



سازمان بهره‌وری انرژی ایران
(سابا)

مدلسازی مدیریت بار و انرژی در سیستم هوشمند اندازه‌گیری ایران

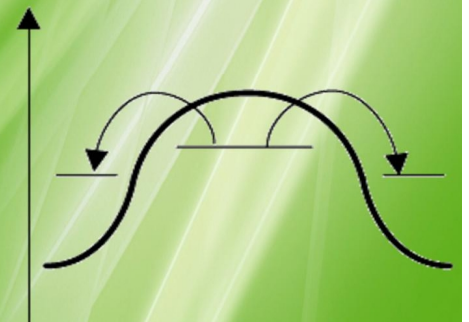
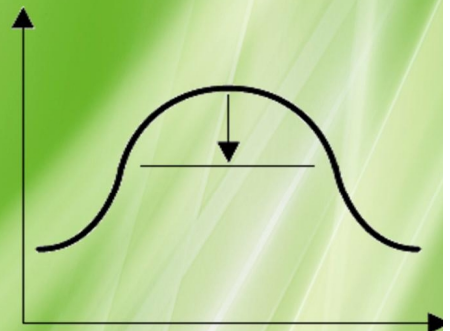
سازمان بهره‌وری انرژی ایران - معاونت سیستم‌های اندازه‌گیری و شبکه هوشمند

گزارش چهارم

شبکه‌های هوشمند و پاسخگویی بار در آن



پژوهشگر: مهندس علیرضا ذکریزاده



فهرست مطالب

۲۰.....	شبکه‌های هوشمند و پاسخگویی بار در آن
۲.....	۱-۵- مقدمه
۴.....	۲-۵- شبکه‌های برق فعلی
۶.....	۳-۵- شبکه‌های هوشمند
۷.....	۴-۵- دلایل تمایل به هوشمندسازی شبکه
۱۰.....	۱-۴-۵- انتقال اطلاعات شبکه به طور گسترده به مرکز کنترل
۱۰.....	۲-۴-۵- پاسخگویی بار
۱۰.....	۳-۴-۵- ذخیره‌سازی برق
۱۰.....	۴-۴-۵- حمل و نقل الکتریکی
۱۲.....	۵-۵- تجهیزات اندازه‌گیری هوشمند

شبکه‌های هوشمند و پاسخگویی بار در آن

۵-۱- مقدمه

امروزه شرکت‌های برق در سراسر جهان با مشکلات زیادی روبرو می‌باشند. به عنوان مثال، در حال حاضر تنها یک سوم از انرژی سوخت مورد استفاده به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود و گرمای تلف شده نیز بازیابی نمی‌گردد. ۸٪ از خروجی توان نیروگاه‌ها در حین انتقال به بارها تلف می‌شود. ۲۰٪ از ظرفیت نیروگاهی فقط برای ساعات اوج بار مورد استفاده قرار می‌گیرند (دوره‌ی اوج در ۵٪ از کل زمان رخ می‌دهد). همچنین کمبودهای انرژی و آلاینده‌های زیست محیطی از جمله‌ی این مشکلات می‌باشند. شبکه برق فعلی ذاتاً دارای ارتباط یک طرفه می‌باشد. بعلاوه به علت ساختار سلسله مراتبی، شبکه برق موجود از خطاهای سلسله‌وار^۱ رنج می‌برد. این‌گونه مشکلات با وجود شبکه برق فعلی قابل حل نخواهند بود.

شبکه هوشمند^۲، با هدف رفع مشکلات شبکه‌های برق فعلی و مدیریت بهتر و کارآمدتر سیستم قدرت مطرح شدند. این شبکه‌ها امکان پایش کامل و کنترل لحظه به لحظه تجهیزات را برای شرکت‌های برق فراهم می‌کند. انتظار می‌رود که ایجاد این شبکه‌ها کنترل و بهره‌برداری سیستم قدرت را بهبود ببخشد و امکان استفاده گسترده از تولیدات پراکنده را فراهم کنند. شبکه هوشمند باید قادر به ترمیم خود و

^۱ - Domino-Effect

^۲ - Smart Grid

بازگشت سریع به شرایط مطلوب، با وجود خطاهای ایجاد شده، باشد. همچنین شبکه هوشمند گردانندگان خود را در جهت یافتن راه‌های جدید جهت انجام مبادلات اقتصادی انرژی در سیستم قدرت، یاری خواهند کرد [۱۳].

ویژگی‌های شبکه‌های هوشمند مرتبط با سمت بار بیشتر از سایر بخش‌ها مورد توجه قرار گرفته است. سیستم‌های اندازه‌گیری AMI، نمایشگرهای هوشمند و کنترل‌کننده‌های هوشمند از جمله‌ی مسائل سمت بار در این شبکه‌ها می‌باشد. همانطور که تاکنون نیز گفته شد، با استفاده از سیستم‌های اندازه‌گیری پیشرفته میزان مصرف انرژی الکتریکی هر مصرف‌کننده در تمام زمان‌ها در دسترس خواهد بود. بنابراین برخلاف سیستم‌های قدرت فعلی، مصرف‌کنندگانی که در ساعاتی که قیمت برق بالا است برق مصرف نمی‌کنند، مجبور نخواهند بود که هزینه‌ی اضافه برای مصرف برق سایر مشترکین در این ساعات پرداخت کنند. سیستم‌های نمایشگر هوشمند^۱، قیمت لحظه‌ای برق را به اطلاع مصرف‌کنندگان می‌رسانند. این تکنولوژی به کمک سیستم‌های ارتباطی و در کنار AMI سبب بهبود شرایط برای اجرای برنامه‌های پاسخگویی بار خواهد شد. چراکه با مطلع شدن از قیمت برق، مصرف‌کنندگان بیشتر در مصرف برق صرفه‌جویی خواهند کرد و یا مصرف خود را به ساعات دیگر منتقل خواهند کرد. همچنین در این شبکه‌های نوظهور، استفاده از سنسورهای حساس به قیمت برق پائین، شرایط استفاده از کنترل‌گرهای هوشمند را فراهم کرده است. این کنترل‌گرها می‌توانند مصرف برق مشترکین را با توجه به قیمت برق و تنظیمات مربوطه کنترل کنند. که این مهم گامی موثر در کنترل مصرف انرژی الکتریکی خواهد بود. این کنترل‌گرها در حالت محلی، برطبق خواست مصرف‌کننده تنظیم خواهند شد و با توجه به قیمت برق و سنسورهای حساس به قیمت برق، در ساعاتی که قیمت برق بالا می‌باشد، مصرف برق مصرف‌کننده‌ی مربوطه را (با توجه به تنظیمات از پیش انجام شده توسط خود مصرف‌کننده) کاهش خواهند داد. در حالت کلی، این کنترل‌گرها باهم در ارتباط خواهند بود و توسط یک سیستم سلسله مراتبی کنترل خواهند شد. در حالت دوم خرده‌فروشان ممکن است برای اینکه از میزان خطر خود بکاهند، خود کنترل این کنترل‌گرها را به عهده بگیرند. حتی ممکن است بهره‌بردار سیستم، به منظور افزایش امنیت سیستم،

¹ Smart Monitors

از این کنترل‌کننده‌ها استفاده کند. شایان ذکر است که این حالت ممکن است با حفظ حریم خصوصی^۱ مشترکین در تضاد باشد.

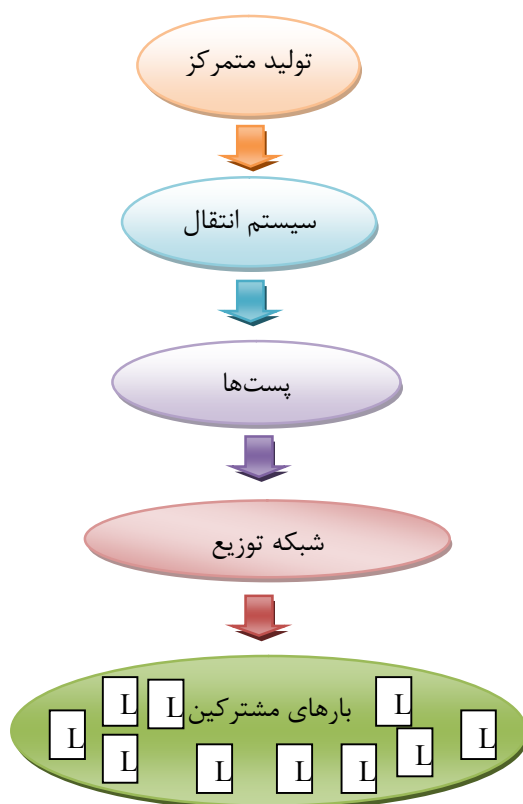
در اکثر بازارهای برق موجود سهم پاسخگویی بارها کم می‌باشد. در این بازارها تنها مصرف‌کنندگان بزرگ از شانس شرکت در بازار عمده‌فروشی بطور مستقیم برخوردار می‌باشند. مصرف‌کنندگان کوچک به دو دلیل توانایی شرکت در این بازارها را نداشتند. دلیل اول اینکه لازمه‌ی شرکت مصرف‌کنندگان کوچک در بازار، اندازه‌گیری زمان واقعی مصرف آنها در همه حال می‌باشد. همچنین مصرف‌کنندگان می‌بایست همواره از قیمت برق در دوره‌های مختلف اطلاع حاصل کنند. استفاده از چنین سیستم‌های اندازه‌گیری و ارتباطاتی در سیستم برق اخیر مستلزم صرف هزینه بالا می‌باشد. این هزینه با سودی که از شرکت در بازار برای مصرف‌کنندگان کوچک حاصل می‌شود قابل جبران نخواهد بود. دلیل دوم اینکه تعداد این مصرف‌کنندگان بسیار زیاد می‌باشد، بنابراین اطلاعاتی که می‌بایست توسط بهره‌بردار سیستم جمع‌آوری و یا فرستاده شود بسیار بالا است. توسعه AMI و نمایشگرهای هوشمند در شبکه‌ی هوشمند می‌تواند راهکار مناسبی برای حل این مسئله محسوب شود. در این فصل ابتدا به توضیح ساختار شبکه‌ی هوشمند الکتریکی پرداخته می‌شود و سپس به توضیح اثر این شبکه‌ها بر اجرای برنامه‌های پاسخگویی بار پرداخته خواهد شد.

۵-۲- شبکه‌های برق فعلی

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 بطور معمول از فن‌آوری‌های مشابهی استفاده می‌کنند. با این حال، رشد سیستم برق، تحت تأثیر مسائل اقتصادی، سیاسی و جغرافیایی که برای هر شرکت منحصر به فرد می‌باشند، قرار گرفته است. با وجود چنین تفاوت‌ها، کلیت ساختار سیستم قدرت موجود یکسان است. صنعت برق از آغاز، با وجود مرز مشخص بین قسمت تولید، انتقال و توزیع خود فعالیت می‌کرده و در نتیجه هر بخش اتوماسیون، تحول و دگرگونی متفاوتی را شکل داده است.

¹ Privacy

همانطور که شکل (۵-۱) نشان می‌دهد، شبکه برق موجود یک سیستم کاملاً سلسله مراتبی است که در آن نیروگاه‌ها در بالای زنجیره، تحویل قدرت به بارهای مشتریان در پایین زنجیره را تضمین می‌کنند. این سیستم اساساً یک خط یک‌طرفه است که هیچ منبع اطلاعاتی زمان واقعی^۱ در مورد نقاط پایانی در اختیار ندارد. بنابراین شبکه برق به‌منظور حفظ قابلیت اطمینان، به‌گونه‌ای برنامه‌ریزی و طراحی می‌شوند تا بتواند حداکثر تقاضای پیش‌بینی‌شده را تحمل کند. در نتیجه از آنجایی که این اوج تقاضا، تنها در کسری از ساعات روز رخ می‌دهد، سیستم مذکور ذاتاً غیربهینه می‌باشد.



شکل (۵-۱): ساختار سیستم قدرت فعلی

علاوه بر این، یک افزایش بی‌سابقه تقاضای توان، توأم با تأخیر در سرمایه‌گذاری در زیر ساخت‌های سیستم قدرت، پایداری سیستم را کاهش می‌دهد. در شرایط عدم وجود حاشیه امنیت کافی، هر گونه تقاضای شدید پیش‌بینی نشده یا امر غیر معمول در شبکه توزیع که باعث خطایی در قسمتی از شبکه

^۱ - Real Time

شود، می‌تواند به خاموشی فاجعه‌آمیزی منجر شود. کمبودهای انرژی و آلاینده‌های زیست محیطی، انرژی تلف شده در خطوط انتقال و ساختار سلسله مراتبی از دیگر ضعف‌های این شبکه‌ها می‌باشد که در بخش ابتدایی به آنها اشاره شد.

برای تسهیل عیب‌یابی و حفاظت از تجهیزات گران قیمت، شرکت‌های برق سطوح مختلفی از توابع فرمان - و - کنترل^۱ را معرفی کرده‌اند. یک سیستم متداول از این دست، سیستم کنترل نظارتی و جمع-آوری داده (SCADA) می‌باشد. اگرچه چنین سیستم‌هایی امکان کنترل محدود بر عملکرد سیستم را برای شرکت‌ها فراهم می‌کنند، اما شبکه توزیع در خارج از محدوده کنترل به هنگام آنان قرار می‌گیرد. به عنوان مثال، در آمریکای شمالی، که موسس یکی پیشرفته‌ترین سیستم‌های برق جهان می‌باشد، کمتر از یک چهارم از شبکه توزیع به سیستم‌های اطلاعات و مخابرات مجهز بوده و نفوذ اتوماسیون در سیستم توزیع، در سطح فیدر سیستم، تنها ۱۵٪ تا ۲۰٪ تخمین زده می‌شود.

۵-۳- شبکه‌های هوشمند

در یک تعریف ساده می‌توان شبکه‌ی هوشمند را بصورت اجتماع زیرساخت‌های شبکه‌ی قدرت با شبکه گسترده مخابراتی بیان کرد. این نوع شبکه امکان ارتباط دوطرفه و استفاده از حس‌گرهای پیشرفته را به منظور بهبود کارایی و قابلیت اطمینان سیستم، امنیت انتقال و مصرف توان فراهم می‌کند. به عنوان تعریفی دیگر، می‌توان شبکه‌ی هوشمند را بصورت اجتماع شبکه‌های ارتباطی با سیستم قدرت به منظور 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 آن‌را به مراتب بالاتر اطلاع‌رسانی کند و بصورت خودکار اقدامات اصلاحی را انجام دهد و مانع از تبدیل شدن یک پیشامد اتفاقی محلی به خروج سلسه مراتبی^۲ شود. بنابراین ویژگی اصلی و یا حتی هدف اصلی از مطرح شدن شبکه هوشمند را می‌توان کنترل و پایش سیستم قدرت مطرح کرد. یک مقایسه کلی بین شبکه‌ی هوشمند و شبکه‌های برق فعلی در جدول (۵-۱) آورده شده است.

^۱ - Command-and-Control

^۲ cascading out

جدول ۵-۱- مقایسه شبکه هوشمند با شبکه برق فعلی

ویژگی‌های شبکه برق فعلی	ویژگی‌های شبکه هوشمند
الکترو مکانیکی	دیجیتال
ارتباط یک طرف	ارتباط دو طرفه
تولید متمرکز	تولید پراکنده
سلسله مراتبی	شبکه‌ای
سنسورهای اندک	سنسورهای فراوان
ناپینا	خود مانیتورینگ
باز یابی دستی	خود ترمیمی
خطا و خاموشی گسترده	تطبیقی و قابل جزیره شدن
بررسی و تست دستی	بررسی و تست از راه دور
کنترل محدود	کنترل گسترده
گزینه‌های محدود برای مشتریان	ایجاد گزینه‌های گسترده برای مشتریان

۵-۴- دلایل تمایل به هوشمندسازی شبکه

تقریباً ۹۰٪ از خاموشی‌ها^۱ و اختلالات، شبکه توزیع می‌باشد و در نتیجه حرکت به سمت شبکه هوشمند به منظور رفع مشکلات می‌بایست از پایین زنجیره، یعنی سیستم توزیع شروع شود. علاوه بر این افزایش سریع قیمت سوخت‌های فسیلی، به همراه عدم توانایی شرکت‌ها در افزایش ظرفیت تولید خود مطابق با افزایش تقاضا، نیاز به پیشرفته کردن شبکه توزیع و استفاده از تکنولوژی‌هایی که می‌توانند با بهبود مدیریت سمت تقاضا و حفاظت از امکانات، سیستم را یاری کنند، افزایش یافته است.

ایده شبکه هوشمند با ایده تجهیزات اندازه‌گیری پیشرفته (AMI) به منظور توسعه مدیریت سمت تقاضا، افزایش بهره‌وری انرژی و یک شبکه الکتریکی خود ترمیم آغاز شد تا قابلیت اطمینان منابع و پاسخگویی به حوادث طبیعی یا خرابکاری عامدانه را بهبود بخشد. اما توسعه‌های بعدی سبب بهبود جنبه‌های اولیه مد نظر برای شبکه هوشمند، شدند و به شکل‌گیری چهره جدید صنعت برق کمک کرده اند [۳].

از جمله این توسعه‌ها می‌توان موارد زیر را بیان کرد:

الف- تأکید بر حفاظت زیست محیطی که شامل استفاده از تولیدات پراکنده (بادی، خورشیدی و...) و پاسخگویی بار می‌باشد؛

ب- انگیزه‌ی بکارگیری بهتر تجهیزات، شامل بهره‌برداری در نقطه نزدیک‌تر به زانوی منحنی با حفظ بهره‌برداری مطمئن سیستم؛

ج- نیاز به افزایش حق انتخاب‌های مشتری.

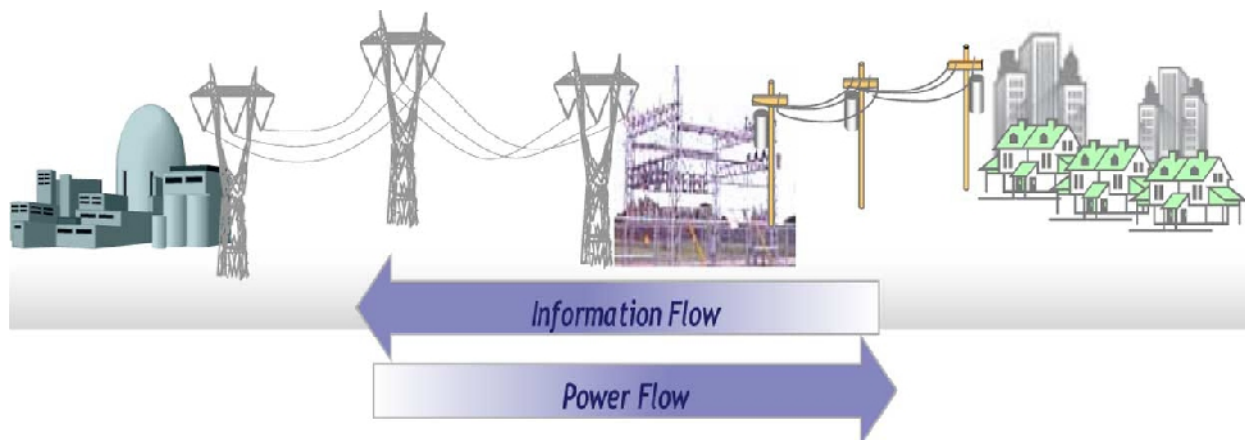
شکل (۵-۲) این عوامل مؤثر در ظهور مدل شبکه هوشمند را نشان می‌دهد و نقش پاسخگویی بار و منابع انرژی پراکنده (منظور از منابع انرژی پراکنده، ترکیب تولیدات پراکنده و پاسخگویی بار و ذخیره-کنندگان انرژی است) را در این عرصه جدید روشن می‌سازد.



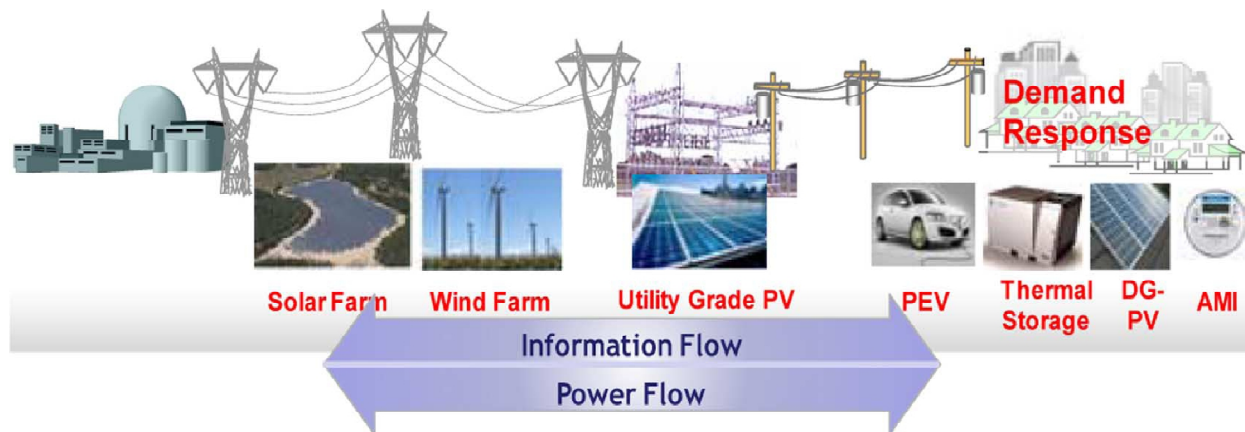
شکل (۵-۲): عوامل مؤثر در شکل‌گیری مفهوم شبکه هوشمند

از محرک‌های مهم ایجاد شبکه‌های هوشمند، ایجاد ارتباط دو طرفه بین بازارهای کلی فروشی یا بهره‌برداری انتقال و بازار خرده‌فروش یا بهره‌برداری توزیع می‌باشد. تمایل به افزایش میزان پاسخگویی بارها، منابع تجدیدپذیر و تولید پراکنده و ذخیره‌کننده‌ها در سطح توزیع یا خرده‌فروشی، تأثیر مستقیمی بر بهره‌برداری از سیستم‌های انتقال و بازارهای انرژی عمده‌فروشی خواهد داشت. توسعه فناوری‌ها از قبیل پیشرفت در فناوری اطلاعات و ارتباطات، امکان تبدیل این قابلیت‌های جدید را به تولیدات مفید قابل کنترل برای بهره‌برداران بازار عمده‌فروشی و سیستم انتقال فراهم می‌نماید.

شکل (۳-۵) مسیر انتقال توان و اطلاعات را در محیط بهره‌برداری سنتی نشان می‌دهد. گردش توان از منابع تولید متمرکز (نیروگاه‌ها) به سمت تقاضا، تقریباً به صورت یک طرفه می‌باشد و گردش اطلاعات از مراکز بهره‌برداری ولتاژ پایین‌تر به سمت مراکز با ولتاژ بالاتر می‌باشد. در مقابل، در شبکه هوشمند، گردش قدرت و اطلاعات هر دو به صورت دو طرفه مطابق شکل (۴-۵) می‌باشد. انتظار می‌رود به کارگیری ذخیره‌سازهای حرارتی جدید برای جابجایی بار اوج، کاهش هزینه تولید فتوولتایی خورشیدی در سطح مسکونی و شهری و در نتیجه افزایش استفاده از آن، پیش بینی جایگزینی حمل و نقل با سوخت متداول با خودروهای الکتریکی قابل شارژ، ظهور حس‌گرهای هوشمند حساس به قیمت برق و ایجاد یک شبکه ارتباطی ایمن دو طرفه در سراسر قلمرو شرکت‌های برق، به طور قابل توجهی ماهیت منابع تولید توان و بهره‌برداری سیستم قدرت را در آینده و همچنین رفتار مشترکین را تغییر دهد [۱۶].



شکل (۳-۵): مسیر انتقال توان و اطلاعات را در محیط بهره‌برداری سنتی



شکل (۴-۵): گردش قدرت و اطلاعات

در ادامه عوامل مهم در یک شبکه‌ی هوشمند بطور مختصر مورد بررسی قرار گرفته است.

۵-۴-۱- انتقال اطلاعات شبکه به طور گسترده به مرکز کنترل

با پیاده سازی شبکه هوشمند، امکان پایش و نمایش تقریباً به هنگام^۱ اجزا و عملکرد سیستم قدرت در سراسر مناطق جغرافیایی وسیع و به هم پیوسته فراهم می‌گردد. اطلاعات کلیه تجهیزات شبکه به طور پیوسته و دائم به مرکز کنترل ارسال می‌شود و تصمیمات لازم براساس این حجم گسترده اطلاعات، به صورت به هنگام اتخاذ می‌گردد.

۵-۴-۲- پاسخگویی بار

همانطور که تاکنون نیز دیدیم، به منظور اجرای مناسب برنامه‌های پاسخگویی بار می‌بایست 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 هزینه‌های خود به شبکه بدهند، که این امر موجب کاهش مصرف در زمان اوج تقاضا خواهد گردید. شبکه هوشمند با استفاده از سیستم ارتباط دو طرفه و انتقال اطلاعات به مصرف‌کنندگان و همچنین استفاده از سیستم اندازه‌گیری پیشرفته، ساختار مناسبی برای اجرای کامل برنامه‌های پاسخگویی بار فراهم کرده است. به دلیل اهمیت موضوع این بخش متعاقباً مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۵-۴-۳- ذخیره سازی برق

شامل وسایل ذخیره سازی وسایل الکتریکی به صورت مستقیم یا غیرمستقیم می‌باشد. با مطرح شدن شبکه هوشمند و استفاده از سلول‌های فتوولتایی در سقف ساختمان‌ها، اهمیت ذخیره سازها بیشتر می‌گردد. ذخیره سازهای بزرگ اتمی الکتریکی که امروزه فراهم است، بسیار اندک و محدود می‌باشند و مهم‌ترین تکنولوژی در این زمینه واحدهای آبی تلمبه ذخیره‌ای می‌باشند. بنابراین رشد و توسعه شبکه هوشمند نیازمند یک پیشرفت جدی در بحث ذخیره سازها می‌باشد.

۵-۴-۴- حمل و نقل الکتریکی

این موضوع به کاربرد گسترده خودروهای الکتریکی قابل شارژ^۲ اشاره دارد. حمل و نقل الکتریکی می‌تواند به طور قابل توجهی وابستگی به مشتقات نفت را کاهش داده و استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر

¹ - Real Time

² - Plug- In Electric Vehicles

را افزایش دهد. همچنین باعث کاهش چشمگیر آلاینده‌های زیست محیطی خواهد شد. مسئله‌های که در اینجا مطرح می‌شود زمان و نحوه شارژ این خودروهای الکتریکی است. با پیاده‌سازی شبکه هوشمند در ساختمان‌ها، پردازنده مرکزی منزل زمان 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.

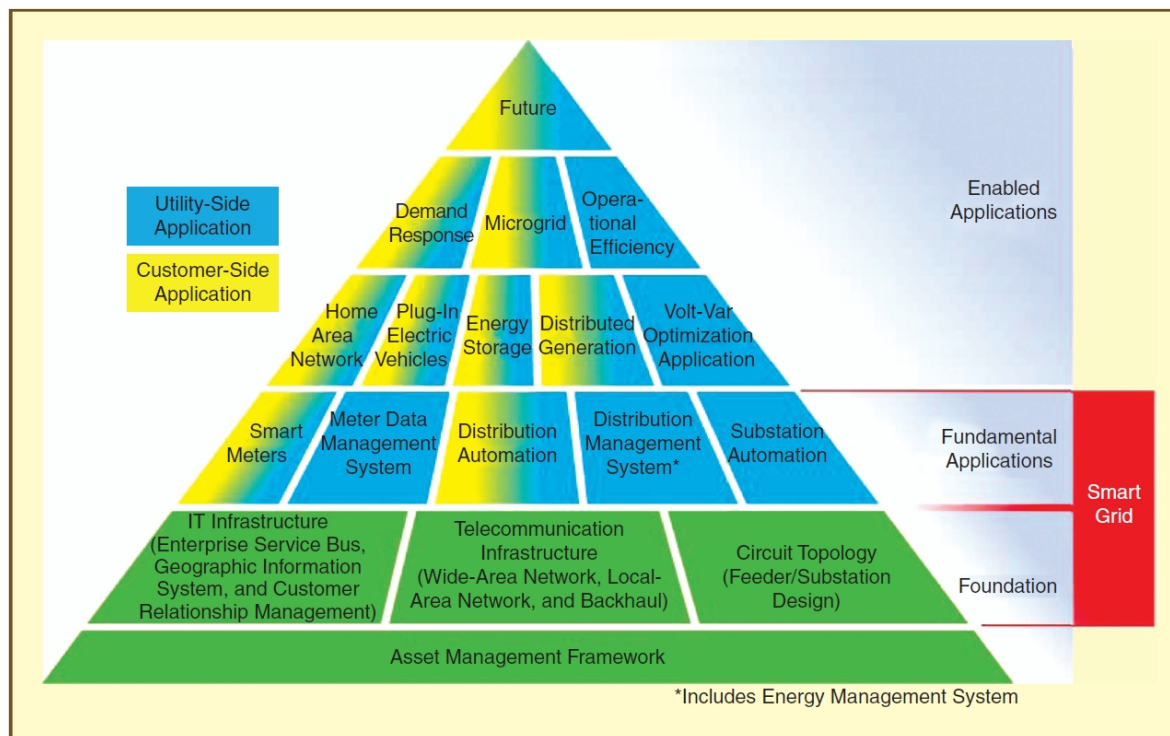
زیرساخت‌های اندازه‌گیری پیشرفته¹:

این تجهیزات ارتباط دو طرفه‌ای بین مراکز کنترل و مشترکین برای مبادله اطلاعات با دستگاه‌های مصرف‌کننده فراهم می‌کنند. AMI موجب آگاهی مشترکین از قیمت برق شده و می‌تواند به بهره‌برداران در دستیابی به کاهش بار مورد نیاز کمک نماید. بدین طریق شرکت‌ها نه تنها می‌توانند اطلاعات لحظه‌هایی از تقاضای فردی و جمعی دریافت کنند، بلکه می‌توانند محدودیت‌های معینی بر میزان مصرف و نیز مدل‌های مختلف درآمدی را برای کنترل هزینه‌های خود، اعمال کنند. البته سیستم مخابراتی مورد استفاده برای AMIها و میزان اطلاعاتی که به مشترکین می‌رسد یا مبادله می‌گردد، می‌تواند متفاوت باشد.

شبکه قدرت بعنوان ستون فقرات صنعت برق، امروزه با تکنولوژی‌های جدید برای بکارگیری در ساختارش روبرو شده است. شرکت‌های برق در اکثر نقاط دنیا، در حال حرکت در جهت استفاده از این فن‌آوری‌های جدید در جنبه‌های مختلف بهره‌برداری و همچنین زیرساختی می‌باشند. در مرکز این تحولات، استفاده بهینه‌تر از تجهیزات موجود قرار دارد. شکل (۵-۵) هرم تغییرات و حرکت شرکت برق را در شکل‌گیری شبکه هوشمند نشان می‌دهد که در آن مدیریت تجهیزات موجود، در پایین‌ترین قسمت توسعه شبکه هوشمند قرار گرفته است. در حقیقت شرکت‌ها با تکیه بر این هدف و در جهت استفاده بهینه از تجهیزات، با تغییرات اساسی در زیرساخت‌های IT، ارتباطی و مداری، فنداسیون شبکه هوشمند را بنا می‌کنند. پیشرفت این عوامل و امکان استفاده از آنها در شبکه‌های قدرت شرایط حرکت به سمت کاربردهای شبکه‌های هوشمند را فراهم ساخته است. این کاربردهای در واقع پایه‌ای برای پیاده‌سازی عوامل مدنظر در شبکه‌های هوشمند می‌باشند و شرایط لازم برای این دسترسی به اهداف شبکه هوشمند

1 - Advanced Metering Infrastructure (AMI)

را فراهم می‌کنند. به عنوان مثال، همانطور که در این شکل دیده می‌شود، پاسخگویی بار که از ویژگی‌های مهم و برجسته شبکه هوشمند می‌باشد، بدون ارتباط تنگاتنگ وسایل اندازه‌گیری هوشمند و شبکه‌های خانگی^۱ به خوبی قابل اجرا نخواهد بود.



شکل (۵-۵): هرم تغییرات و حرکت شرکت برق در شکل‌گیری شبکه هوشمند

۵-۵- تجهیزات اندازه‌گیری هوشمند

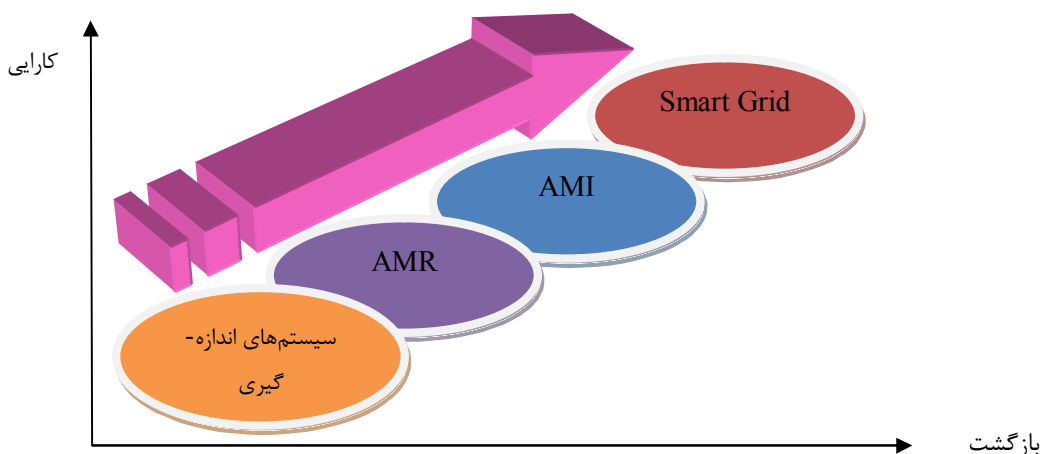
تجهیزات اندازه‌گیری هوشمند، احتمالاً نماد شبکه‌های هوشمند خواهد بود. این تجهیزات فراتر از وسایل اندازه‌گیری شناخته شده است. شرکت‌ها و دولت‌ها در سراسر جهان میلیاردها دلار جهت نصب سیستم‌های اندازه‌گیری که به صورت به هنگام به شرکت‌های برق اطلاع می‌دهد که در هر گره سیستم چه میزان برق مصرف می‌شود سرمایه‌گذاری می‌کنند.

نیاز به دقت و همزمانی دستگاه‌های اندازه‌گیری در هر دو سمت تولیدکننده و مصرف‌کننده، علل مختلفی دارد از آن جمله می‌توان به مود زیر اشاره کرد: با رشد تولید پراکنده، شرکت‌های برق می‌توانند برق را از مشترکین بخرند و یا به آنها بفروشند، بنابراین این شرکت‌ها نیازمند اطلاعات صحیح از میزان

¹ - Home Area Networks (HAN)

انرژی هستند که هر دو سمت به شبکه تحویل داده یا تزریق می‌کنند. همانطور که دیده می‌شود، پیاده‌سازی و اجرای اهداف شبکه هوشمند تنها با استفاده از سیستم اندازه‌گیری مناسب که مقدار مصرف و تولید توان را در گره‌های مختلف سیستم اندازه می‌گیرد امکان‌پذیر است. با توجه به اهمیت مسئله در اینجا مروری بر سیستم‌های اندازه‌گیری موجود صورت گرفته است.

همانطور که شکل (۵-۶) نشان می‌دهد، وسایل اندازه‌گیری سیستم توزیع نقطه تمرکز سرمایه‌گذاری‌های زیربنایی اخیر می‌باشند. در ابتدا سیستم‌های اندازه‌گیری که مورد توجه قرار گرفتند، سیستم اندازه‌گیری خواندن خودکار اندازه‌گیری (AMR)^۱ در شبکه توزیع بودند. AMR به شرکت‌های برق اجازه خواندن سوابق مصرف، هشدارها و وضعیت مشتریان را به صورت از راه دور می‌دهد.

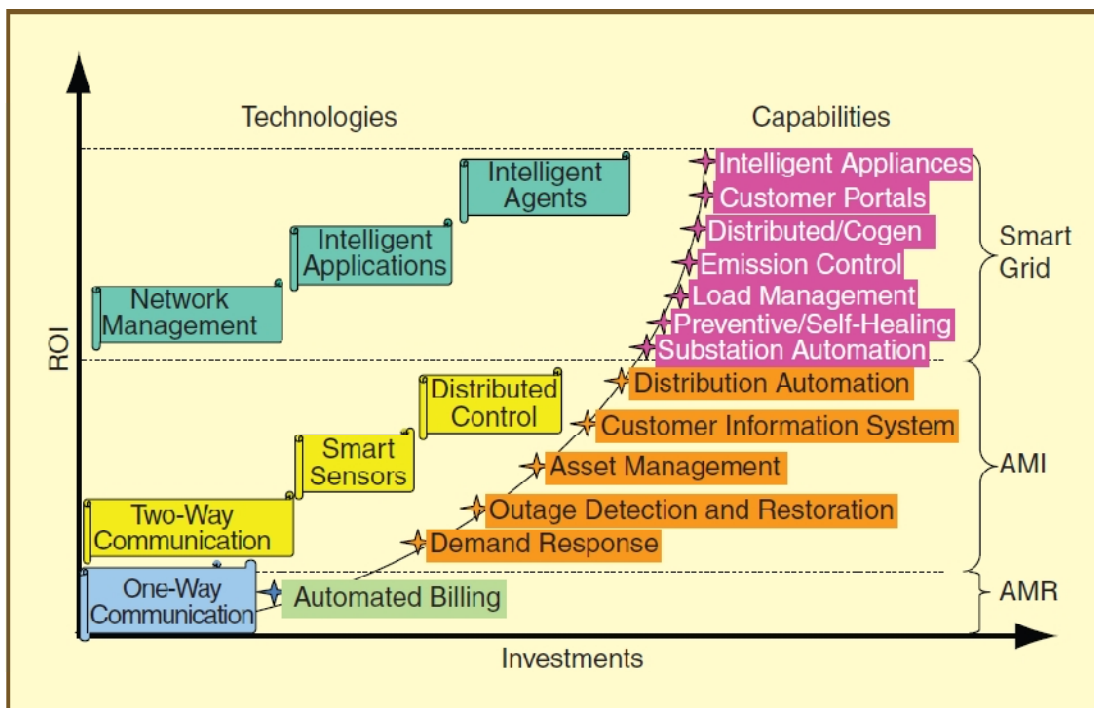


شکل (۵-۶): روند سرمایه‌گذاری در زمینه سیستم‌های اندازه‌گیری

همانطور که در شکل (۵-۷) مشاهده می‌شود، اگرچه در ابتدا مفید بودن تکنولوژی AMR اثبات گردید، اما بعداً شرکت‌ها متوجه شدند که AMR قادر به حل مشکل اصلی آنان، یعنی مدیریت سمت تقاضا، نمی‌باشد. با توجه به یک طرفه بودن سیستم مخابراتی AMR، توانایی آن به خواندن داده‌های اندازه‌گیری شده محدود می‌باشد و شرکت‌های برق توانایی انجام اقدامات اصلاحی در مقدار توان مصرفی براساس اطلاعات واصله از وسایل اندازه‌گیری را ندارند و نیز مصرف‌کنندگان اطلاع دقیقی از قیمت برق

^۱ - Automated Meter Reading (AMR)

بصورت زمان واقعی دریافت نمی‌کنند. به عبارت دیگر، سیستم‌های AMR امکان گذر به شبکه هوشمند، که در آن کنترل فراگیر در تمام سطوح از اصول اولیه می‌باشد، را نمی‌دهند.



شکل (۵-۷): مزایای سیستم‌های AMR و AMI

در نتیجه، فناوری AMR عمر کوتاهی داشت. شرکت‌ها در سراسر جهان، به جای سرمایه‌گذاری در AMR، به سمت زیرساخت‌های اندازه‌گیری پیشرفته (AMI) ^۱ متمایل شدند. AMI، برای شرکت‌ها یک سیستم ارتباطی دو طرفه با وسایل اندازه‌گیری و همچنین توانایی تغییر پارامترهای خدمات به مشتریان را فراهم می‌کند. به کمک این سیستم اندازه‌گیری نه تنها 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. بدین ترتیب شرکت‌ها می‌توانند اطلاعات لحظه‌ای از تقاضای فردی و جمعی دریافت کنند و همچنین محدودیت‌های معینی بر میزان مصرف و نیز مدل‌های مختلف را برای کنترل هزینه‌های خود، اعمال کنند.

^۱ - Advanced Metering Infrastructure (AMI)

همانطور که گفته شد، AMI در کنار عواملی دیگر مانند تولیدات پراکنده سبب مطرح شدن شبکه هوشمند گردید. بنابراین یکی از معیارهای مهم شرکت‌های در انتخاب بین فناوری‌های مختلف AMI، امکان سازگاری با ساختارها و فن‌آوری‌های فعلی شبکه هوشمند می‌باشد. می‌توان مدیریت سمت تقاضا و پاسخگویی بار به‌عنوان یکی از عوامل پایه‌ای در مطرح شدن شبکه‌های هوشمند نام برد.

شبکه هوشمند در واقع پاسخی به تعهدات اقتصادی، امنیتی و زیست محیطی تحمیل شده به تولیدکنندگان و تحویل دهندگان انرژی می‌باشد. شبکه هوشمند نقاط دسترسی فراهم می‌کند (بسیار شبیه به تجهیزات کامپیوتری)، که با یک آدرس براساس پروتکل‌های اینترنت^۱ می‌توانند در محیط اینترنت شناخته شوند. شبکه هوشمند از پروتکل‌های اینترنت برای انتقال اطلاعات از ابتدا به انتها، بین بهره‌برداران و مشترکین، استفاده می‌نماید. با ارتباط دو طرفه بین مشترکین و بهره‌برداران، هر دو بخش می‌توانند کنترل بیشتری بر مصرف شبکه و ساختار فیزیکی و امنیت سایبری^۲ آن داشته باشند [۱۴].

1 - IP Address

2 - Cyber security