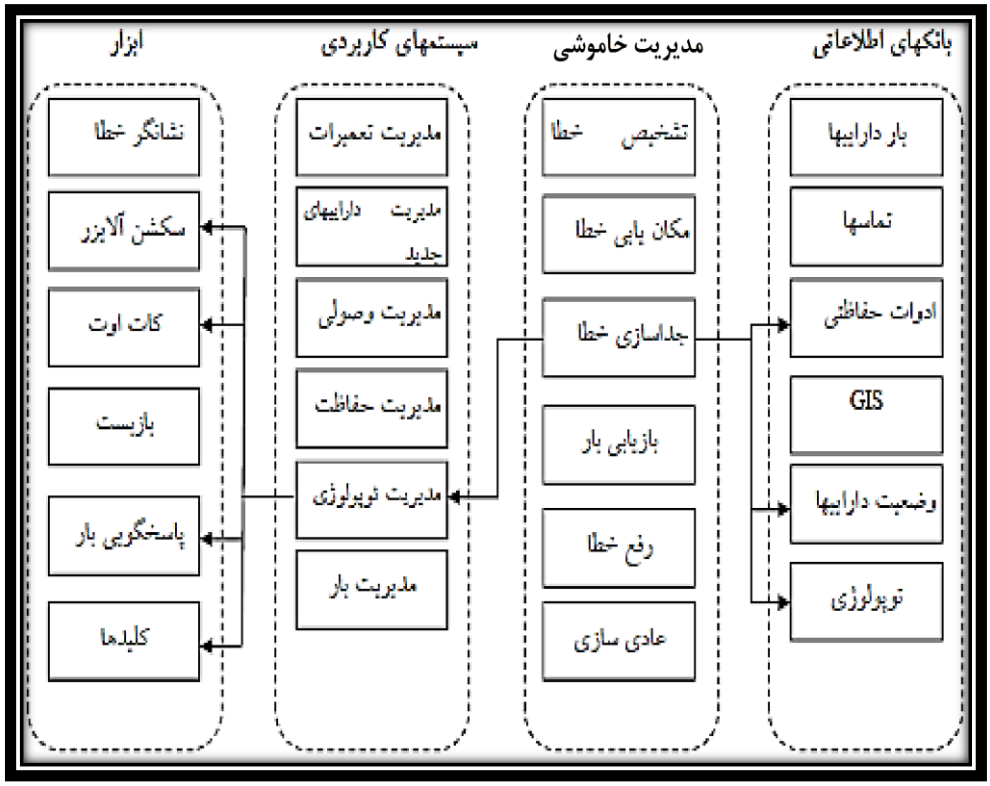


شکل(۴-۱۵): جایگاه مکان‌یابی خطا در مدیریت خاموشی

۴-۷-۲-۳- جداسازی خطا

ایزوله کردن و جدا کردن خطا از شبکه نیاز به تشخیص کلیدهای ایزوله کننده (با توجه به ساختار شبکه و محل خطا)، اطمینان از سلامت و صحت عملکرد آن‌هاست. در جداسازی خطا باید کلیدهایی انتخاب شوند که حداقل بار در جداسازی خطاها خاموش بمانند.

www.takbook.com



شکل(۴-۱۶): جایگاه جداسازی خطا در مدیریت خاموشی

۴-۷-۲-۴- بازیابی بار

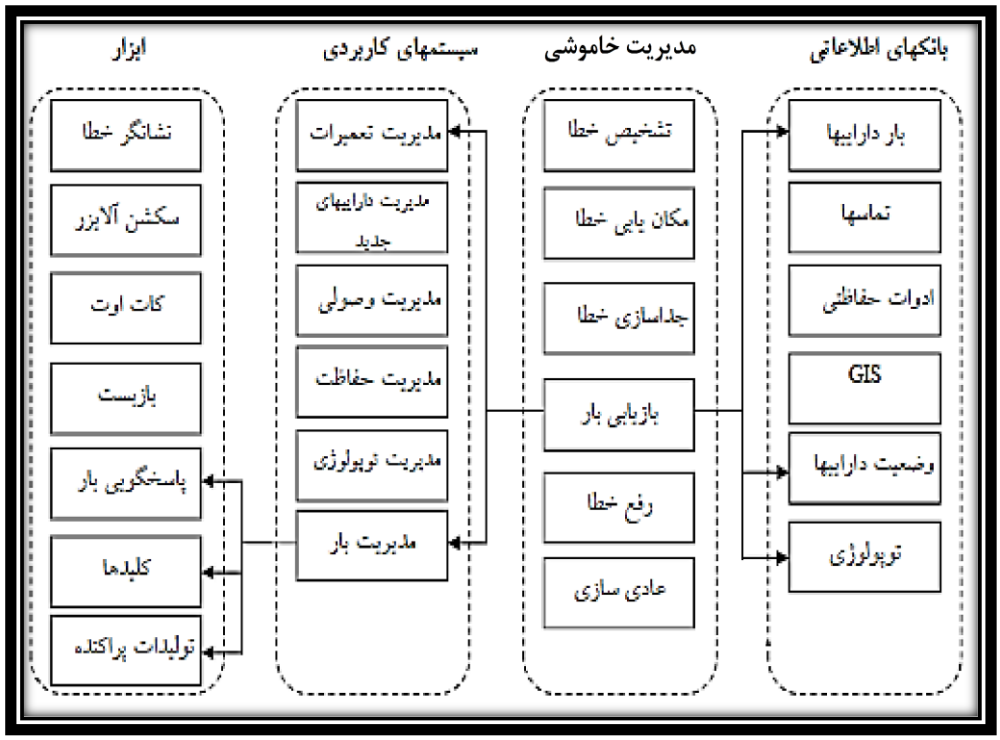
پس از جداسازی خطاها می‌بایست به گونه‌ای ساختار شبکه تنظیم شود تابتوان حداکثر بار را تغذیه نمود و شبکه به‌صورت شعاعی باقی بماند. این مهم توسط دو عملیات زیر صورت می‌پذیرد:

- ✓ تنظیم کلیدزنی‌های بهینه که ضمن بازیابی حداکثر بار، کمترین تلفات و بهترین قابلیت اطمینان را در زمان خاموشی را با شبکه شعاعی تحویل دهند

www.takbook.com

✓ ورود منابع برق اضطراری و یا تولید پراکنده و جزیره سازی آن‌ها از سایر بارها

بازیابی بار تنها با کلیدزنی صورت نمی‌پذیرد بلکه با تولید پراکنده و منابع برق اضطراری نیز انجام می‌شود. بزرگترین چالش در این بخش ایجاد اضافه‌بار بر روی تجهیزات و دارایی‌هاست که در این مهم می‌بایست به کمک کاهش بار و مصرف (اختیاری و اجباری) و یا تولیدات پراکنده نسبت به پایدارسازی شبکه اقدام نمود. البته کلیدزنی باید توسط دیسپاچینگ و پس از تحلیل کامل وضعیت شبکه و دارایی‌ها صورت پذیرد. جایگاه بازیابی بار در مدیریت اتفاقات در شکل زیر ارائه شده است.



شکل(۴-۱۷): جایگاه بازیابی بار در مدیریت خاموشی

www.takbook.com

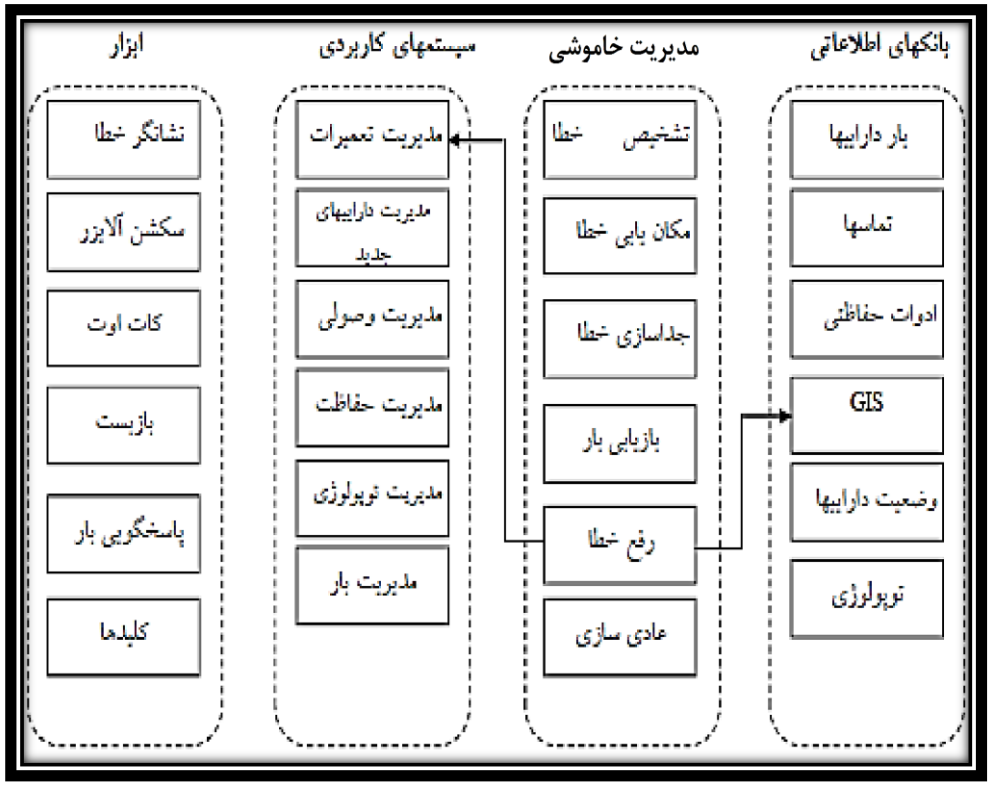
۴-۷-۲-۵- رفع خطا

رفع خطا بسته به نوع خاموشی میتواند در چند مرحله زیر صورت پذیرد.

- ✓ اگر خاموشی و خسارت وارده بر دارایی‌ها نیز جزئی باشد، رفع عیب و خطا توسط اکیپ اتفاقات انجام می‌شود.
- ✓ اگر خاموشی کلی و خسارت بر دارایی‌های اصلی صورت پذیرد به‌طوریکه رفع عیب و خطا زمانبر باشد، آنگاه برقدار کردن موقت توسط اکیپ اتفاقات انجام و باقی فعالیت به اکیپ تعمیرات سپرده می‌شود.
- ✓ در صورت عدم امکان برقدار کردن موقت، خاموشی مذکور به‌عنوان خاموشی اضطراری و بحرانی اعلام شده و اکیپ ویژه تعمیرات به محل اعزام می‌شود.

باید دقت شود در زمان رفع خطا به سایر تأسیسات شهری چون لوله‌های آب و گاز آسیب وارد نشود این مهم جز با اتکا به نقشه GIS جامع تأسیسات شهری حاصل نمی‌شود. جایگاه رفع خطا در مدیریت اتفاقات در شکل زیر ارائه شده است.

www.takbook.com

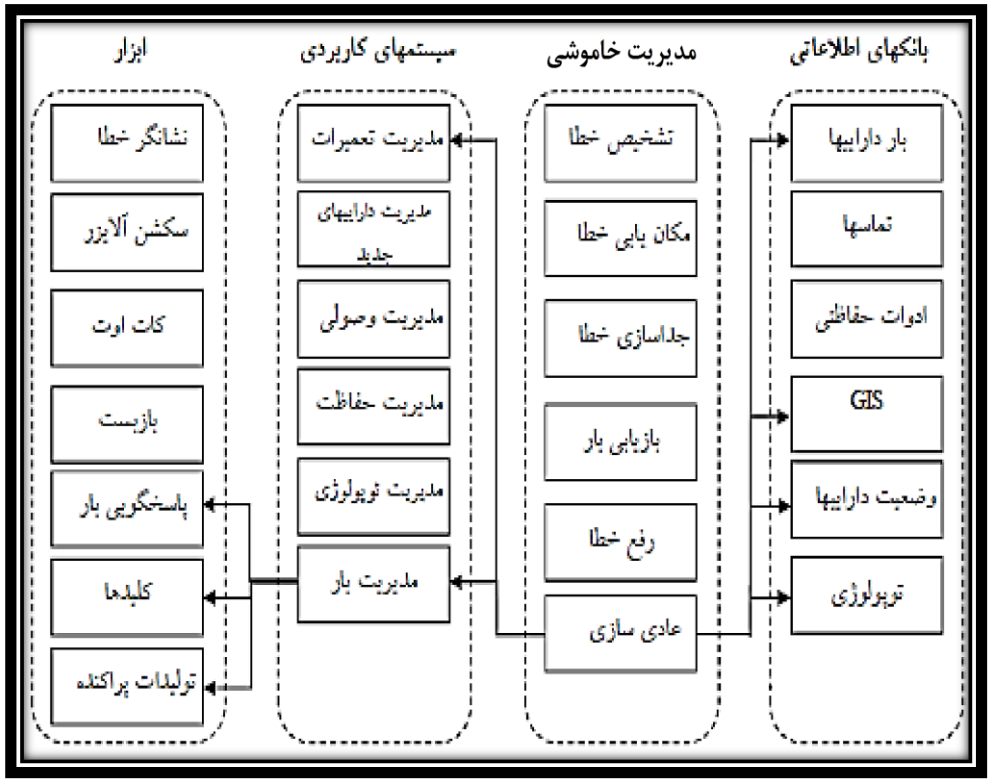


شکل(۴-۱۸): جایگاه رفع خطا در مدیریت خاموشی

۴-۷-۲-۶- عادی‌سازی

در این مرحله کلیدزنی‌ها و تولید اضطراری و پراکنده به حالت اول باز می‌گردد و شبکه پس از یک بهینه‌سازی به فعالیت خود ادامه می‌دهد. در این بهینه‌سازی باید هیچ تجهیزی دچار اضافه‌بار نشود و دارایی‌های تعمیر نشده تحت بار قرار نگیرند.

www.takbook.com



شکل(۴-۱۹): جایگاه عادی‌سازی شبکه در مدیریت خاموشی

www.takbook.com

فصل پنجم

مدیریت خاموشی در شبکه‌های هوشمند

۵–۱– مقدمه

جلوگیری از قطع برق مشترکین، فاکتور اصلی رضایت‌مندی مشترکین است. شبکه هوشمند به‌سرعت وسایلی را که احتمالاً موجب خطا در شبکه توزیع می‌شوند را شناسایی و از مدار خارج می‌کند و همچنین جریان نشتی را به‌سرعت مشخص می‌کند و مکان‌هایی که نیاز به حضور نیرو جهت اصلاح شبکه را دارند، به‌سرعت اعلام می‌کند. استفاده از نرم‌افزارهای پیشرفته اندازه‌گیری سریعاً مشترکینی را که خارج از سرویس هستند، مشخص می‌کند. فراهم نمودن چنین اطلاعاتی برای کارکنان اتفاقات، که در محل خاموشی هستند، بسیار ارزشمند بوده و بازده عملکرد را بسیار بالا می‌برد[۱۴].

www.takbook.com

شبکه هوشمند با استفاده از راه‌حل‌های زیر زمان خاموشی مشترکین را کاهش می‌دهد:

جدول (۵-۱): راه‌حل‌های کاهش زمان خاموشی

۱	تنظیم مجدد سیستم با کمک گرفتن از سوئیچ‌های خودکار هوشمند که هماهنگ با پست‌های هوشمند هستند
۲	تشخیص از راه دور خطا
۳	تعیین اندازه و محل بار خارج‌شده از مدار از راه دور و به‌صورت زمان حقیقی
۴	کنترل از راه دور تولیدات پراکنده انرژی و تجمیع آن‌ها جهت استفاده
۵	تشخیص از راه دور قطع و وصل شبکه

۵-۲- سیستم مدیریت خاموشی (OMS[۲۵]) (Outage Management System)

با کمک سیستم مدیریت خاموشی می‌توان بر اساس تماس مشترکین و توپولوژی شبکه توزیع در کمترین زمان ممکن، تجهیزات عمل کرده در شبکه را شناسایی نمود. همچنین با ثبت اطلاعات حوادث و خاموشی‌های شبکه، امکان تهیه گزارش‌های متنی، گرافیکی، محاسبه شاخص‌های مختلف خاموشی و همچنین انرژی توزیع نشده وجود دارد. سیستم

[۲۵] Outage Management System

www.takbook.com

مدیریت خاموشی قادراست میانگین مدت خاموشی را به میزان قابل‌توجهی کاهش داده و کیفیت سرویس‌دهی به مشترکین را افزایش دهد.

سیستم مدیریت خاموشی حوادث یکی از سیستم‌های اصلی توزیع است که از مهم‌ترین وظایف آن می‌توان به ثبت و پردازش اطلاعات تماس‌های مشترکین هنگام قطع، تعیین محل تجهیز عمل نکرده در شبکه، راهبری کارکنان حوادث، مدیریت پرونده‌های خاموشی و ارائه گزارش‌های مدیریتی اشاره نمود. کاهش مدت‌زمان خاموشی و جلب رضایت مشترکین ازجمله اهداف اصلی این سیستم است.

بنابراین آزمون کارایی با معیارهایی همچون زمان پاسخگویی به تماس‌های مشترکین و میزان کاهش مدت خاموشی، از مهم‌ترین آزمون‌های قابل‌اجرا بر روی این نرم‌افزار است. اهمیت پاسخگویی این سیستم در شرایط عادی و بحرانی لزوم انجام آزمون‌های بار و فشار بر روی این نرم‌افزار را آشکار می‌سازد. به‌منظور فراهم آوردن بار سیستم در شرایط نرمال و پیک، لازم است با شبیه‌سازی تماس‌های کاربران و افزایش تعداد تماس‌ها، نرم‌افزار را تحت بارهای نرمال و بیشینه تست نمود[۱۴].

www.takbook.com

۵-۲-۱- اهداف OMS

جدول (۵-۲): اهداف OMS

۱	کم کردن هزینه‌های عملیاتی رفع خاموشی
۲	کاهش انرژی توزیع نشده با تشخیص سریع‌تر تجهیز حفاظتی عمل کرده در شبکه و کاهش خاموش
۳	جلب رضایت مشترکین (تخمین صحیح مدت خاموشی و اطلاع آن به مشترکین)
۴	کاهش وابستگی به کارکنان مجرب (کارکنان آشنا به توپولوژی شبکه)
۵	محاسبات دقیق شاخص میانگین مدت خاموشی، تعداد دفعات قطع برق در سطح شبکه فیدر، ترانس و تجهیز حفاظتی
۶	استخراج تاریخچه عملکرد هر فیدر
۷	استخراج نرخ دقیق خرابی تجهیزات
۸	تخمین زمان بازیابی کلی و محاسبه شاخص بازدهی گروه‌های حوادث

www.takbook.com

۵-۳- ارتباط اجزاء شبکه هوشمند و مدیریت خاموشی (OMS)

- ✓ AMR
- ✓ SCADA[۲۶]
- ✓ TCS[۲۷]
- ✓ CIS[۲۸]
- ✓ AMI
- ✓ GIS[۲۹]
- ✓ GPS
- ✓ MDM[۳۰]

۵-۳-۱- AMR

در سال‌های اخیر استفاده از AMR در بسیاری از کشورها رایج شده است. مطالعاتی که تاکنون بر روی این سیستم انجام‌شده است عموما پیرامون دسترسی آسان، سریع و دقیق

[۲۶] Supervisory Control And Data Acquisition

[۲۷] Trouble Call System

[۲۸] Customer Information System

[۲۹] Geographical Information System

[۳۰] Metering Data Management

www.takbook.com

به اطلاعات مصرف مشترکین می‌باشد[۶،۷،۸،۹]. اما در این قسمت ارتباط سیستم‌های AMR با OMS موردنظر می‌باشد. برخی از سیستم‌های AMR، امکان برقراری ارتباط با کنتورهای مشترکین را از راه دور را فراهم می‌کند، درنتیجه این امکان وجود دارد تا با توجه به سیستم AMR استفاده‌شده، به داده‌های مصرفی، کیفیت برق، قطع یا وصل بودن برق و حتی وجود دست‌کاری در کنتور دسترسی پیدا کرد. اطلاع یافتن از قطع برق مشترکین از طریق AMR موضوع موردنظر در سیستم OMS می‌باشد. استفاده از سیستم AMR در کنار سیستم آنالیز Trouble Call باعث افزایش قابلیت اطمینان می‌شود. تاکنون از میترهای نصب‌شده در محل مشترکین برای به دست آوردن اطلاعات مصرف مشتریان و تهیه صورت‌حساب و کارهایی از این قبیل استفاده‌شده است. اما با پیشرفت فن‌آوری مخابراتی، سیستم AMR یکی از مهم‌ترین منابع برای واحدها گردیده است. در این سیستم رادیویی، تلفن و DLC به‌عنوان رابط مخابراتی استفاده می‌شود.

استفاده از سیستم AMR به‌خصوص برای تشخیص خطاهای چندگانه که در هنگام رخداد طوفان، سیل و غیره به وجود می‌آیند، بسیار مفید و مؤثر است. استفاده از این روش برای تشخیص خطا بسیار مناسب بوده و باعث می‌شود که خاموشی‌های صورت گرفته در اسرع وقت به مرکز کنترل گزارش داده شود. امروزه در بازار برق تجدید ساختاریافته، با توجه به این‌که درصدی از مشتریان صنعتی و حساس نیاز به انرژی باقابلیت اطمینان بالا

www.takbook.com

دارند، استفاده از سیستم AMR در سطح بعضی از مشترکین می‌تواند دارای منافع و سودهای کیفی باشد[۱۷,۲۹].

SCADA[۳۱] –۲–۳–۵

سیستم اسکادا بر جریان، ولتاژ، وضعیت کلیدها و رله‌های فیدر های پست فوق توزیع نظارت می‌کند. یکی از اجزاء و منابع اطلاعاتی OMS هنگام قطع برق، در صورت تجهیز شبکه به این امکان اسکادا می‌باشد. به کمک اسکادا می‌توان از وضعیت بریکر فیدرهای فشار متوسط به‌صورت خودکار اطلاع پیدا نمود. در صورت عدم امکان اتصال به سیستم و یا عدم وجود چنین سیستمی در شبکه، اپراتور OMS با گزارش تلفنی واحد دیسپاچینگ فوق توزیع، از خاموشی در سطح فیدر اطلاع پیدا می‌کند[۱۴].

TCS[۳۲] –۳–۳–۵

همان‌طور که اشاره شد، TCS در سیستم OMS، زیرسیستم تماس مشترکین بوده و از دو واحد ثبت و آنالیز تماس‌ها تشکیل‌شده است[۱۴].

[۳۱] Supervisory Control And Data Acquisition

[۳۲] Trouble Call System

www.takbook.com

۵-۳-۳-۱- واحد ثبت تماس‌های مشترکین

یکی از مهم‌ترین منابع اطلاعاتی برای مدیریت خطا، پیگیری تماس‌های مشتریان است. حجم اطلاعات ورودی که همان تماس‌های مشتریان است قابل‌توجه می‌باشد ولی قابلیت اطمینان آن پایین است. این روش در صورت وجود یک رابط گرافیکی کامپیوتری بین اپراتور و شبکه ممکن می‌باشد. لازمه این کار مجهز بودن مرکز کنترل شبکه توزیع به نرم‌افزار AM/FM/GIS است که امروزه در حال گسترش در شبکه می‌باشد، که استفاده از این روش برای مدیریت اتفاقات مناسب و مؤثر می‌باشد[۱۷].

این بخش شامل جمع‌آوری اطلاعات تماس مشترکین بوده که به دو صورت دستی و خودکار قابل انجام است. درروش دستی، کاربر سیستم، مسئول رسیدگی به تماس‌های مشترکین می‌باشد، امکان جستجوی مشترک توسط مشخصه‌های عددی مانند شماره شناسایی، شماره تلفن و کد پستی یا بر اساس مشخصه‌های غیر عددی مانند آدرس وجود دارد. درروش خودکار، اطلاعات مشترکین توسط سیستم پاسخگوی دریافت می‌شود. در صورت وجود اطلاعاتی برای اعلام مشترک، این اطلاعات نیز توسط سیستم پاسخگوی خودکار به مشترک اعلام می‌گردد. محدودیت این سیستم عدم امکان دریافت آدرس یا مشخصه‌های غیر عددی برای جستجوی مشترک در CIS می‌باشد.

www.takbook.com

شکل(۵-۱): حوادث در شبکه برق

این واحد وظیفه دریافت، بررسی، تعیین صحت و ثبت تماس مشترکین و همچنین ثبت اطلاعات دیسپاچینگ فوق توزیع را بر عهده دارد. با تماس مشترک و اعلام شماره شناسایی (شماره تلفن و یا آدرس مربوطه)، مراحل زیر انجام می‌شود[۱۴]:

۱. بررسی تکراری نبودن تماس مشترک با جستجو در جدول مشترکین تماس گرفته

www.takbook.com

۲. بررسی وضعیت بدهی مشترک با جستجو در بانک CIS گسترش داده‌شده

۳. بررسی وجود قطع برق از قبل برنامه‌ریزی‌شده در ناحیه مشترک

در صورت موجود بودن رکوردی در فایل قطعی‌های برنامه‌ریزی‌شده، با برقراری ارتباط با GIS و ارسال شماره شناسایی مشترک، اطلاعات تجهیزات شبکه (فیدر، ترانس، تجهیزات حفاظتی) در ارتباط با مشترک استخراج و با اطلاعات قطعی‌های برق برنامه‌ریزی‌شده مقایسه می‌گردد. درصورتی‌که قطع برق مشترک، مربوط به قطع برق از پیش تعیین‌شده باشد، به اطلاع مشترک رسانیده می‌شود.

درصورتی‌که تماس مشترکین قبلی منجر به انجام آنالیز تجهیز عمل کرده باشد و نتیجه آنالیز تجهیز پس از تائید صحت ثبت‌شده باشد، متعلق بودن یا نبودن هر تماس جدید به ناحیه قطعی تشخیص داده‌شده توسط سیستم، با رجوع به GIS بررسی می‌گردد. درصورتی‌که تماس مشترک متعلق به یک قطع برق مشخص ثبت‌شده در سیستم نباشد، بررسی می‌شود که آیا امکان ایجاد پرونده قطع برق جدید وجود دارد یا خیر، شرط لازم برای ایجاد پرونده جدید این است که پرونده قطع برق جاری وجود نداشته باشد و یا از زمان شروع آخرین پرونده قطع برق، مدت‌زمان مشخصی طی شده باشد. در صورت تائید کاربر، پرونده قطع برق جدید ایجادشده و اطلاعات مشترک به آن ملحق می‌شود و درصورتی‌که پرونده قطع برق جدید توسط کاربر تائید نشود و یا اینکه پرونده قطع برق

www.takbook.com

جاری وجود داشته باشد، فهرست پرونده‌های قطع برق جاری نمایش داده می‌شود. با انتخاب یکی از پرونده‌های جاری، اطلاعات مشترک به قطع برق ملحق می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود بررسی‌های جامعی برای ثبت هر تماس مشترک هنگام گزارش قطع برق انجام می‌گیرد. ثبت اطلاعات مشترکین، پرونده قطعی، قطعی‌های برنامه‌ریزی‌شده، علت‌های قطع برق، مشترکین تحت تأثیر قرارگرفته، انرژی توزیع نشده و غیره موجب شده تا سیستم OMS امکانات فراوانی را جهت بررسی پیشینه حوادث قطع برق، اخذ گزارش‌های مدیریتی و محاسبه شاخص‌های قطع برق در سطح تجهیزات مختلف شبکه بوجود آورد[۱۴].

۵-۳-۳-۲- واحد آنالیز تماس‌های مشترکین

شبکه توزیع الکتریکی را می‌توان به‌صورت مجموعه‌ای از درختان در نظر گرفت که گره‌های آن، تجهیزات و یال‌های آن، کابل‌های برق می‌باشند. ریشه هر درخت، پست فوق توزیع و برگ‌های آن معادل مشترکین می‌باشند. چون قطع برق یک فیدر بر روی فیدر دیگر تأثیر ندارد می‌توان عمل آنالیز قطعی را بر روی هر فیدر به‌صورت جداگانه موردبررسی قرارداد. در صورت رخ دادن قطع برق، ممکن است بریکر فیدر مربوطه عمل کند که در صورت وجود سیستم اسکادا در شبکه، گزارش قطعی فیدر به مرکز دیسپاچینگ می‌رسد و همان‌طور که در قسمت قبل اشاره شد امکان ثبت اطلاعات مربوطه در سیستم و استفاده

www.takbook.com

از آن هنگام تماس مشترکین در نظر گرفته‌شده است. در حالتی که گزارشی از اسکادا نرسیده باشد مسئله به یافتن تجهیزات عمل کرده (یا یافتن خرابی در نزدیکی تجهیزات حفاظتی) روی اطلاعات به‌دست‌آمده تبدیل می‌شود. به‌عبارت‌دیگر از روی درخت به‌دست‌آمده برای فیدر موردبررسی، می‌خواهیم گره‌هایی (تجهیزات حفاظتی) را پیدا کنیم که برگ‌ای (مشترکی) بی‌برق را شامل بوده و برگ‌های برق‌دار را شامل نشود[۱۴]. وظیفه این بخش دسته‌بندی تماس‌های مشترکین و تعیین تجهیزات احتمالی عمل کرده با استفاده از الگوریتم‌های هوشمند می‌باشد. آنالیز قطعی برق برای تعیین محل خرابی طی مراحل زیر انجام می‌گیرد:

جدول (۵-۳): آنالیز قطعی برق

۱	تولید درخت قطعی بر اساس تماس مشترکین
۲	تعیین درجه قطعی برای تجهیزات حفاظتی مربوطه
۳	تعیین مجموعه تجهیزات عمل کرده احتمالی
۴	تصدیق قطعی برای تجهیزات منتخب
۵	تعیین تجهیز یا تجهیزات عمل کرده

همان‌طور که در بالا اشاره شد نتیجه آنالیز قطعی می‌تواند منجر به تشخیص چند تجهیز عمل کرده برای یک پرونده قطع برق شود. به‌عبارت‌دیگر این امکان وجود دارد که در یک

www.takbook.com

بازه زمانی مشخص به‌طور هم‌زمان بیش از یک قطعی برق رخ‌داده باشد و سیستم قادر است این وضعیت را با توجه به روش مذکور تشخیص داده و پردازش نماید.

۵-۳-۴- فراسامانه اندازه‌گیری پیشرفته (AMI)

AMI باهدف ارائه یک ساختار جامع برای کنترل و نظارت بخش توزیع انرژی طراحی‌شده است و بخش‌های گوناگونی را دربرمی گیرد. آنچه این فراسامانه را مفید و مناسب خواهد کرد تعاملات بعدی با ذینفعان، بهره‌برداران و ارتقاء ویژگی‌های سیستم با توجه به نیاز آن‌ها خواهد بود. بر همین اساس این فراسامانه به‌گونه‌ای طراحی‌شده است که نیازهای عمده مدیریتی شبکه توزیع برق نظیر مدیریت و پیش‌بینی بار، اندازه‌گیری برای کاهش تلفات فنی و غیر فنی، مدیریت خاموشی، گردآوری و تحلیل اطلاعات مصرف مشتریان را فراهم آورده و از سوی دیگر بتواند بستری مناسب برای اجرای پروژه‌های حوزه صنعت برق، حضور بخش خصوصی در شبکه، بهره‌برداری از تولید پراکنده و انرژی‌های نو را ایجاد نماید. همچنین ارائه اطلاعات آماری و اطلاع‌رسانی به مشترکین جهت تصحیح رفتار مصرف و بهینه‌سازی مصرف انرژی از مزایای دیگر این فراسامانه می‌باشد[۲۸].

یکی از کلیدهای اصلی شبکه‌های هوشمند برای بسیاری از شرکت‌ها AMI است. بانک اطلاعاتی این سیستم در سیستم‌های مدیریت خاموشی قابل بهره‌برداری است. اگر

www.takbook.com

تجهیزات اندازه‌گیری AMI و تجهیزات مخابراتی به‌درستی عمل کنند اطلاعات خاموشی مشترکین و نداشتن ولتاژ به‌صورت پیامی به مرکز ارسال می‌گردد به عبارتی اطلاعات همه مشترکین بدون گزارش خود آن‌ها در دسترس خواهد بود و یا می‌توان به‌صورت دائم مشترکین را بازخوانی نمود و از صحت عملکرد آن‌ها مطلع شد. به‌این‌ترتیب زمان قابل‌توجهی در انجام پردازش‌ها، زمان کارکنان شرکت برق و وسایل نقلیه آن‌ها که جهت بررسی مشکل اعزام می‌شوند صرفه‌جویی خواهد شد. مزیت دیگر ترکیب AMI و OMS این است که اطلاعات تجدید شبکه به‌صورت صحیح و کامل قابل‌دستیابی است، درنتیجه محاسبات شاخص‌های قابلیت اطمینان به‌درستی امکان‌پذیر نخواهد بود و خطای آن کاهش خواهد یافت. به دلایل ذکرشده، استفاده از AMI در مدیریت خاموشی و واسط‌های بین آن‌ها در حال گسترش است[۱۸,۱۵,۱۴,۱۳].

۵-۳-۴-۱- شناسایی خاموشی با استفاده از AMI و مدل‌سازی احتمالی خاموشی

شناسایی خاموشی اولین مرحله از سیستم مدیریت خاموشی با کمک AMI می‌باشد که سرعت شناسایی خاموشی را می‌تواند محتمل‌تر کند. شناسایی خاموشی می‌تواند برای خاموشی موقتی یا پایدار باشد، بنابراین نوع خاموشی نامعلوم است. هنگامی‌که خاموشی موقتی از بین برود توسط نصب تجهیزات حفاظتی در سیستم اطلاعات، اخطار خاموشی

www.takbook.com

تنها به خاموشی ماندگار وابسته است، که این اطلاعات توسط تجهیزات حفاظتی به سیستم مدیریت خاموشی ارسال می‌شود[۲۸].

۵-۳-۴-۲- اخطار خاموشی در AMI

اندازه‌گیر هوشمند قسمت مهمی در AMI می‌باشد که اخطار کمبود منابع قدرت را می‌دهد. در حالت مطلوب اندازه‌گیرهای هوشمند، پیام تائید ترمیم را ارائه می‌دهند، اما بعضی‌اوقات پیام به دلیل نویز کانال مخابراتی نمی‌رسد که برخورد اطلاعات و یا خطای خود تجهیز از دلایل این مشکل می‌باشد. هنگامی‌که خاموشی در ناحیه توزیع اتفاق می‌افتد اندازه‌گیر هوشمند در AMI، اخطار کمبود منابع را برای سیستم اندازه‌گیری اطلاعات ارسال می‌کند که این اخطار خاموشی می‌باشد. ازاین‌رو اندازه‌گیرهای هوشمند به‌سرعت اطلاعات اخطار خاموشی را ارسال می‌کنند ولی برای فهمیدن تفاوت خاموشی موقت با دائم ناتوان‌اند[۲۷,۳۳].

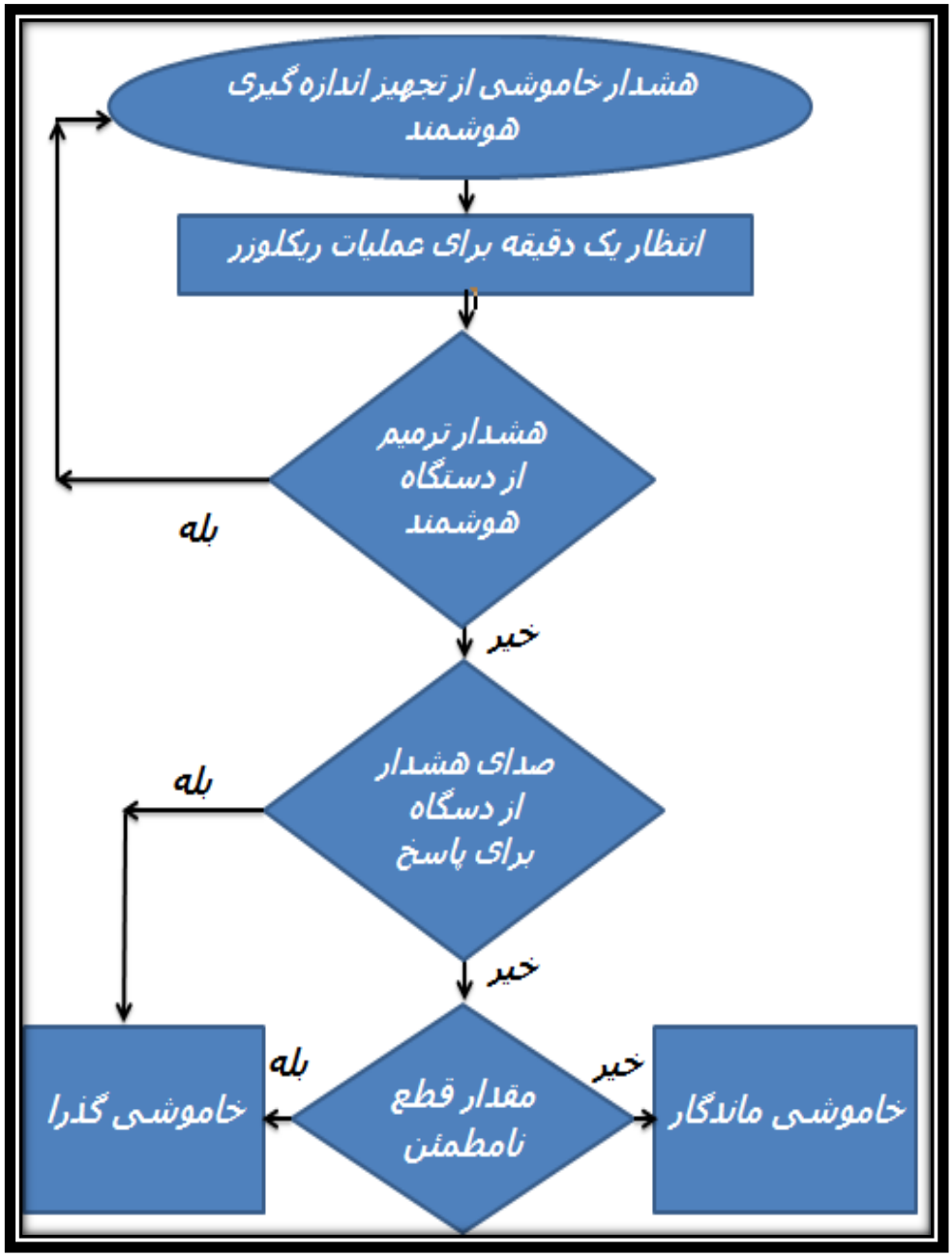
بعد از به دست آوردن اخطار خاموشی ضرورت دارد برای یک دقیقه منتظر عملیات اجرایی برای اقدام بود زیرا خاموشی موقتی در یک دقیقه از بین می‌رود و دستگاه اندازه‌گیر هوشمند در ناحیه حساس، اخطار کمبود منابع در آن قسمت را ارسال می‌کند. اگر هیچ اخطار ترمیم از اندازه‌گیر وجود نداشته باشد اندازه‌گیر هوشمند در AMI ایجاد صدا می‌کند

www.takbook.com

تا حالت جریان منابع را بشناسد. بنابراین اگر پاسخ اندازه‌گیر مثبت بود به این معنی که اگر منابع انرژی نیاز مصرف‌کنندگان را برطرف کنند، اخطار خاموشی مربوط به خاموشی موقتی می‌باشد که توسط تجهیزات حفاظتی اصلاح می‌شود. در سایر موارد در مورد نوع خاموشی نامطمئن هستیم زیرا پاسخ ممکن است مربوط به خاموشی موقتی و یا اختلالات مخابراتی باشد.

به‌علاوه وابستگی زیر سطح غیرمطمئن باید به‌عنوان نوع خاموشی موقت و یا دائم دسته‌بندی شود. اگر عدم اطمینان از گرفتن پاسخ از اندازه‌گیر هوشمند کمتر از مقدار قطع باشد درنتیجه باید فرض شود که اندازه‌گیر پاسخی ندارد، به دلیل خاموشی دائم که در آن سیستم رخداده است. مقدار قطع باید توسط زمان صدا و مقدار متوسط نرخ موفقیت از تمام دستگاه‌های اندازه‌گیری تخمین زده شود. عدم اطمینان از دریافت پاسخ از اندازه‌گیرهای هوشمند بعد از تعیین صدا، منجر به پاسخ نامطمئن از نوع خاموشی خواهد شد. فلوچارت فرآیند شناسایی خاموشی ماندگار در شکل زیر مشخص‌شده است[۳۳,۲۷].

www.takbook.com



شکل(۵-۲): فلوچارت شناسایی خاموشی با استفاده از AMI [۳۳]

www.takbook.com

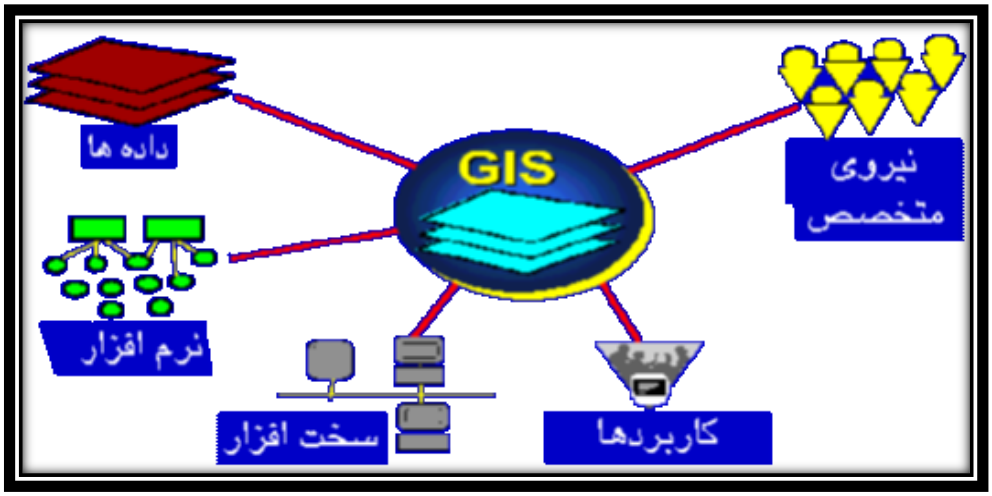
۵-۳-۵- فن‌آوری‌های GIS در مدیریت خاموشی شبکه‌های هوشمند

صنعت برق بنا بر ماهیت آن بروی زمین و ارتباط بی‌واسطه با عوارض و شرایط جغرافیایی، ناگزیر مجبور به استفاده از فن‌آوری‌هایی شده است. دستور مدیریت خاموشی برای اولین بار در کشور آمریکا شروع و تمرکز بروی ارتباط بین مدیریت قطع سیستم، GIS و AMR برای به دست آوردن اطلاعات در زمان واقعی از شبکه، ارتقاء بهره‌وری مدیریت خاموشی برق و همچنین افزایش قابلیت اطمینان منابع تولید برق، توسط فن‌آوری‌های خودکار بوده است[۲۱]. مهم‌ترین اقدام پس از وقوع خاموشی، شناسایی مکان خاموشی و انجام اقدامات لازم برای رفع آن می‌باشد.

با اطلاعات آماری به‌دست‌آمده برای مدیریت بهتر، قبل از وقوع حادثه می‌توان مناطق مختلف شبکه بر اساس پرحادثه و کم حادثه‌خیز بودن و غیره را دسته‌بندی نمود تا بتوان در هنگام وقوع حادثه مدیریت بهتری بر خاموشی داشت. تجربه نشان داده است که برنامه‌های از قبل پیش‌بینی‌شده و پروسه‌های آزمایش‌شده برای مقابله با چنین اتفاقاتی می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی در جلوگیری از تلفات جانی و کاهش خسارت به اموال و صنایع و محیط‌زیست مؤثر باشد. بر همین اساس استفاده از دستگاه‌هایی نظیر سیستم اطلاعات مکانی GIS و بکار گیری تصاویر ماهواره‌ای در شناسایی نقاط بحران می‌تواند بسیار مؤثر باشد.

www.takbook.com

GIS ترکیبی از داده‌های زمین مرجع، سخت‌افزار کامپیوتر و نرم‌افزار مورد استفاده است که می‌تواند با به‌کارگیری داده‌ها به همراه فناوری فوق به تحلیل مسائل بپردازد (شکل ۵-۳). کاربرد GIS عموماً شامل ذخیره‌سازی و تجزیه‌وتحلیل جامع اطلاعات بر پایه اطلاعات مکانی می‌باشد. با توجه به توانایی‌های GIS در ترکیب کردن داده‌های زمین مرجع و نیز با توجه به امکان انجام آنالیزهای پیچیده مربوط به داده‌های مکانی و غیر مکانی، GIS به‌عنوان بهترین وسیله در تعیین مناطقی که بیشترین احتمال بروز بحران در آن‌ها وجود دارد شناخته می‌شود. ازآنجاکه بیش از ۸۰ درصد اطلاعات موردنیاز مدیریت بحران و خاموشی به مکان و موقعیت خاص بر روی زمین مربوط می‌شوند، لذا وجود، در دسترس بودن و استفاده از داده‌های مکانی برای مدیریت خاموشی امری ضروری است، به‌طوری‌که بدون داده‌های مکانی، امکان مدیریت بهینه خاموشی وجود ندارد[۲۵].



شکل(۵-۳): سیستم GIS [۲۵]

www.takbook.com

فرآیند فعلی مدیریت خاموشی و اتفاقات در شبکه‌های سنتی، یک فرآیند پیچیده و زمان‌بر است و گردش کارها در رسیدگی به حوادث و اتفاقات باعث بروز مشکلات زیادی شده است. از دلایل بروز چنین مشکلاتی، عدم وجود اطلاعات صحیح، دقیق، به‌روز شده، قابل‌اعتماد و ساختاریافته شبکه برق و استفاده از فناوری‌ها و سیستم‌های اطلاعاتی مناسب می‌باشد.

وجود GIS در صنعت برق در مقیاس مناسب که اطلاعات کامل شبکه را همراه با نقشه‌های جغرافیایی، که نشان‌دهنده مکان واقعی عناصر شبکه همراه با دیگر عوارض ازجمله گستره شهرها، مراکز صنعتی، مسیر جاده‌ها، خطوط راه‌آهن، رودخانه و غیره را در خود جمع‌آوری کرده باشد، ضروری به نظر می‌رسد و حال اگر این داده‌ها از روش دستی تبدیل داده‌ها به دانش، متکی به تجزیه، تحلیل و تفسیر استفاده می‌شد این تجزیه‌وتحلیل‌های دستی، مجموعه‌های داده‌ای بسیار کند، گران و موضوعی بود که در حقیقت با رشد نمائی حجم داده‌ها، این نوع تجزیه‌وتحلیل‌ها در بسیاری از حوزه‌ها، غیرعملی می‌گردید[۲۶].

www.takbook.com

جدول (۵-۴): کاربردهای GIS در زمینه مدیریت اتفاقات شبکه‌های برق

ردیف	کاربرد
۱	ایجاد یک پایگاه اطلاعاتی منسجم و یکپارچه از کلیه اطلاعات موجود در صنعت برق
۲	برنامه‌ریزی بازدیدهای دوره‌ای با توجه به وضعیت شبکه و عوارض جغرافیایی
۳	تعیین نقشه پراکندگی درصد آلودگی هوا در طول سال به‌منظور برنامه‌ریزی شستشوی تجهیزات
۴	تعیین کوتاه‌ترین مسیر دسترسی جهت انجام تعمیرات
۵	پیش‌بینی وقوع حوادث با توجه به الگوهای استخراج‌شده و درنتیجه پیشگیری از وقوع حوادث

۵-۳-۵-۱- درخواست‌های OMS از GIS

این درخواست‌ها عبارت‌اند از:

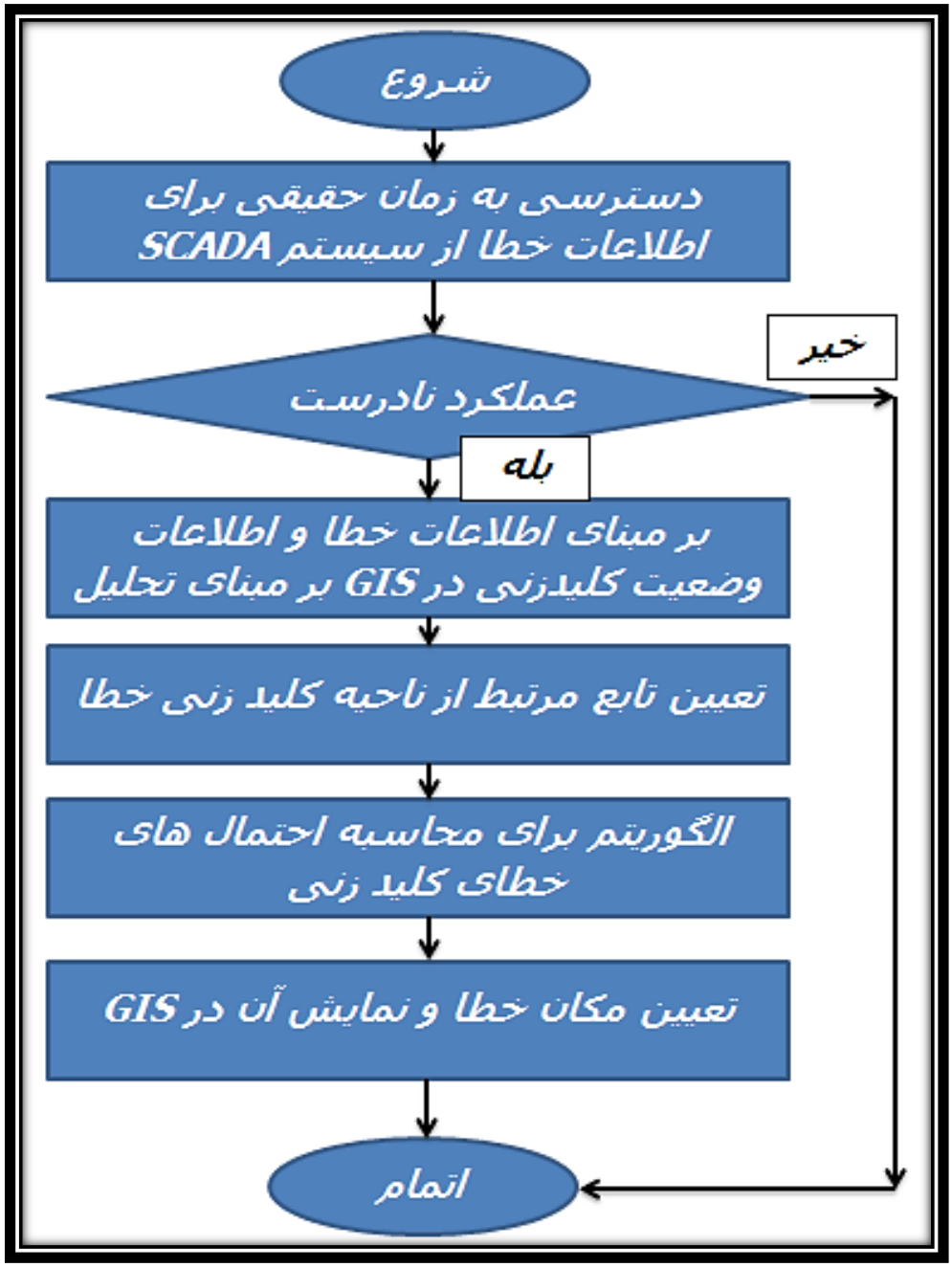
www.takbook.com

- ✓ نمایش موقعیت مشترک در GIS
- ✓ نمایش موقعیت یک تجهیز حفاظتی در GIS
- ✓ نمایش موقعیت یک ترانس در GIS
- ✓ نمایش موقعیت یک فیدر در GIS
- ✓ پیمایش بالا از مشترک تا فیدر و استخراج اطلاعات تجهیزات حفاظتی
- ✓ پیمایش بالا از یک تجهیز حفاظتی تا فیدر و استخراج اطلاعات تجهیزات حفاظتی
- ✓ پیمایش بالا از ترانس تا فیدر و استخراج اطلاعات تجهیزات حفاظتی

۵-۳-۵-۲- چگونگی پاسخ GIS به OMS

GIS در بازه‌های زمانی مشخص و قابل تنظیم به بررسی، دریافت و پردازش درخواست‌های OMS می‌پردازد. به‌محض تشخیص وجود درخواست، آن را بررسی و تعیین صحت نموده، سپس اطلاعات موجود در آن را استخراج و درخواست دریافت شده را تفسیر می‌کند[۱۶].

www.takbook.com



شکل(۵-۴): فلوچارت تشخیص محل خطا در سیستم‌های GIS [۱۶]

www.takbook.com

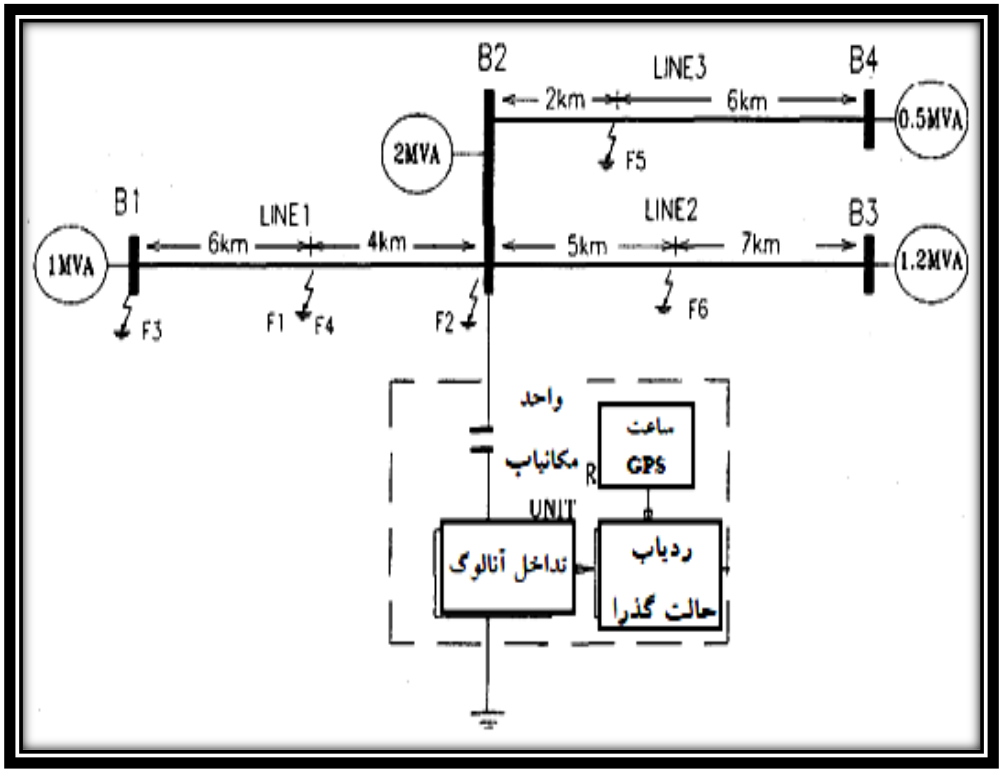
۵-۳-۶- کاربرد GPS در سیستم مدیریت خاموشی

برای بسیاری از کاربردهای برق، بهترین حل مشکل نقشه‌های ناصحیح، استفاده از GPS برای تجدید نقشه دستگاه‌ها و خطوط توزیع می‌باشد. برای استفاده‌های برق از نقشه‌های دقیق منطقی، GPS می‌تواند برای بازبینی و به‌روز کردن و افزایش اطلاعات نقشه استفاده شود. خطا روی خطوط برق، سیگنال‌های باند پهن تولید می‌کند، این سیگنال‌ها بیرون از نقطه عیب با سرعتی نزدیک به‌سرعت نور پخش می‌شوند. اگر سیگنال‌های حالت گذرا کشف‌شده و سپس زمان‌دار شوند محل واقعی عیب می‌تواند روی خط تعیین شود. سیستم تعیین موقعیت جهانی GPS با توانایی‌هایش برای ایجاد هم‌زمانی با دقت ۱μs برای یک ناحیه پهناور پوشش داده‌شده به‌وسیله شبکه سیستم قدرت، همیشه سودمند خواهد بود. بلوک دیاگرام واحد مکان‌یاب عیب در شکل(۵-۵) نشان داده‌شده است.

واحدهای ردیاب حالت گذرای متصل شده به خط از طریق یک خازن اتصال، مسئول گرفتن و ذخیره کردن سیگنال‌های تولیدشده عیب ولتاژ حالت گذرا هستند. مکان‌یاب در شین‌های β۱ وβ۲ وβ۳ وβ۴ به ترتیب نصب‌شده است، وقتی یک عیب روی هر قسمت از شبکه اتفاق می‌افتد، موج‌های فرکانس بالا ولتاژ آغازشده و به سمت بیرون از نقطه آغاز خطا، درهر دو جهت منتشرمی شوند. عیب به هر شین، به ترتیب خواهد رسید که ردیاب‌ها در آنجا نصب‌شده‌اند. هر مکان‌یاب، لحظه ورود موج سیار اولیه‌ی تولیدشده به‌وسیله عیب

www.takbook.com

را ثبت می‌کند. با مقایسه بین زمان ورود هر موج به شین‌های مختلف، زمان واقعی عیب می‌تواند نتیجه شود [۲۴].



شکل(۵-۵): بلوک دیاگرام سیستم خط توزیع با واحد مکان‌یاب عیب [۲۴]

۵-۳-۷- نقش GIS و GPS در مدیریت بحران

مدیریت بر بحران بر سه اصل اساسی شامل حفاظت جان انسان‌ها، حفاظت مال و دارایی‌های آن‌ها و حفظ محیط‌زیست متمرکز می‌شود. به‌منظور مشخص شدن چگونگی

www.takbook.com

تحقق این اهداف، به توضیح توانمندی‌های GIS و GPS در اجرای پنج مرحله‌ی ذکرشده از مراحل بحران خواهیم پرداخت[۲۵,۲۴,۲۳,۲۲].

۵-۳-۷-۱- مراحل بحران

۵-۳-۷-۱-۱- طرح‌ریزی

برنامه‌های مدیریت بحران با شناخت مناطق مستعد بحران آغاز می‌شود. مدیران مقابله با بحران، می‌توانند با استفاده از GIS، مناطق پرخطر و زمان وقوع بحران را با تقریب قابل قبولی مشخص کنند. زمانی که اطلاعات و نقشه‌های مناطق وقوع حوادث و خطرها (زلزله، آتش‌سوزی، سیل، مناطق در معرض انفجار و غیره) با نقشه‌های دیگر (خیابان‌ها، لوله‌کشی‌ها، خطوط انتقال و شبکه توزیع برق، مناطق مسکونی و غیره) دیده شود، مسئولان مدیریت بحران می‌توانند مراحل بعدی، یعنی پیشگیری، آمادگی، امداد و بازسازی را در اسرع وقت و به شکل مطلوبی انجام دهند.

با توجه به اطلاعات و نقشه‌های جمع‌آوری‌شده در این سیستم، گروه‌های مقابله با بحران به این نتیجه می‌رسند که در چه نقاطی نیاز به اقدامات پیشگیرانه است، در چه مناطقی باید آمادگی رویارویی با بحران را ایجاد کرد، در چه نقاطی باید با بحران مقابله کرد و چه

www.takbook.com

عملیات بازسازی پس از وقوع حادثه موردنیاز است. به‌کارگیری GIS این امکان را به طراحان می‌دهد تا ترکیب‌های مناسب داده‌ها را از طریق نقشه‌های کامپیوتری، بررسی کنند و با انجام آنالیزهای موردنیاز به یک برنامه‌ریزی صحیح در مدیریت بحران برسند[۲۶,۲۵].

۵-۳-۷-۱-۲- پیشگیری

زمانی که وضعیت نقاط بحران مشخص گردید، اقدامات پیشگیرانه باید طراحی و اجرا گردند که منجر به آن می‌شود که قبل از وقوع بحران با استفاده از اطلاعات جمع‌آوری‌شده در این سیستم، تصمیمات صحیح اتخاذ و از میزان خسارت به میزان قابل‌توجهی کاسته شود[۲۳].

۵-۳-۷-۱-۳- آمادگی

با توجه به اطلاعات جمع‌آوری‌شده در GIS می‌توان پاسخ درستی برای سؤال‌های تعیین‌کننده در زمینه آمادگی مقابله با بحران یافت. سوالاتی از قبیل: اگر زمان کمی برای واکنش داشته باشیم، نزدیک‌ترین ایستگاه برای ارائه خدمات در کجا واقع است و نحوه دسترسی به محل وقوع خطا چگونه است و احتمالاً چه تجهیزاتی برای مقابله با آن خاموشی احتیاج می‌باشد و غیره.

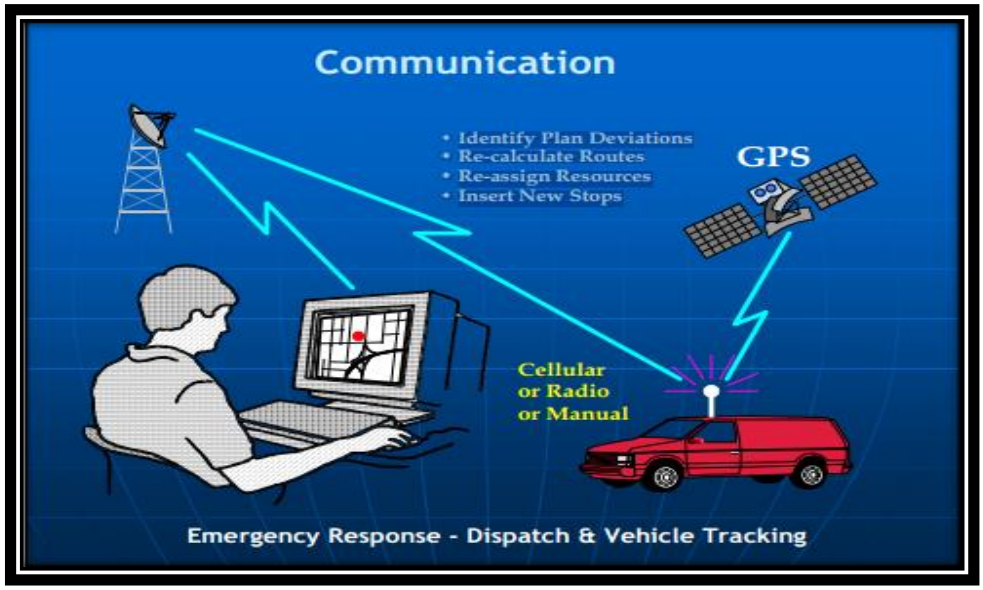
www.takbook.com

سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌تواند شاخص‌های اوضاع جوی (جهت باد، دما و رطوبت نسبی) را بر اساس موقعیت مکانی مشخص نماید. این سیستم می‌تواند اطلاعاتی نظیر محل استقرار DG ها، خطوط و دکل‌های انتقال، نقشه‌های به‌روز شده شبکه برق، نقاط مانور، فیدرهای حساس و مکان انبارهای اضطراری را ذخیره کند تا در مواقع حساس و در کمترین زمان برای مقابله با بحران به آن‌ها دسترسی پیدا کرد. در این صورت انتقال اطلاعات و نمایش جغرافیایی آن‌ها جهت اطلاع‌رسانی عمومی و استفاده یک یا چند سازمان خاص از آن‌ها امکان‌پذیر خواهد شد[۲۲].

۵-۳-۷-۱-۴- امداد

واحدهایی که برای مقابله با بحران در نقاط مشخص مستقرشده‌اند، جهت انجام عملیات انتخاب‌شده و به محل اعزام می‌شوند. متناسب با وضعیت محل وقوع بحران، GIS می‌تواند جزئیات اطلاعات را قبل از رسیدن اولین واحد به محل فراهم نماید. مکان‌یابی خودروهای عملیاتی پیشرفته می‌تواند با استفاده از GPS، سرعت، مکان و زمان واقعی واحدهای مقابله با بحران را بر روی نقشه مشخص کند. در هنگام وقوع چند رخداد اضطراری به‌طور هم‌زمان در مکان‌های مختلف، GIS می‌تواند موقعیت مکانی واحدهای مقابله با بحران را جهت اعزام گروه به محل برای بهبود شرایط مشخص کند[۲۴].

www.takbook.com



شکل(۵-۶): ارتباط مرکز مدیریت و واحدهای مقابله با بحران با فناوری GPS [۲۴]

۵-۳-۷-۱-۵- بازسازی

زمانی که شرایط اضطرار به پایان رسید، جبران خسارت و بازسازی در دو مرحله آغاز می‌شود:

- ✓ **بازسازی کوتاه‌مدت:** در این مرحله سیستم‌های حیاتی راه‌اندازی می‌شود، مثل برق‌دار کردن شبکه‌های توزیع توسط ژنراتورهای اضطراری و یا ژنراتورهایی اضطراری که برای مصارف مشترکین صنعتی در نزدیکی محل وقوع بحران موجود می‌باشند. در شرایط کنونی با استفاده از سیستم اطلاعات

www.takbook.com

مکانی، می‌توان میزان پیشرفت بازسازی خطوط فشارقوی و ضعیف و غیره، شبکه برق را پس از خاموشی پیگیری کرد[۲۳]. یکی از مشکل‌ترین مراحل در زمان بروز حوادث، برآورد میزان خسارت و خرابی‌ها هست. GIS می‌تواند با استفاده از فن‌آوری GPS در نشان دادن تأسیسات صدمه‌دیده، شدت و میزان خرابی‌ها و درنتیجه برآورد میزان خسارت و مشخص نمودن حق تقدم بازسازی خرابی‌ها بسیار مفید باشد. پس‌ازآنکه GIS برآورد میزان خرابی‌ها را به‌عنوان داده اولیه منتقل نمود، واحدهای مقابله با بحران، وسایل و تجهیزات لازم و متناسب با میزان و نوع خسارت را به منطقه موردنظر ارسال می‌کنند. GIS نقاطی که به حالت اولیه بازگردانده شده‌اند را نشان می‌دهد، بنابراین می‌توان نیروهای مقابله با بحران اعزامی به آن مناطق را فراخواند و در نقاط دیگر بکار گرفت[۲۴].

- ✓ **بازسازی درازمدت:** در این مرحله همه سرویس‌ها و سیستم‌ها به حالت عادی کارکرد یا شرایط بهتر از قبل برمی‌گردند. جبران خسارات درازمدت ممکن است چندین سال طول بکشد، طرح‌های درازمدت، الویت انجام طرح‌های بزرگ و مراحل تکمیل طرح‌ها می‌توانند به‌وسیله GIS نمایش داده‌شده و پیگیری شوند. محاسبه هزینه‌های مربوط به بلایای طبیعی می‌تواند

www.takbook.com

بسیار پیچیده باشد، زمانی که بودجه جهت اصلاح خرابی‌ها تخصیص داده شد، اطلاعات مربوط به هزینه هر منطقه ثبت می‌شود. هزینه جبران خسارات درازمدت می‌تواند در مورد بلایای بزرگ به میلیون‌ها دلار برسد، محاسبه اینکه این سرمایه کجا و چگونه به مصرف برسد امری دشوار می‌باشد که استفاده از GIS سختی این کار را بسیار کمتر می‌کند[۲۵].

۵-۳-۸- سیستم مدیریت داده‌های اندازه‌گیری MDM[۳۳]

سیستم MDM محلی را برای ذخیره، دسترسی و مدیریت داده‌ها از سیستم‌های اندازه‌گیری مختلف فراهم می‌آورد. همچنین MDM امکان بررسی دقیق اطلاعات جمع‌آوری شده همانند قابلیت تایید، ویرایش، تخمین، کنترل، پیگیری رویدادها و کنترل تجهیز انتهایی را نیز فراهم می‌آورد.

[۳۳] Metering Data Management

www.takbook.com

۵-۴- نحوه کار سیستم OMS

شکل(۵-۷): اجزای سیستم مدیریت خاموشی

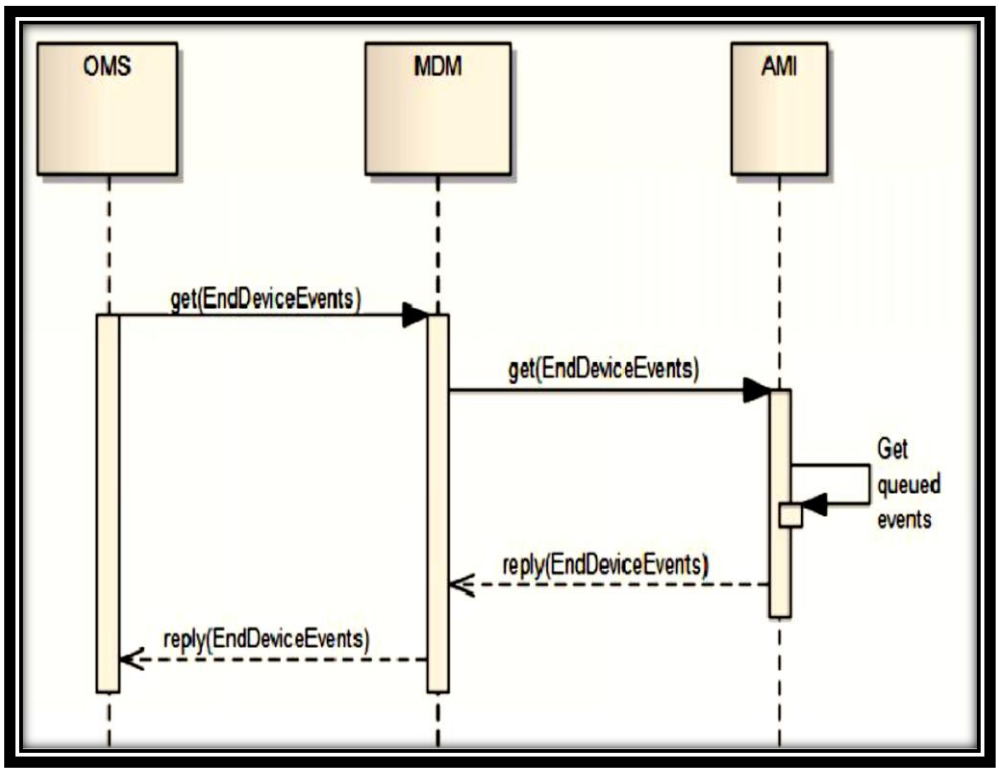
www.takbook.com

زمانیکه یک خاموشی ناشی از فرمان SCADA نباشد، شرکت‌های برق معمولا بسته به تعداد تماس مشتریان می‌توانند محل خطا را مشخص نمایند. استفاده از سیستم اندازه‌گیری می‌تواند راهی برای شناسایی محل خطا فراهم نماید. برای یک سیستم اندازه‌گیری، مشخص نمودن قطعی ارتباط مخابراتی با یک کنتور امکان‌پذیر است و به صورت یک رویداد گزارش می‌گردد که می‌تواند برای استفاده در یک سیستم مدیریت قطعی مناسب باشد. مسئله مهم این است که لزوماً ممکن است از دست دادن ارتباط مخابراتی با یک کنتور برای شناسایی وجود یک قطعی مناسب نباشد زیرا از دست دادن ارتباطات با کنتورها در بازه‌های کوتاه برای برخی از زیرساخت‌های سیستم اندازه‌گیری معمول است[۳۶].

برخی از سیستم‌های اندازه‌گیری نیز هشدارهای اشتباهی را در نتیجه بکارگیری تکنولوژی ارتباطی با کنتورها تولید می‌نمایند. از این رو بسیاری از تولیدکنندگان بر روی پیشرفت تکنولوژی و دقت اطلاعات متمرکز گردیده‌اند. گاهی اوقات MDM نقش مشابه‌ای را در پاکسازی اطلاعات اندازه‌گیری برای صدور صورتحساب دارد. بنابراین MDM می‌تواند نقشی در پاکسازی اطلاعات قطعی قبل از ارسال به OMS برعهده داشته‌باشد که بستگی به توانایی سیستم اندازه‌گیری در تهیه اطلاعات دقیق، پاکسازی اطلاعات بدون ایجاد وقفه‌های اضافی انجام می‌گیرد. برای پشتیبانی از تجزیه و تحلیل خاموشی و فیلتر نمودن داده‌های بد، سیستم اندازه‌گیری ممکن است بازبینی اطلاعات و کیفیت اندازه‌گیری آن‌ها

www.takbook.com

را برای یک رویداد قطعی مشابه پشتیبانی نماید و به طور مشابه بازبینی اطلاعات برای قرائت‌های صدور صورتحساب انجام دهد. شکل (۸-۵) بکارگیری MDM به‌عنوان واسط اطلاعات خاموشی را نشان می‌دهد.

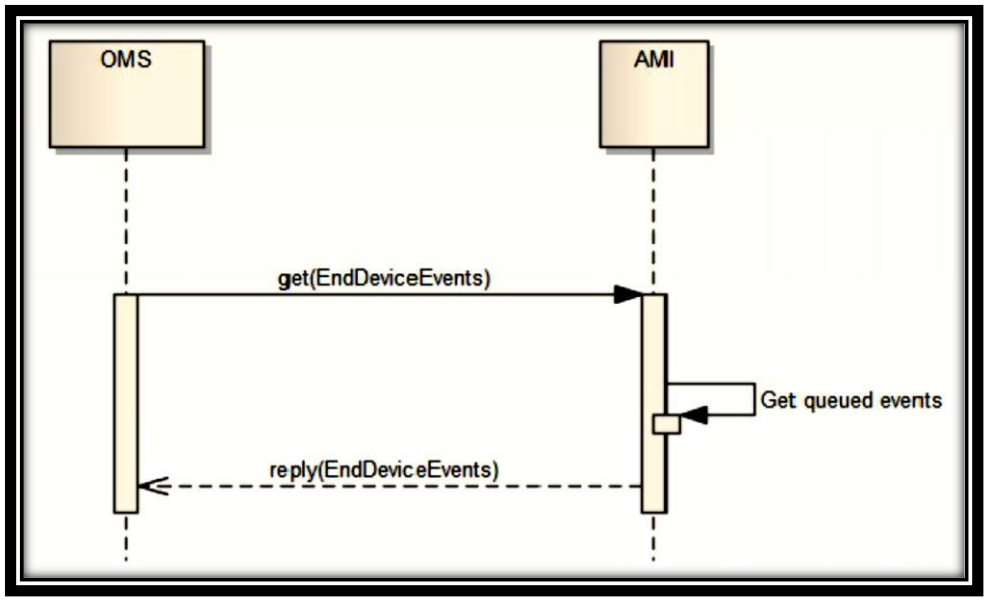


شکل(۵-۸): شناسایی خاموشی، تبادل پیام درخواست/پاسخ، نمونه

سیستم مدیریت خاموشی اتصالات الکتریکی را براساس توپولوژی شبکه تجزیه و تحلیل می‌کند. نوع رویداد تجهیز انتهایی(End Device Event Type) تعیین می‌نماید که یک

www.takbook.com

خاموشی توسط یک تجهیز انتهایی شناسایی گردیده است. یک رویداد تجهیز انتهایی (End Device Event)می‌تواند نشان‌دهنده امکان وجود یک قطعی باشد. یک قطعی معمولا پیامد تجزیه و تحلیل خاموشی در نرم افزار OMS است که بسیاری از رویدادها را جمع آوری نموده است. استفاده MDM به‌عنوان واسط اطلاعات قطعی به تشخیص شرکت برق انجام می‌پذیرد. در برخی پیاده‌سازی‌ها، درخواست شناسایی قطعی از OMS مستقیما به سیستم اندازه‌گیری ارسال می‌گردد که این امر در شکل (۵-۹) نشان داده‌شده‌است.



شکل(۵-۹): شناسایی خاموشی، تبادل پیام درخواست/پاسخ، نمونه

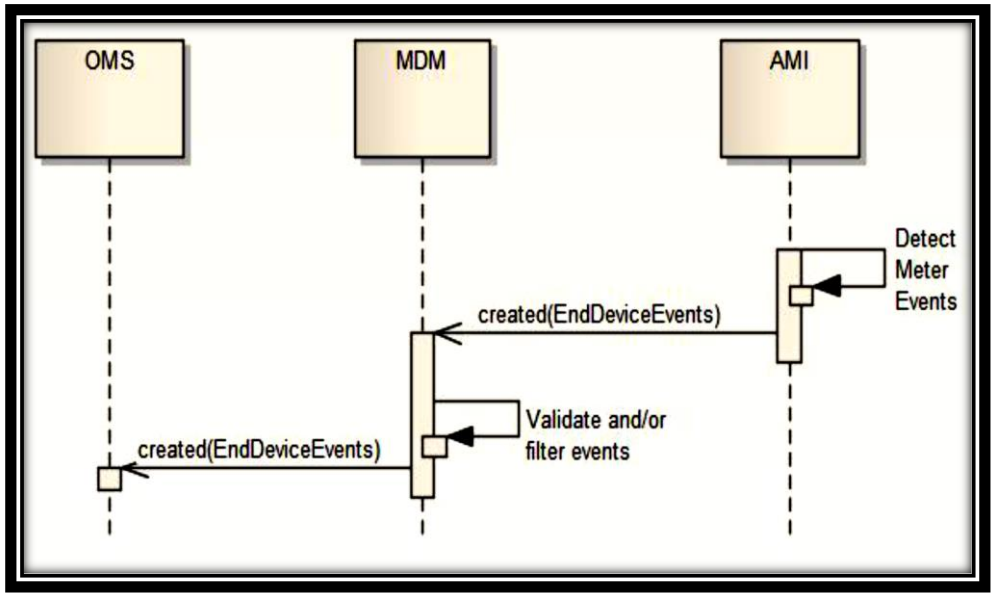
پاسخ (همزمان یا غیرهمزمان) از سیستم اندازه‌گیری، در قالب صفر یا تعدادی از رویدادهای تجهیز انتهایی (End Device Events) ارائه می‌گردد. ساختار MRID یا نام‌ها،

www.takbook.com

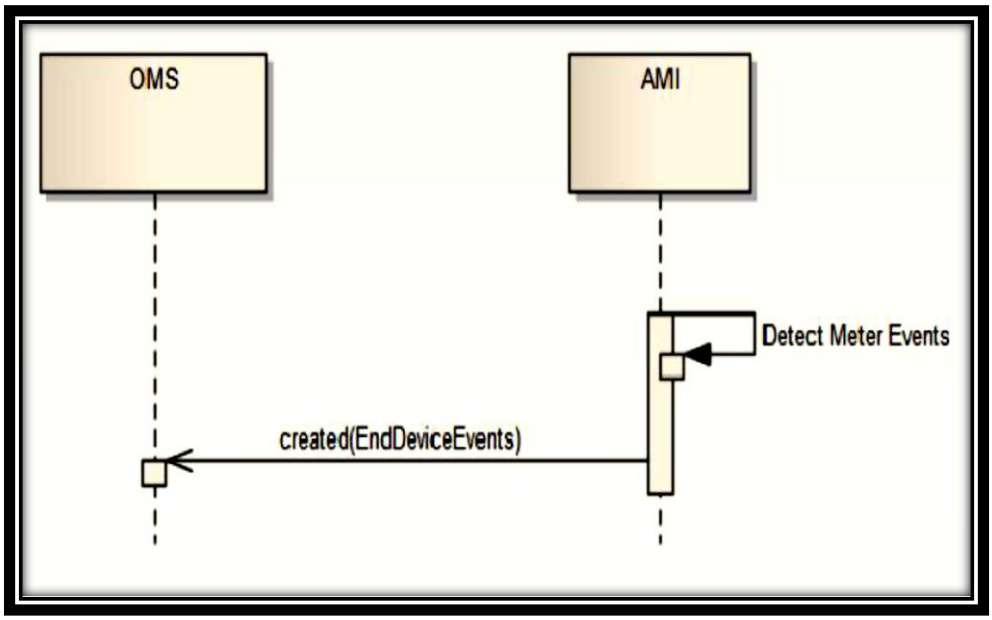
مشخص می‌نماید که چه تجهیزات انتهایی (برای مثال کنتورها) دچار قطعی شده یا در حال بازیابی هستند. برخی از کاربران اطلاعات که با سیستم اندازه‌گیری (MS) در تعامل هستند، ممکن است تنها با شناسه (ID) کنتور سروکار داشته باشند. بسته به نحوه پیاده‌سازی ممکن است حوزه تبادل MRID با استفاده از کلاس نام به شناسه (ID) کنتور محدود گردد.

وضعیت رویداد تجهیز انتهایی (End Device Event status) می‌تواند به صورت دایر (live) یا غیر دایر (dead) نشان داده شود. برخی از سیستم‌های اندازه‌گیری، اطلاعات وضعیت را به صورت مشترک با استفاده از کلاسEnd Device Event Detail تکمیل می‌نمایند. End Device Event Type می‌تواند برای نشان دادن وضعیت یک کنتور یا ترانسفورماتور به کار رود. زمانی تبادل درخواست/پاسخ مفید است که سیستم مدیریت خاموشی (OMS) نیاز به اطلاعات تکمیلی دارد. برخی از سیستم‌های اندازه‌گیری قادر به تشخیص خودکار قطعی‌ها می‌باشند. یک تبادل انتشار/اشتراک (SUB/PUB) در این شرایط ایده‌آل است. شکل (۵-۱۰) آرایشی را نشان می‌دهد که MDM به‌عنوان یک واسط داده در این تبادل عمل می‌کند. شکل (۵-۱۱) آرایشی که در آن اطلاعات مستقیماً از سیستم اندازه‌گیری به سیستم مدیریت خاموشی می‌رود را نشان می‌دهد.

www.takbook.com



شکل(۵-۱۰): شناسایی خاموشی، تبادل انتشار/اشتراک، نمونه



شکل(۵-۱۱): شناسایی خاموشی، تبادل انتشار/اشتراک، نمونه

www.takbook.com

ساختار پیام Meter Readings ابزاری را برای ارسال رویدادهای تجهیز انتهایی (End Device Events) فراهم می‌آورد. نمونه‌های قبلی نشان داده‌شده که تبادل پیام‌های رویداد تجهیز انتهایی با هدف پشتیبانی از عملکردهای مدیریت خاموشی انجام می‌پذیرد. همانطور که قبلا گفته شد ایجاد درخواست قرائت، بنا به تقاضا سیستم اندازه‌گیری برای بدست آوردن وضعیت عملکرد یک تجهیز، توسط سیستم مدیریت خاموشی یا سیستم MDM انتخابی است که این امر با استفاده از یک تبادل Get (Meter Readings) صورت می‌گیرد.

www.takbook.com

فصل ششم

مدل‌سازی مشترکین – معرفی نرم‌افزارهای کاربردی مدیریت خاموشی

۶–۱– مقدمه

شبکه هوشمند ازنظر اقتصادی و بهره‌وری انرژی، با قابلیت پایش بی‌درنگ مصرف و مدل‌سازی دقیق مصرف‌کننده‌ها و منابع تولید، موجب بهره‌برداری اقتصادی‌تر از شبکه می‌شود. بهره‌برداری بهینه از سیستم، موجب کاهش قیمت‌های برق می‌شود و رضایت مصرف‌کنندگان را به دنبال دارد. در این فصل در قسمت اول به این مدل‌سازی خواهیم پرداخت و در قسمت دوم به معرفی برخی نرم‌افزارهای پرکاربرد در حوزه مدیریت خاموشی می‌پردازیم.

www.takbook.com

۶-۲- نحوه مشارکت مشترکین شبکه هوشمند در سیستم مدیریت خاموشی

افزایش انتظار مشتری‌ها، محدودیت منابع انرژی و هزینه بهره‌برداری منابع جدید برای تولید برق نشان‌دهنده این موضوع است که شبکه برق درخطر است. مخصوصاً در حوادث خاموشی سیستم‌های قدرت، فقدان مکان‌یابی موقعیت خطا، در اغلب موارد منجر به خطای بزرگ در سیستم می‌شود که یکی از دلایل هزینه‌های سنگین بر کل مجموعه است. برای مثال هزینه سالیانه ناشی از خاموشی در ایالات‌متحده امریکا در سال ۲۰۰۲ در حدود ۷۹ میلیارد دلار تخمین زده‌شده است، که این مبلغ در سال ۲۰۰۷ به حدود ۱۰۰ میلیارد دلار رسیده است. ازاین‌رو مطالعه یک برنامه مدیریت خاموشی مؤثر در حوادث توزیع قدرت در شبکه (برای مثال برنامه‌ای برای کوتاه شدن بهینه مدت‌زمان خاموشی برای مشتری‌ها) به‌منظور کاهش ضربه بحرانی به‌کل سیستم، یکی از مهم‌ترین مسائل برای بهبود قابلیت اطمینان سیستم است[۳۲].

این رویایی است که یک شبکه هوشمند بخواهد جریان شبکه قدرت را به توابع بسیار هوشمند انتقال دهد، ارائه مکان‌یابی موقعیتی خطا و فراهم نمودن حالت منعطف در برابر خرابی تجهیزات و ضربات سنگین روی شبکه، از اهداف می‌باشد. در یک شبکه هوشمند انرژی، مشتری‌ها قادر هستند در فرایند تصمیم‌گیری راجع به مدیریت‌های متنوع شبکه،

www.takbook.com

مشارکت داشته باشند و روی پارامترهایی که بهترین حفاظت از شبکه را در مقابل هر خطای نامطلوبی داشته باشد، توافق داشته باشند. ازاین‌رو تحقیقات گسترده‌ای به قابلیت اطمینان سیستم و حفاظت قبل و بعد خطا، در شبکه‌های هوشمند تخصیص داده‌شده است[۳۲].

یکی از کلیدی‌ترین چالش‌ها برای قابلیت اطمینان شبکه‌های هوشمند، مدیریت بعد از خاموشی توسط مشتری‌ها فورا بعد از یک خاموشی در شبکه است. یک خاموشی ممکن است به دلیل خطا در خطوط قدرت و یا ماهیت متناوب منابع انرژی تجدیدپذیر رخ دهد. ازاین‌رو به‌منظور مدیریت مؤثر و کارامد فعالیت‌های شبکه در طول زمان خاموشی، نیاز است قطع برق از مشتری‌ها در شبکه صورت گیرد تا کل سیستم مجدد بتواند عملکرد طبیعی خود را داشته باشد. یکی از اهمیت‌های بالای قطع مؤثر انرژی این است که هزینه کل شبکه سراسری را کاهش می‌دهد. این مسئله می‌تواند مهم باشد که یک کاهش ۱٪ در هزینه کل، سود قابل‌توجهی در سیستم داشته باشد. برای مثال هزینه کل خاموشی در امریکا در سال ۲۰۰۲ تنها با کاهش ۱٪ از هزینه کل خاموشی به میزان ۷۹۰ میلیون دلار کاهش یافت. درنتیجه پرداختن به حل این موضوع که بتوان هزینه کل سیستم را به‌صورت بهینه کاهش داد، موجب کاهش دوره زمانی خاموشی و درنتیجه سود مشتریان سیستم قدرت خواهد شد درنتیجه بسیار ضروری است[۳۳,۳۲].

www.takbook.com

۶-۳- مدل سیستم

سیستم شبکه هوشمند را با یک منبع انرژی و چندین مصرف‌کننده انرژی در نظر می‌گیریم. منابع انرژی می‌تواند یک ژنراتور واحد و یا ترکیبی از چند واحد تولیدکننده منابع تجدیدپذیر از قبیل مزرعه بادی، خانه‌های هوشمند، مزرعه خورشیدی باشند. در این سیستم فرض شده است هر منبع انرژی به یک اندازه‌گیر هوشمند که قابلیت تصمیم‌گیری روی مقدار انرژی را باکم کردن منابع دارا می‌باشد، مجهز شده است، همچنین در این سیستم، هر مصرف‌کننده توسط خطوط قدرت به منبع انرژی متصل است. اندازه‌گیرهای هوشمند اغلب متصل شده‌اند به منابع انرژی توسط شبکه ناحیه‌ای محلی (LAN). تمام ارتباطات بین منابع انرژی و مصرف‌کنندگان انرژی توسط پروتکل های مخابراتی مناسب انجام می‌شود[۳۴].

منابع انرژی تجدیدپذیر ممکن است در معرض نوسان باد و دسترسی انرژی برای مشتری‌ها، خیلی پراهمیت شوند، برای مثال درزمانی که اتفاق غیرمترقبه رخ می‌دهد از قبیل روز ابری، که تولید انرژی خورشیدی با مشکل مواجه می‌شود و یا خطایی در چند منبع تولید انرژی که یک توزیع انرژی ممکن در شبکه هوشمند است، اتفاق بیافتد. درنتیجه منابع انرژی تجدیدپذیر ممکن است قادر نباشند تقاضای کامل انرژی را برای یک دوره زمانی معین پاسخ‌گو باشند. اگر یک دوره زمانی معین از روز را در نظر بگیریم، میزان کل

www.takbook.com

انرژی موردتقاضا توسط مشتری‌ها و مقدار انرژی در دسترس از منابع انرژی موجود با توجه به قطعی‌های رخ‌داده شده، از میزان کل منابع تولیدی کمتر است[۳۲]. اگر منابع تولیدی نتواند تقاضای اضافی را پاسخگو باشد داریم:

$$E_x = E_d - E_a \qquad (۱-۶)$$

Ea: انرژی در دسترس، Ed: انرژی مورد تقاضا، Ex: کمبود انرژی

بنابراین این میزان کمبود انرژی باید از مشتری‌ها کسر شود و درنتیجه مصرف‌کنندگان در خاموشی قرار می‌گیرند. اگر e_n میزان انرژی‌ای باشد که از مصرف‌کننده n ام کسر می‌شود، کسر انرژی از تمام n مصرف‌کننده باید در محدوده زیر تعریف شود:

$$\sum e_n = E_x \qquad (۲-۶)$$

میزان کسر انرژی کلی Ex می‌تواند با قطعی انرژی مناسب از تمامی مصرف‌کنندگان مدیریت شود که نیازمند توزیع انرژی مطمئن در شبکه هوشمند می‌باشد. نیازهای انرژی مشترکین، فاکتورهای مختلفی از قبیل ساعت، روز و نوع هر مصرف‌کننده وابسته است. برای مثال نیاز انرژی یک مدرسه و ماندن تمام منابع انرژی در آن، در زمان تعطیلات سال

www.takbook.com

تحصیلی، کم‌تر اهمیت دارد، ازاین‌رو تمامی فاکتورها زمانی که طراحی برنامه قطع انرژی برای مصرف‌کنندگان صورت می‌گیرد، باید محاسبه شوند. بنابراین عمده‌ترین چالشی که در فرآیند تصمیم‌گیری قطع انرژی در شبکه هوشمند و در حوادث قطع انرژی با آن مواجه هستیم شامل موارد زیر می‌شود[۳۱]:

- ✓ مدل‌سازی فرآیند تصمیم‌گیری قطع انرژی مشترکین در محدوده معین رابطه (۶-۲)
- ✓ دریافت نیازهای انرژی مشترکین در طی فرآیند تصمیم‌گیری برای قطع انرژی
- ✓ توسعه یک الگوریتم که بتواند میزان انرژی قطع‌شده مشترکین را بهینه کند تا مجموع هزینه‌های واردشده به سیستم حداقل شود

به‌منظور ترتیب دادن به چالش‌های بالا، ابتدا تابع هزینه هر مشترک را تعریف کرده و سپس فرآیند تصمیم‌گیری به‌عنوان یک مسئله بهینه‌سازی محدود فرمول‌بندی می‌شود.

۶-۳-۱- تابع هزینه مصرف‌کنندگان

به‌منظور به دست آوردن اثرات قطع انرژی روی تمام شبکه هوشمند، یک تابع هزینه c_n برای هر مصرف‌کننده در شبکه با در نظر گرفتن $n \in N$ تعریف می‌شود، که نشان‌دهنده هزینه تحمیل‌شده توسط n مشترک به علت قطع انرژی e_n از آن می‌باشد.

www.takbook.com

انتخاب تابع هزینه برمبنای کاهش خطی هزینه با کاهش منابع تأمین‌کننده انرژی است که برای مصرف‌کنندگان برق مطلوب‌تر می‌باشد. تابع هزینه c_n برای n مصرف‌کننده به‌صورت زیر تعریف شده است[۳۲].

$$c_n(\mathrm{e}_n,\theta_n)=\mathrm{k}_1 e_n^{\,2}+k_2(\mathrm{e}_n-\theta_n \mathrm{e}_n) \qquad (۳-۶)$$

که در رابطه بالا $k_1,k_2 \succ 0$ فاکتور اندازه‌گیری و θ_n پارامتر اولویت مشتری (cpp[۳۴]) از n مصرف‌کننده می‌باشد. θ_n درواقع میزان اولویت هر مصرف‌کننده برای مقدار انرژی قطع‌شده می‌باشد. برای مثال قطع یک کیلووات ساعت انرژی می‌تواند تأثیر بدتر روی صنعت نسبت به یک‌خانه مسکونی داشته باشد. درنتیجه cpp برای قطع انرژی یکسان برای خانه مسکونی نسبت به صنعت باید مختلف باشد. بر طبق معادله (۶-۳) هرچه قدر میزان cpp بالاتر باشد منجر به هزینه کمتری برای مصرف‌کننده می‌شود ازاین‌رو یک مصرف‌کننده با cpp بالاتر نسبت به مصرف‌کننده با cpp پایین‌تر می‌تواند هزینه بیشتر قطع انرژی را تحمل کند[۳۲].

۶-۳-۲- فرمول‌بندی مسئله

از معادله (۶-۳) واضح است که برای یک‌میزان ثابت انرژی قطع‌شده از یک مصرف‌کننده، هزینه متحمل شده توسط هر مصرف‌کننده تغییر می‌کند همان‌گونه که cpp هر

[۳۴] Customer preference parameter

www.takbook.com

مصرف‌کننده تغییر می‌کند. ازاین‌رو تمام n مصرف‌کننده در شبکه هوشمند نیازمند انتخاب بهینه میزان انرژی قطع‌شده e_n از شبکه برای حداقل سازی هزینه کلی واردشده به‌کل سیستم می‌باشد. درنتیجه داریم:

$$\min_{e_n} \sum_n c_n(\mathrm{e}_n, \theta_n) = \min_{e_n} \sum_n (\mathrm{k}_1 \mathrm{e}_n{}^2 + \mathrm{k}_2(\mathrm{e}_n - \theta_n \mathrm{e}_n)), \quad (۴-۶)$$
$$subject - to \sum_n e_n = E_x, \forall \mathrm{n} \in N$$

مسئله بهینه‌سازی در معادله (۴-۶) می‌تواند با یک روش تمرکزیافته توسط منابع حل‌شود اگر تمام پارامترهای منابع شناخته‌شده باشد. به‌هرحال در شبکه هوشمند ممکن است نتوانیم منابع را به‌طور کامل در فرآیند تصمیم‌گیری برای مصرف‌کنندگان کنترل کنیم، مخصوصاً ممکن است پارامتر اولویت θ_n برای برخی مصرف‌کنندگان ممکن است شناخته‌شده نباشد. درنتیجه یک برنامه تصمیم‌گیری غیرمتمرکز برای هر مصرف‌کننده به‌منظور انتخاب داوطلبانه میزان انرژی قطع‌شده از خودشان نیاز است تا کل سیستم دارای بهره‌وری و سود باشد. بهینه‌سازی می‌تواند با هماهنگی‌های معین بین منابع به دست آید[۳۲].

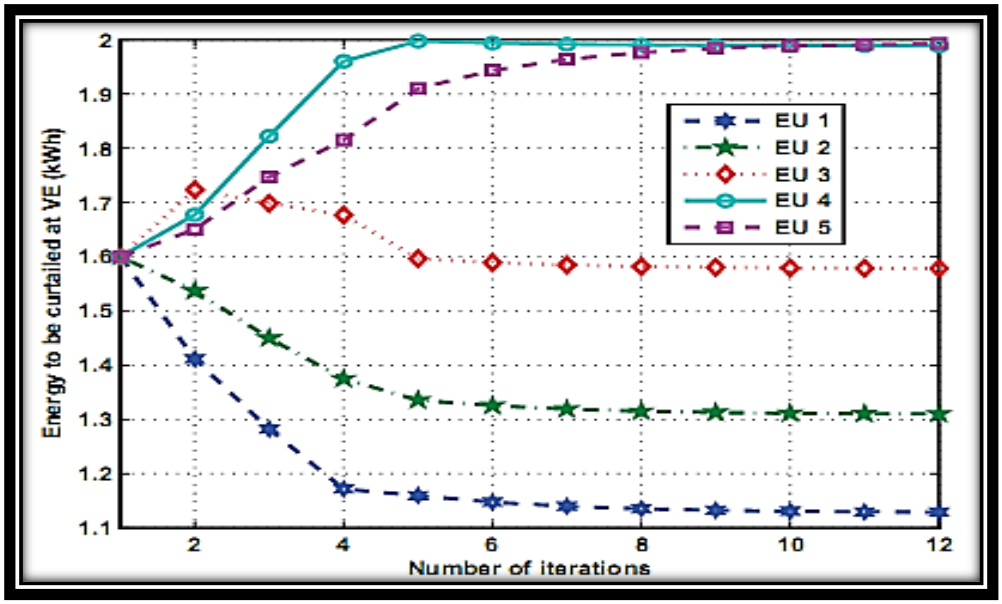
www.takbook.com

۶-۳-۳- شبیه‌سازی عددی

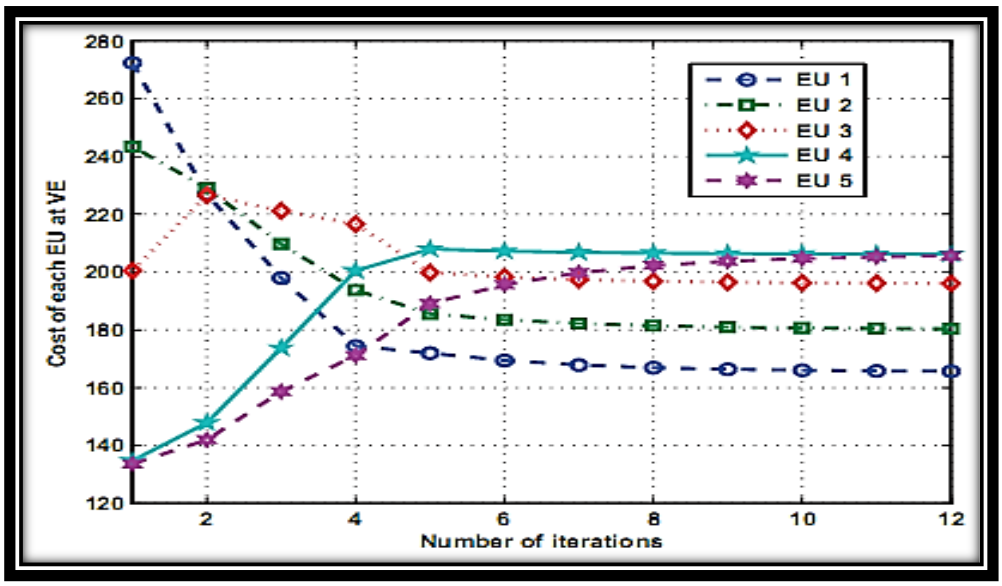
برای شبیه‌سازی برنامه قطع انرژی پیشنهادی، تعدادی مصرف‌کننده را در شبکه در نظر گرفته‌شده و سناریوهای مختلف برای برنامه شبیه‌سازی گشته است. پارامتر اولویت مشتری از یک توزیع تصادفی یکنواخت بین ۰ و ۱ انتخاب‌شده است. مقدار K_1 و K_2 طوری انتخاب‌شده که $\frac{k1}{k2} = 0.5$ تنظیم گردد. حداقل کمبود انرژی ۲kwh و حداکثر کمبود انرژی ۱۰kwh در طول مدت قطع انرژی در نظر گرفته‌شده است.

برای نشان دادن کارایی برنامه ۵ مصرف‌کننده در شبکه در نظر گرفته‌شده که آن‌ها نقش اصلی را در برنامه بهینه‌سازی ایفا می‌کنند، تا تأثیر قطع انرژی کلی را از مقدار ۱۰kwh بر روی شبکه را کاهش دهند. در شکل (۱-۶) و (۲-۶) میزان انرژی قطع‌شده و هزینه آن از هر مصرف‌کننده نشان داده‌شده است. در شکل (۱-۶) و (۲-۶) مشاهده می‌شود هنگامی‌که مقدار انرژی قطع‌شده کاهش می‌یابد هزینه تحمیل‌شده به هر مصرف‌کننده کاهش می‌یابد و برعکس. این به علت تفاوت در پارامترهای اولویت مشتری بوده، بنابراین انتخاب قطع انرژی به میزان زیادی وابسته به مقدار cpp می‌باشد. ازاین‌رو با انتخاب قطع انرژی بیشتر با cpp بالاتر و قطع انرژی کمتر با cpp پایین‌تر توسط مصرف‌کنندگان، هزینه‌های کلی تحمیل‌شده به سیستم می‌تواند کاهش یابد[۳۲].

www.takbook.com



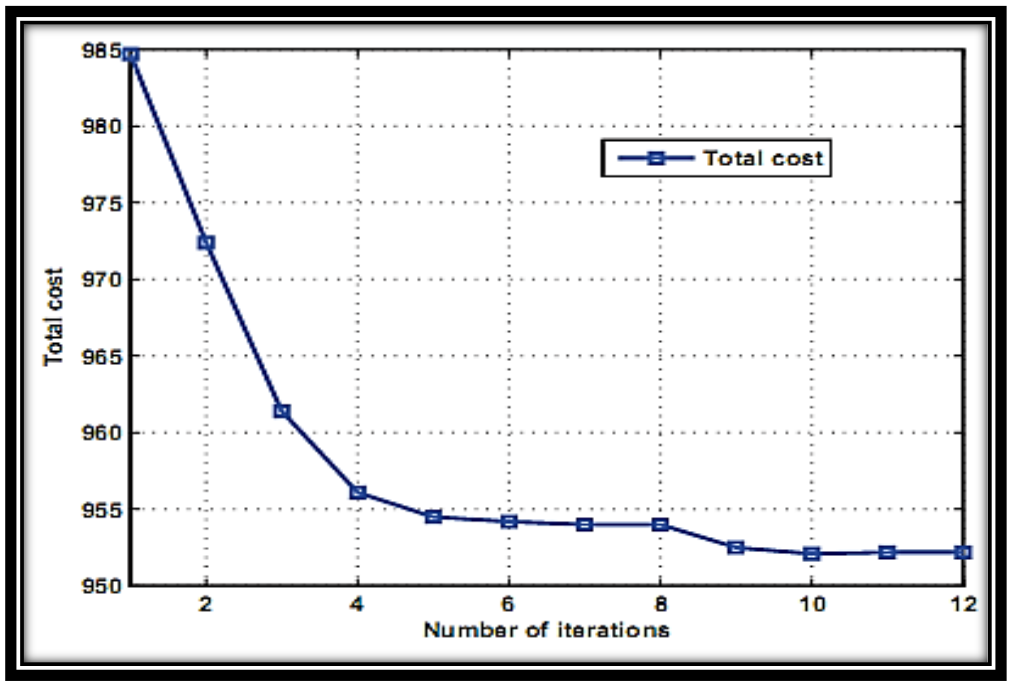
شکل(۶-۱): همگرایی مقدار انرژی قطع‌شده از هر مصرف‌کننده برای تعادل [۳۲]



شکل(۶-۲): همگرایی هزینه افزایش‌یافته توسط هر مشتری برای تعادل [۳۲]

www.takbook.com

هزینه کلی تحمیل‌شده به سیستم در شکل (۶-۳) نشان داده‌شده است که مشاهده می‌شود هزینه کلی تحمیل‌شده به سیستم بعد از ۱۰ تکرار به کمترین میزان خود تقلیل می‌یابد.



شکل(۶-۳): همگرایی هزینه کل سیستم برای تعادل [۳۲]

اگرچه هزینه تحمیل‌شده به هر مصرف‌کننده در تعادل‌های مختلف به کمترین مقدار برای تمامی مصرف‌کنندگان نمی‌رسد اما همان‌گونه که در شکل (۶-۳) نشان داده‌شده است هزینه کلی تحمیل‌شده به سیستم کاهش می‌یابد. این به دلیل انتخاب انرژی بر مبنای اولویت برای تمامی مصرف‌کنندگان در شبکه می‌باشد. یک مصرف‌کننده با cpp بالاتر

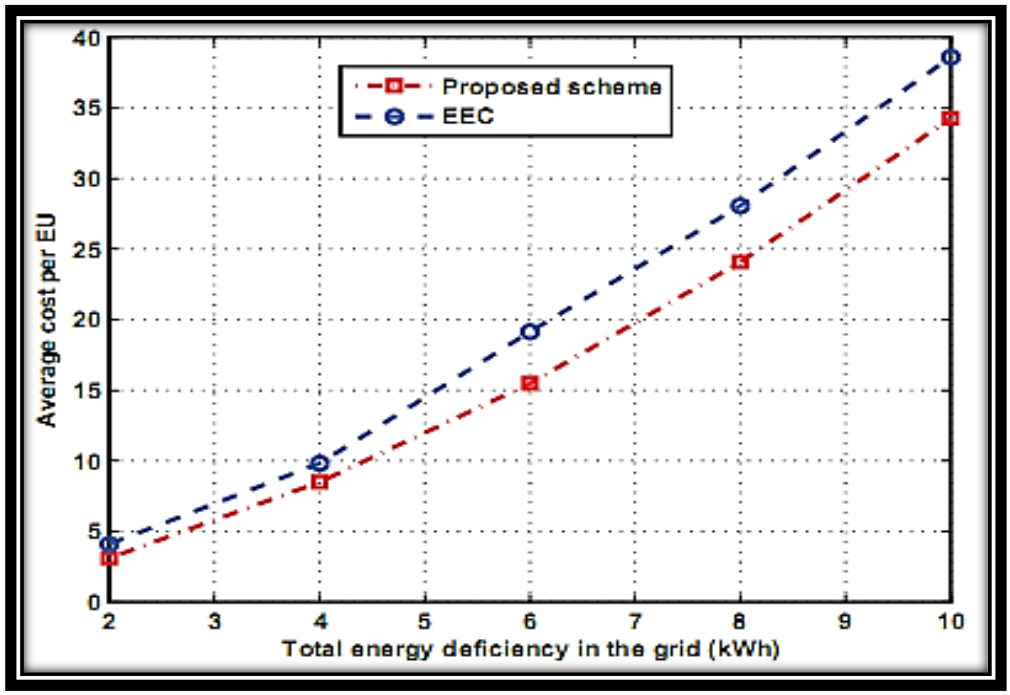
www.takbook.com

می‌تواند تأثیر قطع انرژی بیشتر را در مقایسه با مصرف‌کننده با cpp کمتر تحمل کند. ازاین‌رو هزینه بالاتر مصرف‌کننده با cpp بالاتر تأثیر روی سیستم نمی‌گذارد. عملکرد سود از برنامه پیشنهادی در شکل (۶-۴) و (۶-۵) آورده شده است. تأثیر کمبود انرژی کلی روی هزینه متوسط تحمیل‌شده توسط هر مصرف‌کننده در شبکه، در شکل (۶-۴) نشان داده‌شده است. تأثیر تعداد مصرف‌کنندگان روی هزینه متوسط کلی سیستم در شکل (۶-۵) نشان داده‌شده است. در هردو شکل (۶-۴) و (۶-۵) برنامه پیشنهادی با یک برنامه قطع انرژی استاندارد مقایسه شده که در آن مقدار انرژی قطع‌شده از هر مصرف‌کننده در شبکه، کمبود انرژی سیستم کلی را تخفیف می‌دهد[۳۲].

در شکل (۶-۴) برای تعداد ثابت مصرف‌کنندگان در شبکه، تأثیر تغییرات در کمبود انرژی سیستم کلی، روی میانگین هزینه هر مصرف‌کننده مشاهده‌شده است. نشان داده‌شده هنگامی‌که کمبود انرژی کلی سیستم افزایش یابد، برای قطع انرژی معادل، هزینه میانگین هر مصرف‌کننده افزایش می‌یابد، زیرا قطع انرژی بیشتر اجازه داده‌شده توسط مشتری‌ها، میانگین هزینه تحمیل‌شده به هر مشتری را افزایش می‌دهد. به‌هرحال میانگین هزینه هر مشتری برای برنامه پیشنهادی کمتر می‌باشد. همان‌گونه که در شکل نشان داده شد میانگین هزینه برای هر مصرف‌کننده برای مورد برنامه پیشنهادی ۰,۷۶ و ۰,۸۶ و ۰,۷۸ و ۰,۸۵ و ۰,۸۸ زمان‌هایی هستند که هزینه برنامه قطع انرژی معادل برای کمبود انرژی‌های

www.takbook.com

۸،۶،۴،۲ و ۱۰ کیلووات ساعت مرتب‌شده است. درنتیجه متوسط کاهش هزینه ۱۷٪ برای برنامه به‌دست‌آمده است. Cpp هر مصرف‌کننده قادر خواهد بود به‌منظور کاهش هزینه کلی روی میزان قطع انرژی سیستم اثر بگذارد و درنتیجه عملکرد سود در مقدار متوسط برای هر مصرف‌کننده با برنامه قطع انرژی معادل مرتبط باشد[۳۲].



شکل(۶-۴): اثر کمبود انرژی کل روی هزینه هر مصرف‌کننده [۳۲]

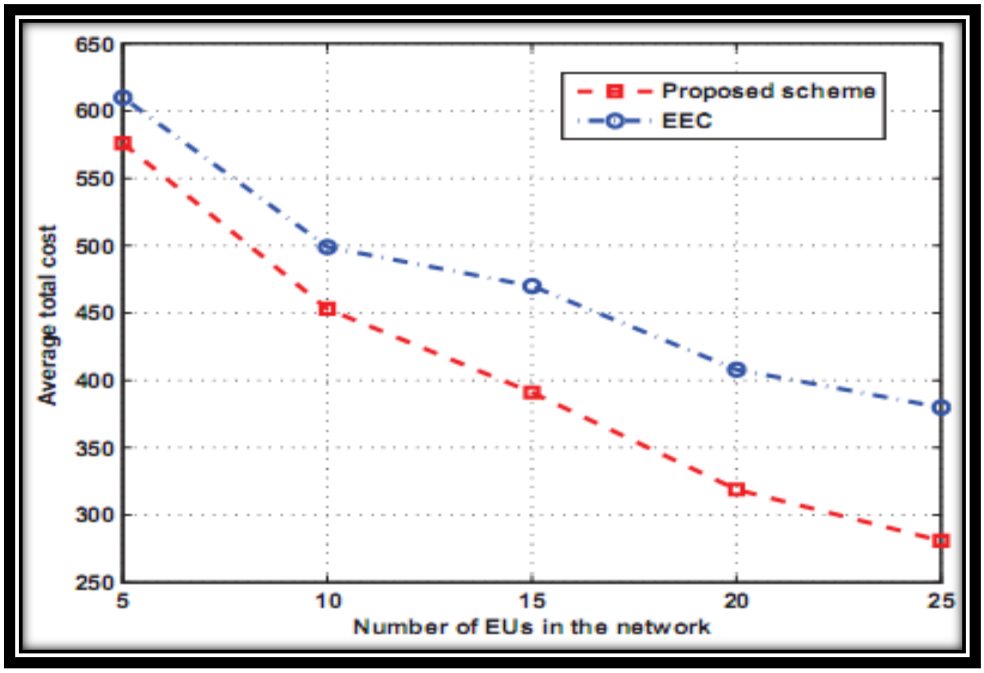
تأثیر تعداد مصرف‌کنندگان روی میانگین هزینه کلی برای سیستم، در شکل (۶-۵) نشان داده‌شده است. با در نظر گرفتن کمبود انرژی کلی ۱۰kwh، تعداد مصرف‌کنندگان در شبکه از ۵ به ۲۵ افزایش داده‌شده و تأثیر آن را روی هزینه کل برای هر دو برنامه

www.takbook.com

پیشنهادی و برنامه قطع معادل قابل مشاهده است. در شکل (۶-۵) هزینه کلی سیستم هنگامی‌که تعداد مصرف‌کنندگان در شبکه افزایش‌یافته، کاهش می‌یابد. علت این موضوع این است، هنگامی‌که تعداد مصرف‌کنندگان در شبکه افزایش یابد انرژی کمتری می‌تواند از هر مصرف‌کننده قطع شود تا کمبود انرژی سیستم کلی را مرتب کند و درنتیجه میانگین هزینه‌های کلی کاهش می‌یابد.

همان‌گونه که در شکل (۶-۵) مشاهده می‌شود هزینه متوسط برای برنامه پیشنهادی بین ۵٫۶٪ و ۲۶٪ کمتر از برنامه قطع انرژی معادل است که متوسط آن ۱۵٪ می‌شود عملکرد سود برای برنامه، هنگامی‌که تعداد مصرف‌کنندگان افزایش یابد بهبود پیدا می‌کند. تابع سود به این وابسته است که در برنامه پیشنهادی مصرف‌کنندگان تصمیم می‌گیرند روی میزان قطع انرژی خود بر مبنای اولویت‌های مدنظری که دارند و به‌صورت بهینه میزان انرژی قطع‌شده از خود را انتخاب می‌کند. به‌عبارت‌دیگر در برنامه قطع انرژی متعادل، انرژی به‌صورت یکنواخت از مصرف‌کنندگان قطع می‌شود. ازاین‌رو انتخاب این برنامه بهینه از انرژی، منجر به یک بهبود در برنامه پیشنهادی می‌گردد که هزینه تحمیل‌شده برنامه پیشنهادی به شبکه هوشمند در مقایسه با برنامه قطع متعادل بهبودیافته است. علاوه بر این افزایش تعداد مصرف‌کنندگان منجر به بهبود در هزینه کل خواهد شد[۳۲,۳۴].

www.takbook.com



شکل(۶-۵): اثر تعداد هر مصرف‌کننده روی کل هزینه سیستم [۳۲]

۶-۴- معرفی نرم افزارهای مدیریت خاموشی

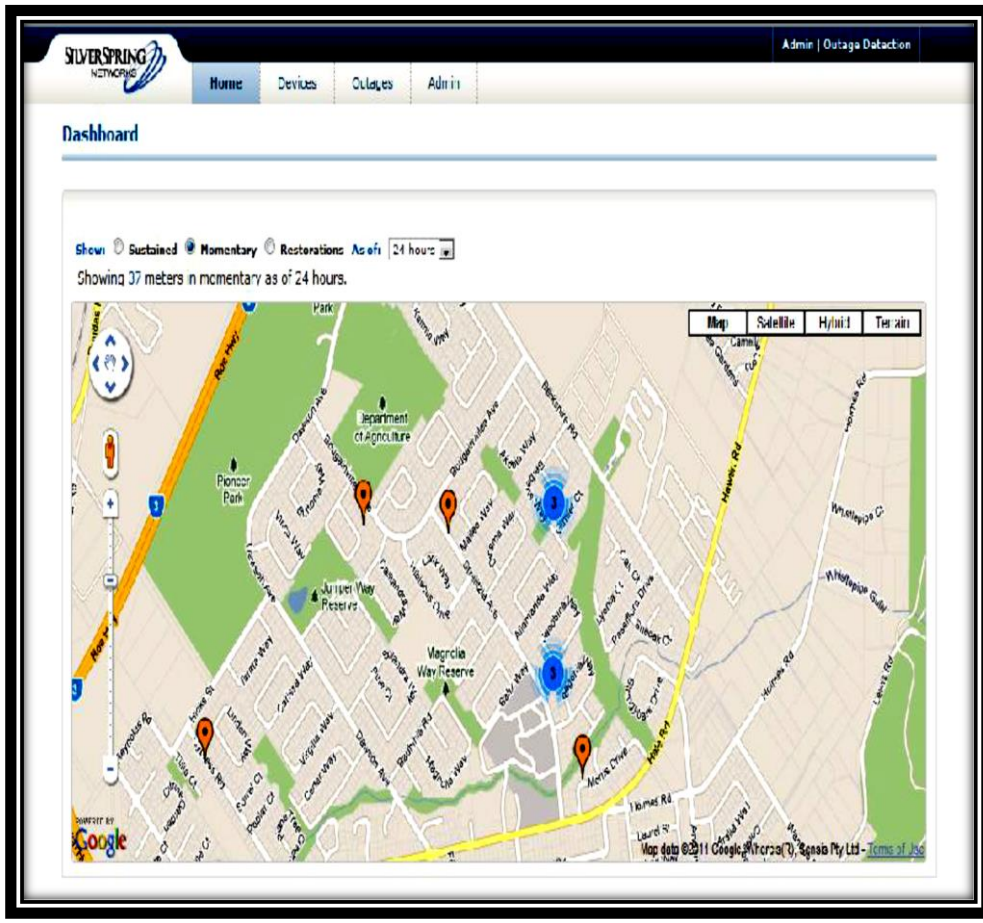
۶-۴-۱- نرم‌افزار مدیریت خاموشی شرکت Silver Spring [۳۸]

این شرکت نرم‌افزار مدیریت خاموشی خود را با نام سیستم شناسایی قطعی UtilityIQ (ODS[۳۵]) منتشر کرده است. قابلیت‌های این نرم‌افزار شامل جمع‌آوری، پردازش و

[۳۵] UtilityIQ Outage Detection System

www.takbook.com

فعالیت‌های لازم برای بازگردانی سیستم در شبکه AMI می‌باشد. شکل زیر نمایی از نرم‌افزار این شرکت را نشان می‌دهد. این نرم‌افزار پس از پردازش اطلاعات قطعی و دریافت اطلاعات بازیابی از شبکه AMI، اطلاعات لازم و محدوده قطعی را بر روی نقشه نشان می‌دهد.

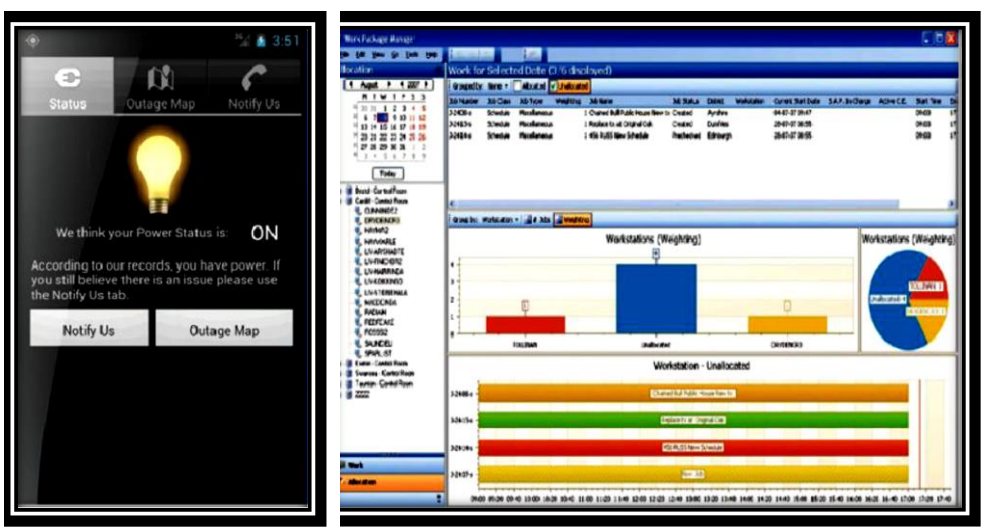


شکل(۶-۶): نرم‌افزار مدیریت خاموشی شرکت Silver Spring [۳۸]

www.takbook.com

۶-۴-۲- نرم‌افزار مدیریت خاموشی شرکت GE [۳۹]

نرم‌افزار مدیریت خاموشی شرکت GE[۳۶] در قالب یک ماژول در نرم‌افزار مدیریت سیستم توزیع (Power On™ Fusion ADMS[۳۷]) ارائه شده‌است. نرم افزار Power On Fusion قابلیت مدیریت قطعی شبکه برق را به همراه اطلاعات بروز و لحظه به لحظه مشتریان، خدمه و مدیران فراهم می‌آورد. این نرم‌افزار قابلیت نمایش ناحیه قطعی را بروی نقشه جغرافیایی دارا بوده و با استفاده از نسخه موبایلی نرم‌افزار در تلفن‌های همراه می‌توان برای نمایش محل قطعی بر روی نقشه یا هدایت از طریق GPS بهره برد.



شکل(۶-۷): نرم‌افزار مدیریت خاموشی شرکت GE [۳۹]

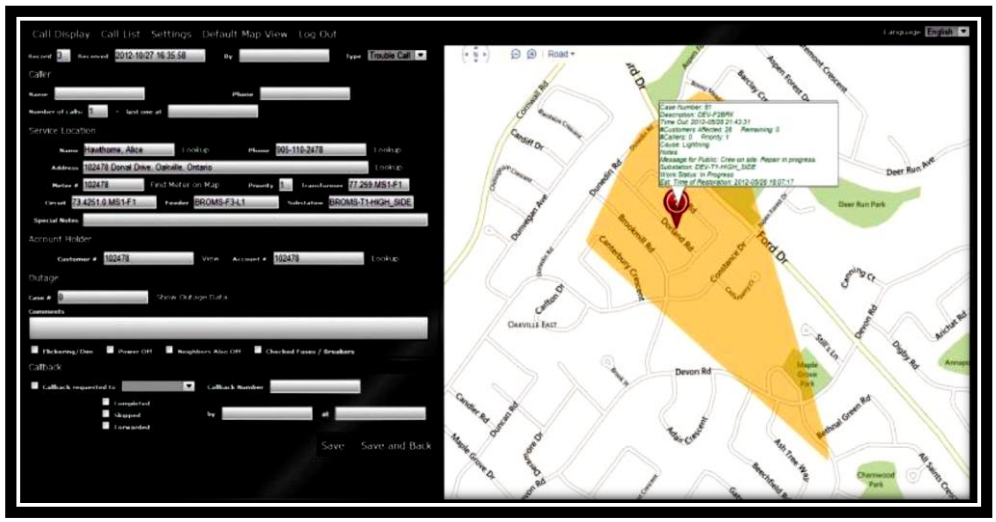
[۳۶] General Electric

[۳۷] PowerOn™ Fusion Advanced Distribution Management System

www.takbook.com

۶-۴-۳- نرم‌افزار مدیریت خاموشی Survalent Technology [۴۰]

نرم افزار مدیریت خاموشی شرکت Survalent Technology یک نرم‌افزار برای عملکرد بر روی سیستم SCADA می‌باشد. همچنین این نرم‌افزار دارای قابلیت‌های ورود خودکار اطلاعات تماس مشترکین، تجزیه و تحلیل تماس‌ها و تشخیص و پیش‌بینی ناحیه قطعی، سیستم پاسخگوی صوتی AVR، مدیریت خدمه امدادی، قابلیت ارتباط با سیستم AMI و تعیین منطقه قطعی وهمچنین دارای رابط کاربری قوی تحت وب می‌باشد. این رابط کاربری امکاناتی از قبیل اطلاعات مشترکین و تماس‌ها، نمایش گرافیکی ناحیه قطعی، علت قطعی و تعداد مشترکین تحت تاثیر قرار گرفته و میزان زمان تخمینی برای بازیابی را فراهم می‌نماید.



شکل(۶-۸): نرم‌افزار مدیریت خاموشی شرکت Survalent Technology [۴۰]

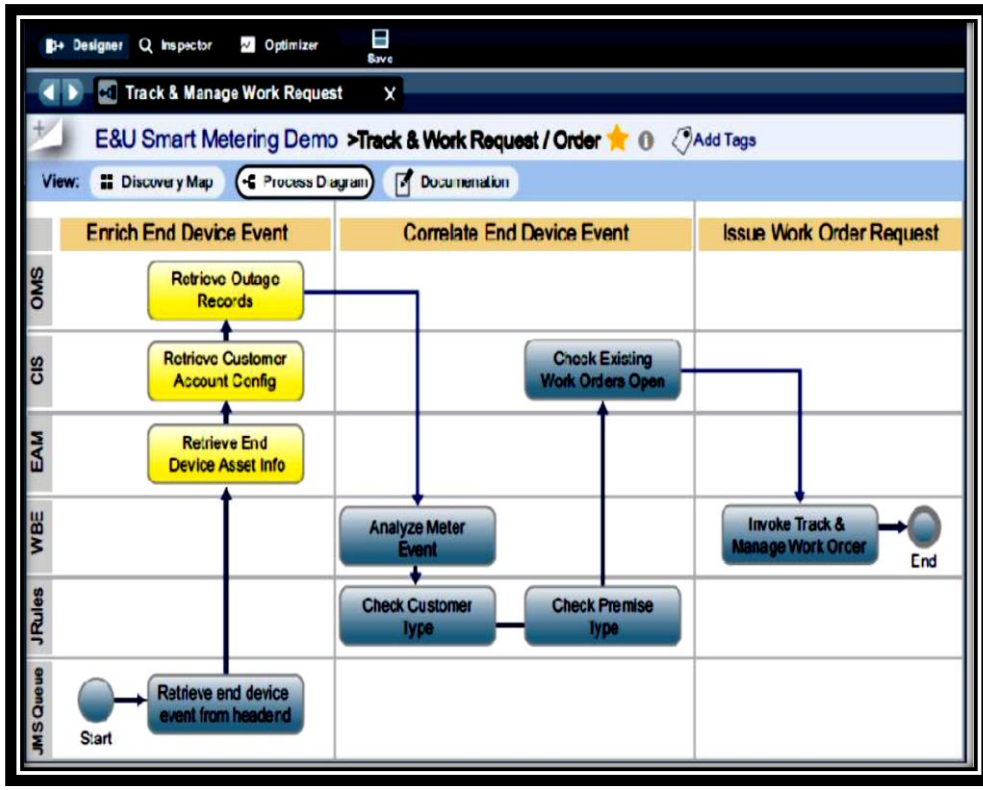
www.takbook.com

۶-۴-۴- نرم‌افزار مدیریت خاموشی شرکت IBM [۴۱]

نرم‌افزار مدیریت خاموشی شرکت IBM با هماهنگی و یکپارچگی افراد، فرآیند و تکنولوژی موجب بهبود بهره‌وری عملیاتی، کاهش مدت زمان خاموشی و افزایش رضایت مشتری می‌گردد. نرم‌افزار مدیریت خاموشی باید فرآیند شناسایی یک رویداد تا تصمیم گیری را به صورت خودکار انجام داده و دسترسی به اطلاعات را برای بهبود بهره‌برداری و فرآیند کسب و کار هوشمند فراهم سازد.

وقتی رویداد کنتور شناسایی شد فعالیت‌های مناسب برای برطرف کردن قطعی انجام می‌شود. این فعالیت‌ها شامل برنامه‌های متعدد، طراحی روند فعالیت فراخوانی خدمات یکپارچه، نظارت و بهبود مستمر این فعالیت‌ها برای افزایش راندمان و کاهش هزینه صورت می‌گیرد. از دیگر کاربردهای این نرم‌افزار برای شرکت‌های برق می‌توان به مدیریت اطلاع‌رسانی به مشترکین اشاره نمود که بروز رسانی مکرر و دقیق اطلاعات قطعی را برای مشترکین فراهم می‌نماید. از جمله این اطلاعات می‌توان به مدت زمان انتظار در زمان قطعی، بروز رسانی‌ها وضعیت درخواست خدمات می‌باشد. این خدمات از طریق پست الکترونیکی، پیام کوتاه و یا تماس تلفنی ارائه می‌گردد.

www.takbook.com



شکل(۶-۹): نرم‌افزار مدیریت خاموشی شرکت IBM [۴۱]

www.takbook.com

[١] J. Fan and S. Borlase, "The evolution of distribution", IEEE Power Energy, Mar. 2009.

[2] A. Ipakchi and F.Albuyeh, "Grid of the future", IEEE Power Energy, Vol. ٧, No. ٤, pp. ٥٢-٦٢, Apr. ٢٠٠٩.

[3] S. M. Amin, "For the good of the grid", IEEE Power Energy, pp. ٤٨-٥٩, □□□. ٢٠٠٨.

[4] H. Farhangi, "The Path of the Smart Grid, "IEEE Power and Energy, vol. ٨, □□. ١, □□. ١٨-٢٨. ٢٠١٠.

[5] J. D. McDonald, "The Next-Generation Grid Energy Infrastructure of the Future", IEEE Power and Energy Mag, Apr. 2009.

[6] R. F. Arritt and R. C. Dugan, "Distribution system analysis and the future smart grid", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 47, No. 6, pp. ٢٣٤٣-٢٣٥٠, Nov.-Dec. ٢٠١١.

[٧] A. Ghassemi, S. Bavarian, and L. Lampe, "Cognitive Radio for Smart Grid Communications ", IEEE International Conference on Smart Grid Communications, pp. ٢٩٧-٣٠٢, October. ٢٠١٠.

[٨] F. Bouhafs, M. Mackay and M. Merabti, "Links to the future: Communication requirements and challenges in the smart grid", Power and Energy Magazine, Vol. 10, No. 1, pp. 24-32, Jan.-Feb. 2012.

www.takbook.com

[۹] Y. Yan, Y. Qian, H. Sharif and D. Tipper, "A survey on cyber security for smart grid communications", IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 14, No. 4, Dec. 2012.

[10] N. Kautto, and J. Waldau, Renewable energy snapshots, JRC Scientific and Technical Reports,European Commission, 2009.

[۱۱] محمد رحیم خانی، آمنه جعفرتبار، "بررسی عوامل موثر بر میزان خاموشی های شبکه توزیع استان خوزستان و اولویت بندی آنها با استفاده از روش AHP"، هفدهمین کنفرانس سراسری شبکه‌های توزیع نیروی برق، انجمن مهندسین برق و الکترونیک ایران، ۱۳۹۱.

[۱۲] حامد شکوری گنجوی، حامد احمدی، محمود کریمی، "مدیریت خاموشی برق در ایران با برنامه ریزی عرضه انرژی الکتریکی و در نظر گرفتن مبادلات منطقه ای به‌منظور کمینه کردن هزینه ها"، کنفرانس بین المللی برق، ۱۳۸۷.

[۱۳] فرزانه مرتضوی، مهشید هلالی مقدم، شیدا سید فرشی، "آزمون نرم افزارهای حوزه توزیع برق"، بیست و هشتمین کنفرانس بین المللی برق، تهران، ۱۳۹۲.

[۱۴] بابک امینی، آزاده زمانی فر،"طراحی و پیاده سازی سیستم مدیریت کاهش قطع برق در شبکه‌های توزیع"، نوزدهمین کنفرانس بین المللی برق، ۱۳۸۳.

[۱۵] مهران سلیمانی فر، لیلا ظفری، "اتوماسیون توزیع چالش اساسی هوشمند سازی شبکه توزیع برق ایران"، بیست و هشتمین کنفرانس بین المللی برق، ۱۳۹۲.

www.takbook.com

[۱۶] علی یعقوبی کیا، محمد سلطانی، مجید صالح، "قابلیتهای سیستم GIS در مدیریت بحران و بازگشت به شرایط عادی"، بیستمین کنفرانس توزیع، ۱۳۹۴.

[۱۷] محمودرضا حقی فام، احسان علیشاهی، "ارزیابی فنی و اقتصادی سیستم مدیریت اتفاقات در شبکه توزیع شهری ایران"، نشریه مهندسی برق و مهندسی کامپیوتر، ۱۳۸۹.

[۱۸] مهناز یوحنایی، عبدالرضا توکلی، ادهم شریفی، "نقش اتوماسیون در مدیریت خاموشی با توجه به آستانه تحمل مشترکین شرکت‌های توزیع برق"، اولین کنگره اتوماسیون صنعت برق، ۱۳۹۱.

[۱۹] Z. Chen and A. Chegu "Particle Swarm Optimization for Next Generation Smart Grid Outage Analyses", Transmission and Distribution Conference and Exposition (T&D), IEEE PES ,6 Pages, May. 2012.

[۲۰] بهنیا هوشیارخواه و فرامرز سپری"مدیریت بحران شبکه‌های توزیع برق با استفاده از فن آوری سیستم های اطلاعات مکانی"، همایش ژئوماتیک تهران، سازمان نقشه برداری کشور، ۱۳۹۰.

[۲۱] J. Wenlu, Z. Hong, W. Lei and M. Xiaowu "Research and design of Nanjing Grid Outage Management System", Electricity Distribution (CICED), China International Conference, Sept. ۲۰۱۰.

[۲۲] W. Tushar, J. Zhang, D. B. Smith, H. Vincent Poor, G. Platt and S. Durrani,"An Efficient Energy Curtailment Scheme For Outage Management in Smart Grid", Global Communications Conference (GLOBECOM), IEEE, Pages 3056 – 3061, Dec. 2012.

www.takbook.com

[23] K. Yang and A. Walid, "Outage-Storage Tradeoff in Smart Grid Networks with Renewable Energy Sources", Computing, Networking and Communications (ICNC), International Conference , Feb. 2012.

[۲۴] ابوالفضل رنجبر و نگار رنجبر "کاربردهایی از GPS در مهندسی برق قدرت"، همایش ژئوماتیک ۸۶، تهران، سازمان نقشه برداری کشور، ۱۳۸۶.

[۲۵] اسماعیل نبوی واسوکلائی، فرامرز سپری، یدالله طهماسبی" کاربرد سیستم‌های GIS بمنظور راه اندازی شبکه‌های هوشمند در شرکت‌های توزیع"، همایش GIS در صنعت برق، ۱۳۸۸.

[26] L. Stoimenov, L. Milosavljevic, j. Stanimirovic, "GIS as a Tool in emergency Management process", proceedings the world congress on engineering, 2007.

[۲۷] J. C. Chen, W. T. Li, C. K. Wen, J. H. Teng and P. Ting, "Efficient Identification Method for Power Line Outages in the Smart Power Grid", IEEE Trans. Power Syst, vol. ۲۹, no. ٤, pp. ۱۷۸۸–۱۸۰۰, July. ۲۰۱۳.

[۲۸] J. Wu, J. Xiong and Y. Shi, "Efficient Location Identification of Multiple Line Outages with Limited PMUs in Smart Grids", IEEE Trans. Power Syst, vol. ۳۰, no. ٤, pp. ١٦٥٩ - ١٦٦٨, July. ۲۰۱٥.

[۲۹] M. Kezunovic, "Smart Fault Location for Smart Grids", IEEE Trans. Smart Grid, vol. 2, no. 1, pp. 11–22, March. 2011.

www.takbook.com

[٣٠] C. Pang, P. Dutta, and M. Kezunovic, "BEVs/PHEVs as Dispersed Energy Storage for V٢B Uses in the Smart Grid", IEEE Trans. Smart Grid, vol. ٣, no. ١, pp. ٤٧٣-٤٨٢, March. ٢٠١٢.

[٣١] M. Rastegar, and M. Fotuhi-Firuzabad, "Outage Management in Residential Demand Response Programs", IEEE Trans. Smart Grid, vol. 6, no. 3, pp. 1453–1462, May. 2015.

[٣٢] W. Tushar, J. Zhang, D. Smith, H. Vincent Poor, G. Platt, and S. Durrani, "An Efficient Energy Curtailment Scheme For Outage Management in Smart Grid", presented at the IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), Anaheim, Dec. 2012.

[٣٣] G. Kumar and N. M. Pindoriya, "Outage Management System for Power Distribution Network", presented at the IEEE Smart Electric Grid (ISEG), Guntur, Sept. 2014.

[٣٤] J. Venkatesh, B. Aksanli, J.C. Junqua, P. Morin and T. S. Rosing, "HomeSim: Comprehensive, Smart, Residential Electrical Energy Simulation and Scheduling", presented at the IEEE Green Computing Conference (IGCC), Arlington, June 2013.

[٣٥] C. Pang, P. Dutta, S. Kim, M. Kezunovic and I. Damnjanovic, "PHEVs as Dynamically Configurable Dispersed Energy Storage for V2B Uses in the Smart Grid", presented at the IET Power Generation, Transmission, Distribution and Energy Conversion (MedPower 2010), Agia Napa, Nov. 2010.

www.takbook.com

[۳۶] سازمان بهره وری انرژی سابا، "یکپارچه سازی نرم افزار در شرکت های توزیع هوشمند"، بهمن ۹۳.

[۳۷] سازمان بهره وری انرژی سابا، "طراحی الگوریتم برنامه کاربردی مدیریتخاموشی در شبکه توزیع هوشمند"، مرداد ۹۵.

[۳۸] Silver Spring company, “Silver Spring Networks Outage Management,” 2013.

[۳۹] GE company, “GE PowerOn™ Fusion,” 2013.

[۴۰] Survalent Technology company, “Survalent Technology Smart OMS,” 2012.

[۴۱] IBM company, “IBM Business agility in outage management for energy and utilities,” 2012.

[۴۲] محمود فتوحی و محمد رستگار "شبکه هوشمند، نظامی نوین در صنعت برق"، فصلنامه آموزش مهندسی ایران، سال شانزدهم، شماره ۶۲، تابستان ۱۳۹۳.