فصلنامه علمی تخصصی ایده های نو در علوم، مهندسی و فناوری ، دوره ۵، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰، ص ۲۵-۱۹
ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com

شبکه های هوشمند برق و میزان کارایی آنها در قرن ۲۱

اصغر قادری۱، محمد ابراهیم بایگان*۲، عبدالغنی سهویی۲ و ادهم پرکاسی۲
۱- استادیار گروه برق (دکتری پلاسما) ، دانشگاه آزاد واحد ایرانشهر
۲- دانشجوی کارشناسی مهندسی برق ، دانشگاه آزاد واحد ایرانشهر

چکیده

با پیشرفت تکنولوژی، تقاضای انرژی الکتریکی به شدت افزایش یافته است که نه تنها برای تولید بلکه برای توزیع آن نیز به چالش تبدیل شده است. بنابراین این تقاضای فزاینده با افزایش نیاز به قابلیت اطمینان بیشتر، کارایی، امنیت و نگرانی های زیست محیطی و پایداری انرژی، پیچیدگی های شبکه های برق را افزایش می دهد. اینها در یک شبکه برق به سمت هوشمند بودن که در نهایت به عنوان مفهوم امروزی "شبکه هوشمند" شناخته می شود، مشخص می شوند. این یک تکنیک مفهومی است که در آن تمام ویژگی‌های هوشمند به منظور افزایش سیستم توزیع برق کارآمد، قابل اعتمادتر و پایدار پیاده‌سازی می‌شوند. در این مقاله مروری بر شبکه های هوشمند با ویژگی ها و جنبه های مختلف آن در صنعت توزیع برق ارائه شده است. همچنین توضیح داده شده است که چگونه این فناوری ها تغییر می کنند و پتانسیل بیشتری برای تکامل و تقویت سیستم توزیع دارند.

واژگان کلیدی: شبکه هوشمند، توزیع برق، مهندسی برق

۱. مقدمه

همانطورر که شاهد هستیم شهرنشینی، استانداردهای زندگی و توسعه فناوری، میزان تقاضای انرژی مورد نیاز را افزایش داده است. این امر باعث شد مصرف برق به سطوحی برسد که در صورت عدم مراقبت دیگر قابل کنترل نباشد. این وضعیت نه تنها برای تامین انرژی پایدار بلکه برای حفظ محیط زیست در سراسر جهان یک وضعیت هشدار دهنده است. تقریباً ۷۵ تا ۸۰ درصد کل انرژی مصرفی در شهرها مصرف می شود که مسئول ۸۰ درصد انتشار گازهای گلخانه ای هستند[1,2]. سیستم سنتی و با کنترل مرکزی برای توزیع انرژی الکتریکی برای یک روز طولانی استفاده می شود. این معمولا به عنوان شبکه برق نامیده می شود. از زمان استفاده از برق، شبکه های برق در سطح جهان حتی با پیشرفت تکنولوژی، ساختار، پویایی و اصول مشابهی دارند. این شبکه های برق سنتی تنها بر برخی از عملکردهای اساسی مانند تولید، توزیع و کنترل برق متمرکز شده اند[3]. شبکه برق در شکل کنونی قابل اعتماد نیست، تلفات انتقال بالا، کیفیت برق ضعیف، مستعد خاموشی و خاموشی، تامین برق ناکافی، دلسرد کردن به یکپارچه سازی منابع انرژی توزیع شده است. فقدان نظارت و کنترل زمان واقعی در سیستم‌های غیرهوشمند سنتی وجود دارد که فرصتی چالش برانگیز برای شبکه‌های هوشمند ایجاد می‌کند تا به عنوان یک راه‌حل بلادرنگ عمل کنند. مقابله با این مسائل مستلزم بازنگری کامل ساختار تحویل نیرو است. مزایای الکتریکی نه تنها نیروی تشویق کننده برای معرفی مفهوم "شبکه هوشمند" است، بلکه جنبه های زیست محیطی نیز دارد. استفاده کارآمد از انرژی و وابستگی به منابع تجدیدپذیر نیز به کاهش اثر کربن انسان کمک می کند. فناوری شبکه هوشمند راه حلی برای تولید بهتر برق و راهی کارآمد برای انتقال و توزیع این نیرو دارد. به دلیل تطبیق پذیری آن می توان آن را راحت تر نصب کرد و در مقایسه با شبکه های سنتی به فضای کمتری نیاز داشت. مفهوم طراحی شبکه هوشمند با هدف مشاهده پذیری شبکه، ایجاد قابلیت کنترل دارایی ها، افزایش عملکرد و امنیت سیستم قدرت و به ویژه جنبه های اقتصادی عملیات، نگهداری و برنامه ریزی است[4]. چالش هایی از قبیل افزایش تقاضای انرژی، تغییرات جوی، فرسودگی تجهیزات شبکه، افزایش قیمت انرژی و افزایش وابستگی کشورها به واردات انرژی، از انگیزه های اصلی حرکت به سمت دستیابی انرژی های پایدار، ایمن و قابل رقابت با منابع انرژی موجود است. به همین سبب سیاستگذاران در سراسر جهان در حال اجرای برنامه هایی برای افزایش بازدهی، امنیت و قابلیت اطمینان سیستم انتقال و توزیع برق با توسعه شبکه کنونی و حرکت به سمت شبکه هوشمند هستند. می توان یکی از اجزای قابل کنترل و سازنده شبکه های هوشمند را ریزشبکه ها نام برد. طبق تعریف یک ریزشبکه بخشی از یک شبکه توزیع است که قادر به تامین بار محلی خود در حالت های کار کرد متصل به شبکه و مستقل (جزیره ای می باشد. مشترکین شرکت های برق در حال حاضر این حق انتخاب را دارند که توان مورد نیازشان را از شرکت های برق موجود خریداری کنند و یا از منابع تولید پراکنده برای برآورده ساختن آنها استفاده کنند. با تحقیقات و توسعه وسیعی که در زمینه فناوری- های تولید پراکنده انجام شده و می شود، بسیاری از منابعی که در حال حاضر در بازارهای مصرف قابل دسترس می باشند منابع تولید پراکنده در محدوده مصارف خانگی تا تجاری و صنعتی می باشند. قیمت فناوریهای مختلف تولید پراکنده روز به روز در حال کاهش بوده و با گذشت مدت کوتاهی، این قیمت ها به حدی خواهد رسید که مشترکان برای خرید منابع تولید پراکنده به راحتی و با رغبت اقدام خواهند کرد. با افزایش واحدهای تولید پراکنده در سیستم بخصوص در شبکه توزیع، سیستم کنترل، بهره برداری و روشهای آن باید به گونه ای تغییر یابد که بتوان حداکثر استفاده از این منابع تولید بشود. موارد مهمی از جمله توسعه رو به رشد، گستره وسیع تکنولوژی های مورد استفاده، امکان تبادل انرژی و خرید و فروش آن توسط مشترک و اقتصادی بودن در بخش تولیدات پراکنده و همچنین دینامیک تولیدات پراکنده بر دو اساس سنتی با اینرسی پایین و بر اساس استفاده از تکنولوژی الکترونیک قدرت سریع ولی بدون اینرسی در کنار کارکرد هوشمند با استفاده از زیرساخت های مخابراتی نوین و پاسخ هوشمند تقاضای بار، چالش ها و فرصت های گسترده ای در استفاده از ریزشبکه ها به عنوان پایه های شبکه های هوشمند پدید آورده است[5].

۲. درک مفهوم شبکه هوشمند

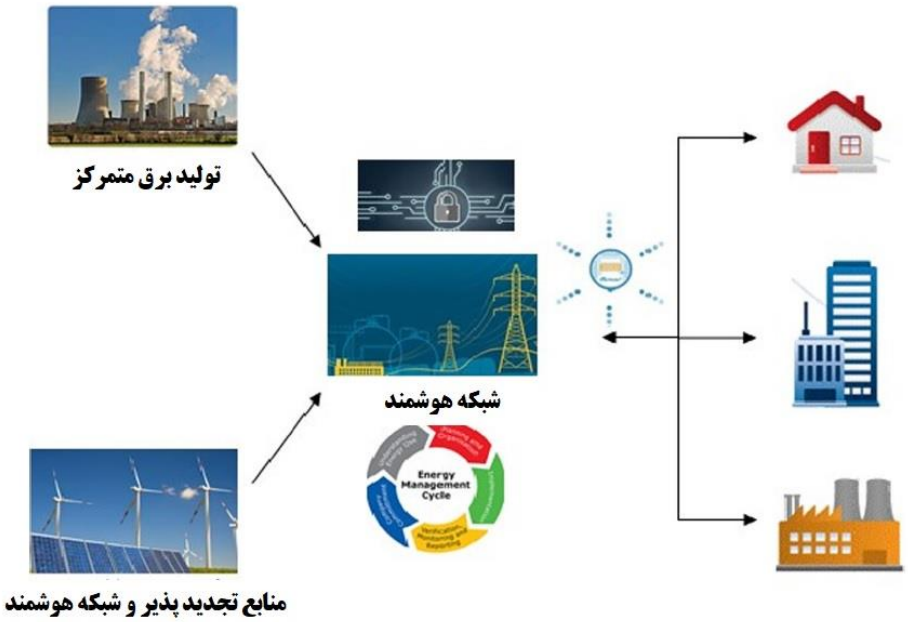
شروع خاصی برای شبکه هوشمند وجود ندارد. این مفهوم با شروع سیستم توزیع شبکه های الکتریکی شروع به تکامل کرد. در آن زمان نیازهای مختلفی مانند کنترل، نظارت، قیمت و خدمات انتقال و توزیع نیروی برق مورد نیاز بود. به طور معمول، اجرای شبکه هوشمند با نصب کنتور هوشمند همراه است. در دهه ۱۹۷۰ و ۸۰ از آنها برای ارسال اطلاعات مصرف کننده به شبکه استفاده می شد[6].

اما مهم‌ترین و اساسی‌ترین نیازی که حتی با آخرین پیشرفت‌ها همچنان مورد توجه است، قابلیت اطمینان و کارایی انتقال و توزیع انرژی از طریق شبکه برق است. اما در آخرین تحقیقات پیشرفتی صورت گرفته است که شبکه‌ها و سیستم‌های شبکه نباید محدود به انتقال و توزیع شوند، بلکه نقش حیاتی در تولید انرژی پاک و پایدار به منظور کاهش گازهای گلخانه‌ای و اثر کربن دارند.

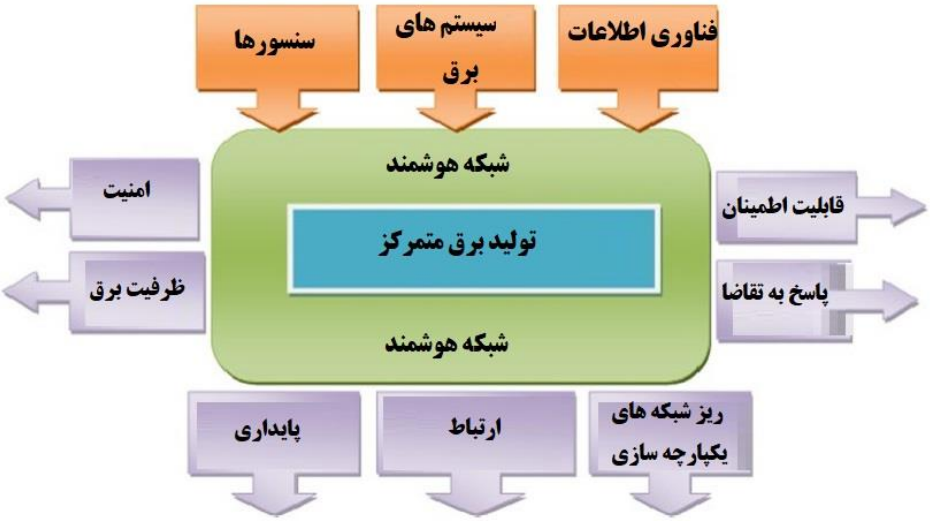
تعریف

برای توزیع توان الکتریکی به مصرف کننده نیاز به شبکه ای از هادی الکتریکی است که به عنوان شبکه شناخته می شود. اگر این شبکه با سیستم کنترل و مانیتور خودکار هوشمند باشد، ممکن است به عنوان شبکه هوشمند شناخته شود. از نظر فنی، شبکه هوشمند مفهومی برای شبکه‌های معمولی با برخی ویژگی‌های جدید و خودکار است که آنها را قابل اعتمادتر و پایدارتر می‌کند. شبکه‌های معمولی فقط برای انتقال و توزیع نیروی الکتریکی استفاده می‌شدند، اما این مفهوم مدرن از شبکه هوشمند می‌توانست با توجه به موقعیت ارتباط برقرار کند، ذخیره کند یا حتی تصمیم بگیرد. بنابراین، طبق سند استقرار استراتژیک برای شبکه‌های برق اروپا در آینده، شبکه هوشمند یک شبکه هوشمند برق است که اقدامات همه ذینفعان تولیدکننده، مصرف‌کننده و کسی است که هر دو را به منظور تامین برق با کارایی و پایداری، اقتصادی و مطمئن انجام می‌دهند، یکپارچه می‌کند[7].

بنابراین شبکه هوشمند یک فناوری واحد نیست که باید پیاده سازی شود. وسعت و وابستگی آن توسط ذینفعان افزایش می یابد همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است. این فرصتی را برای ذینفعان خود فراهم می کند تا کارایی، قابلیت اطمینان، عملکرد اقتصادی و امنیت شبکه الکتریکی خود را به حداکثر برسانند. نمای کلی از معماری آن در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۱. مفهوم کاربردی شبکه هوشمند



شکل۲. طرح کلی از معماری شبکه هوشمند

طراحی

طراحی شبکه هوشمند با استفاده از آن و اهداف مرتبط منعطف است. یک مدل مفهومی از شبکه هوشمند توسط موسسه ملی استاندارد و فناوری (NIST) ارائه شد که برنامه‌ریزی، نیازهای توسعه، ذینفعان مرتبط و تجهیزات مورد نیاز را توصیف می‌کند.

ویژگی های شبکه هوشمند

برای نوسازی شبکه برق، قانون امنیت و استقلال انرژی ۲۰۰۷ (EISA) یک پلتفرم ایجاد کرد [8]. ویژگی‌ها و قابلیت‌های شبکه هوشمند نوید تکمیل کامل این الزامات تعیین شده توسط EISA را می‌دهد.

قابلیت اطمینان

موفقیت سیستم شبکه به نیاز مشتری بستگی دارد که به عنوان قابلیت اطمینان سنجیده می شود. این به معنای نقص کمتر و خطای کمتر سیستم با تامین مداوم برق است. شبکه هوشمند این پتانسیل را دارد که هر گونه عیب را تشخیص دهد و امکان خوددرمانی سیستم را فراهم کند[9]. شبکه های متعارف در رابطه با تعامل منابع تجدیدپذیر، شبکه خرد و پاسخ به تقاضا مشکلاتی دارند. با افزایش اندازه و پیچیدگی این شبکه ها با تقاضا، تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان آن دشوارتر می شود. اما شبکه های هوشمند به خوبی به این مسائل پرداخته اند[10]. برای این منظور، شبکه های هوشمند قابلیت نظارت و ذخیره تمامی داده ها و تخمین قابلیت اطمینان خدمات آن را دارند. همچنین ممکن است بتوان از راه دور برای تولید ترکیبی و مدیریت شبکه که قابلیت اطمینان آن را افزایش می‌دهد، نظارت کرد[11]. فن آوری هایی مانند جریان برق بهینه تصادفی پویا (DSOPF) به تخمین و بهینه سازی جریان برق در شبکه هوشمند کمک می کند. بنابراین شبکه های هوشمند با پیشرفت در سیستم ارتباطی می توانند قابلیت اطمینان بهتری داشته باشند [12].

امنیت

امنیت یکی از مسائل چالش برانگیز برای تکامل شبکه هوشمند است. با افزایش اتوماسیون، نظارت و کنترل از راه دور شبکه، شبکه را در برابر حملات سایبری آسیب پذیرتر می کند. به گفته موسسه تحقیقات برق برق، امنیت سایبری سیستم یکی از بزرگترین مسائل شبکه هوشمند است [13]. سلیمان و همکاران روشی را برای شناسایی نقاط ضعف شبکه‌های هوشمند که معمولا مهاجمان از آن‌ها سوء استفاده می‌کنند با استفاده از تحلیل رفتار سیستم‌های شبکه هوشمند و با ادغام مدل تهدید امنیتی سیستم‌ها پیشنهاد می‌کنند[14]. به طور مشابه در سال ۲۰۱۴، آشوک و همکاران رویکردی برای پرداختن به موضوع امنیت فیزیکی سایبری نظارت و حفاظت و کنترل در منطقه وسیع از دیدگاه حمله سایبری هماهنگ ارائه کردند که در نهایت امنیت را افزایش

می‌دهد[15]. برای ارزیابی امنیت شبکه هوشمند، نیاز به بررسی روش‌شناسی آن است. سازمان‌ها و سازمان‌های مختلفی مانند IEEE مجمع انرژی و برق (PES)، استانداردسازی شبکه هوشمند IEC، موسسه ملی استاندارد و فناوری (NIST) در استانداردسازی و تنظیم شبکه هوشمند مشارکت دارند و به آنها کمک می‌کنند[16].

هوشمندسازی منابع در سیستم های توزیع هوشمند

هوشمند سازی منابع در شبکه های هوشمند موارد مهمی از جمله آیین نامه ها، متعادل کردن توان و جابجایی تولیدات در طول ۲۴ ساعت روز را در بر می گیرد. این بخش از هوشمند سازی شبکه قدرت را در سه دسته کلی می توان بررسی کرد:

- تولیدات پراکنده
- ریز شبکه ها
- ذخیره کننده های انرژی الکتریکی

دسته اول هوشمند سازی منابع در شبکه ، استفاده از تولید پراکنده و تجدید پذیر، شامل پیاده سازی منابع تولید پراکنده پر بازده و تجدید پذیر در ساختمان های صنعتی، تجاری و خانگی است. استفاده " از روش های کنترلی جدید در کنار منابع تولید پراکنده با در نظر گرفتن سطوح امنیت ، کیفیت ، قابلیت اطمینان و دسترس پذیری توان در شبکه های توزیع ، دسته دوم هوشمند سازی منابع را به نام ریز شبکه ها شکل می دهد که به طور کلی شبکه را در این جهت سوق می دهد که از حالت منفعل و پسیو به حالت فعال و اکتیو تبدیل شوند. ریز شبکهها، شبکه های فشار ضعیفی هستند که شامل منابع تولید پراکنده، ذخیره کننده های توان، بارهای قابل کنترل و یک سیستم کنترل قوی هستند. ریز شبکه ها در بالادست به شبکه فشار متوسط سراسری متصل می شوند و دارای توانایی کار در حالت جدا از شبکه نیز هستند. از دیدگاه مصرف کننده یک ریز شبکه از یک طرف می تواند توانایی تامین برق را داشته باشد و از طرف دیگر موجب افزایش کیفیت توان، افزایش قابلیت اطمینان، کاهش انتشار آلودگی، تقویت ولتاژ و ارزان تر شدن انرژی گردد. ریز شبکه ها دارای یک عملکرد هماهنگ برای پاسخگویی به بار و تولید منابع تولید پراکنده، در کنار بیشینه کردن سود رسیده به مشترکین و شبکه بالادست هستند.

با پیشرفت تکنولوژی ها و اقتصادی تر شدن آن ها امکان استفاده از منابع تولید پراکنده در کنار ذخیره کننده های انرژی فراهم شده است. در نتیجه امکان به وجود آمدن ریز شبکه ها در سطوح پایین مصرف و می شوند و امکان فروش انرژی نیز فراهم می شود. در مرکز کنترل، تجهیزات مربوط به زیر ساخت اندازه گیری هوشمند نصب می شود. زیر ساخت اندازه گیری هوشمند توانایی جمع آوری اطلاعات اندازه گیری مانند ولتاژ، جریان، وشعیت تجهیزات، وقایع و حوادث را به صورت نزدیک در نقاط راهبردی شبکه های توزیع دارد. این ویژگی باعث بهبود نظارت و کنترل سامانه توزیع خواهد شد و بهره برداران شبکه توزیع را بواسطه اطلاعات بهنگام و حیاتی که برای آنها مهیا می کند قادر می- سازد تا تصمیمات مهم در شرایط بحرانی را با صحت و دقت بالا اتخاذ کنند و شبکه را همواره در بهترین حالت نگه دارند. شبکه هوشمند شامل تعداد زیادی از حسگرها و تجهیزاتی است که در کل شبکه نصب می شوند. این تجهیزات، مدیریت بهینه تر شبکه را ممکن می سازند. مشکل عمده در این راه هزینه های سنگین بستر مخابراتی است که برای ایجاد ارتباط با این تجهیزات، مورد نیاز می باشد. برای ایجاد ارتباط با این حسگرها و تمام تجهیزات موجود در شبکه های هوشمند دو رویکرد کلی وجود دارد:

- ایجاد یک زیر ساخت مخابراتی مجزا از سامانه اندازه گیری هوشمند
- توسعه مخابرات، زیر ساخت اندازه گیری هوشمند به تمام بخش های یک شبکه برق

بنابر این بستر مخابراتی زیر ساخت اندازه گیری هوشمند امکان کنترل و نظارت پیشرفته، که جرئی از شبکه هوشمند آینده است را فراهم می کند.

رویکرد اول هزینه های بسیاری در بر داشته و باعث دوباره کاری و اتلاف هزینه و زمان زیادی خواهد شد. در رویکرد دوم با پیاده سازی زیر ساخت اندازه گیری هوشمند، زیر ساخت مخابراتی آن پیاده سازی شده است و کافی است دامنه نفوذ زیر ساخت

مخابراتی زیر ساخت اندازه گیری هوشمند گسترش یابد و از همین زیر ساخت به منظور قرائت حسگرها و مابقی تجهیزات شبکه هوشمند بهره برداری شود[17].

در مرکز کنترل نیز ماژول های لازم به سیستم اندازه گیری هوشمند اضافه شده و سر انجام شبکه هوشمند بنا می گردد. اطلاعات در شبکه هوشمند علاوه بر امور پیش گفته شده به منظور تنظیم و کنترل فیدرها، ارائه مدل های بار صحیح با استفاده از سامانه مدیریت اطلاعات، مدیریت انرژی، مدیریت سمت تقاضا و ... استفاده خواهند شد. نرم افزارهای شبکه هوشمند بسیاری از اطلاعات خود را از نرم افزارهای موجود سیستم اندازه گیری هوشمند بدست می آورند. این سیستم با نرم افزارهای جانبی مثل GIS و GPS در حال تبادل اطلاعات است و به مدیریت دارایی های شبکه یاری می رسانند. در شبکه هوشمند، خانه های هوشمند وجود دارد که دارای تبادل نزدیک با شبکه هستند و از طریق انرژی های تجدید پذیر نیروی الکتریکی لازم را تولید می کنند. مدیریت این پهنای وسیع از تجهیزات در مرکز کنترل شبکه هوشمند انجام می گیرد. در واقع زیر ساخت اندازه گیری هوشمند زیر بنای شبکه هوشمند آینده است و از سامانه مخابراتی آن اتصال آنها به شبکه های توزیع و مصرف کننده های تجاری و خانگی می باشد. ذخیره کننده های انرژی الکتریکی به طور گسترده به عنوان یک جزء کلیدی در بهبود قابلیت اطمینان و پایداری شبکه هوشمند، دسته سوم هوشمندسازی منابع را در شبکه شکل می دهند. توانایی های ریز شبکه هوشمند:

- استفاده از منابع تولید کوچک - بازدهی مناسب انرژی -امکان ذخیره انرژی - اندازه گیری هوشمند - بالا بردن امنیت شبکه - پیش بینی از وضعیت آتی و اصلاح - شبکه بهینه شده[18].

پتانسیل اقتصادی شبکه هوشمند در جهان در حال توسعه

هزینه یکی از بزرگترین محدودیت ها در توسعه و پیاده سازی شبکه هوشمند به ویژه در کشورهای در حال توسعه است. منابع مالی زیادی با سیستم انتقال و توزیع، اندازه گیری و سایر فناوری های مرتبط مرتبط است. گزارش کامل امکان سنجی مالی قبل از اجرا ضروری است. این امکان سنجی مالی باید شامل ظرفیت کشور برای پرداخت هزینه توسعه برای زیرساخت های شبکه هوشمند باشد. این معمولاً به ازای هر مصرف کننده ای که قرار است ارائه شود محاسبه می شود[19].

نتیجه گیری

پیشرفت فناوری ها و دستگاه ها می تواند استفاده از انرژی را به روشی اقتصادی و سازگار با محیط زیست تغییر دهد. تکامل مفهوم شبکه هوشمند پتانسیلی دارد که با کاهش انتشار کربن و ادغام با ترکیب بیشتر انرژی های تجدیدپذیر، تمام نیازهای آینده استفاده از انرژی را به بهترین شکل ممکن برآورده کند. این می تواند تغییر قابل توجهی در شبکه متعارف و رفتار مصرف کننده در جهت استفاده از انرژی با بهبود قابلیت اطمینان، کارایی و کیفیت تحویل نیرو ایجاد کند. سیاست های دولتی برای تسهیل اجرای شبکه هوشمند مورد نیاز است. این مقاله به نیاز به نوسازی شبکه های متداول و چگونگی پیاده سازی مفهوم شبکه هوشمند توسط محققان برای شبکه های توزیع نیروی برق اشاره می کند. هنوز پتانسیل زیادی برای بهبود و اجرای این مفهوم وجود دارد زیرا این تازه شروع عصر جدید شبکه مدرن است. پیش‌بینی اینکه تا چه اندازه برای اجرای کامل این مفهوم به تحقیق در شبکه‌های هوشمند نیاز است دشوار است، اما تحقیقات اخیر مانند کنتورهای هوشمند، سیستم‌های مدیریت سمت تقاضا، خود درمانی و کلان داده منبع تشویق در فناوری شبکه هوشمند هستند.

منابع

[1] Mohanty SP, Choppali U, Kougianos E. Everything you wanted to know about smart cities: the internet of things is the backbone. IEEE Consum Electron Mag 2016;5:60–70.
[2] Nam T, Pardo TA. Smart city as urban innovation: Focusing on management, policy, and context. In: Proceedings of the 5th international conference on theory and practice of electronic governance. p. 185–94.
[3] Fang X, Misra S, Xue G, Yang D. Smart grid—the new and improved power grid: A survey. IEEE Commun Surv Tutorials 2012;14:944–80.

ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com
[4] Momoh JA. Smart grid design for efficient and flexible power networks operation and control. In: Power systems conference and exposition, 2009. PSCE'09. IEEE/PES; 2009. p. 1-8.
[5] U. S. D. o. E. b. L. S. Communication, The SMART GRID: An Introduction.
[6] (01-10-2018). The History of Making the Grid Smart. Available: https://ethw. org/The_History_of_Making_the_Grid_Smart.
[7] SmartGrids E. SmartGrids strategic deployment document for Europe's electricity networks of the future. Europ Technol Platform SmartGrids 2010.
[8] Yu Y, Luan W. Smart grid and its implementations. Proc CSEE 2009;29:1–8.
[9] Greer C, Wollman DA, Prochaska DE, Boynton PA, Mazer JA, Nguyen CT, et al. NIST framework and roadmap for smart grid interoperability standards, release 3.0; 2014.
[10] Congress U. Energy independence and security act. Public Law 2007;1–311.
[11] Xia S, Luo X, Chan KW. A framework for self-healing smart grid with incorporation of multi-agents. Energy Proc 2014;61:2123–6.
[12] Moslehi K, Kumar R. A reliability perspective of the smart grid. IEEE Trans Smart Grid 2010;1:57–64.
[13] Colmenar-Santos A, Pérez M-Á, Borge-Diez D, Pérez-Molina C. Reliability and management of isolated smart-grid with dual mode in remote places: Application in the scope of great energetic needs. Int J Electr Power Energy Syst 2015;73:805–18.
[14] Yan Y, Qian Y, Sharif H, Tipper D. A survey on smart grid communication infrastructures: Motivations, requirements and challenges. IEEE Commun Surv Tutorials 2013;15:5–20.
[15] Von Dollen D. Report to NIST on the smart grid interoperability standards roadmap. Electric Power Res Inst (EPRI) Nat Inst Stand Technol 2009.
[16] Suleiman H, Alqassem I, Diabat A, Arnautovic E, Svetinovic D. Integrated smart grid systems security threat model. Inform Syst 2015;53:147–60.
[17] Ashok A, Hahn A, Govindarasu M. Cyber-physical security of wide-area monitoring, protection and control in a smart grid environment. J Adv Res 2014;5:481–9.
[18] Wang Y, Ruan D, Gu D, Gao J, Liu D, Xu J, et al. Analysis of smart grid security standards. Computer science and automation engineering (CSAE) IEEE international conference on 2011;2011:697–701.
[19] Khan E, Adebisi B, Honary B. Location based security for smart grid applications. Energy Proc 2013;42:299–307.