دانشگاه زنجان

دانشکده فنی‌مهندسی

گروه برق

پایان‌نامه کارشناسی

گرایش قدرت

عنوان:

کنترل انرژی‌های نو در سیستم‌های قدرت هوشمند

راهنما:

رضا نوروزیان

نگارنده:

مهندس ناصر نوتاش

شهریور ۹۱

فهرست مطالب

عنوان صفحه

✓ فصل اول شبکه‌های هوشمند

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ شبکه‌های برق فعلی ٤

۱-۲-۱ عدم کارایی شبکه برق در مدیریت حداکثر تقاضا ٦

۱-۲-۲ عدم توانایی‌شبکه در ایجاد تبادل مطمئن اطلاعات ٦

۱-۲-۳ پشتیبانی و قابلیت محدود شبکه در استفاده از منابع تولید پراکنده ۷

۱-۲-٤ ناکارآمدی شبکه با گسترش اتصال ماشین‌های الکتریکی ۷

۱-۲-۵ مستعد بودن شبکه در بروز خاموشی و اختلال کیفیت توان ۷

۱-۲-٦ آسیب‌پذیری شبکه‌های موجود بر اثر بلاهای طبیعی ۸

۱-۲-۷ قدیمی و منسوخ بودن شبکه برق ۸

۱-۳ شبکه‌های هوشمند ۹

۱-۳-۱ ویژگی‌هایی که یک هوشمند باید داشته باشد ۱۰

۱-۳-۲ شبکه هوشمند شبکه‌ای سازگار با محیط زیست ۱۲

۱-۳-۳ مزایای شبکه‌های هوشمند ۱۳

۱-٤ دلایل تمایل به هوشمند سازی شبکه ۱٦

۱-٤-۱ انتقال اطلاعات شبکه به طور گسترده به مرکز کنترل ۱۸

۱-٤-۲ سیستم‌های مخابراتی در شبک‌های هوشمند ۱۹

۱-٤-۳ پاسخگویی بار ۲۱

۱-٤-٤ ذخیره سازی برق ۲۱

۱-٤-۵ حمل و نقل الکتریکی ۲۲

۱-٤-٦ زیر ساخت‌های اندازه‌گیری پیشرفته ۲۳

۱-۵ تجهیزات اندازه‌گیری هوشمند ۲٤

۱-٦ پروژه‌های شبکه‌های برق هوشمند در دنیا ۲۷

عنوان صفحه

۱-۷ وضعیت توسعه شبکه برق هوشمند در ایران ۲۷

✓ فصل دوم پاسخگویی هوشمند بار

۲-۱ مقدمه ۳۱
۲-۲ مفاهیم مدیریت سمت مصرف ۳۲
۲-۲-۱ افزایش بهره‌وری انرژی ۳۲
۲-۲-۲ پاسخگویی بار ۳٤
۲-۳ ضرورت اجرای برنامه پاسخگویی بار ۳۵
۲-۳-۱ انواع برنامه‌های پاسخگویی بار ٤۱
۲-٤ برنامه‌های پاسخگویی بار بر مبنای قیمت برق ٤۱
۲-٤-۱ برنامه‌های پاسخگویی زمان استفاده (TOU) ٤۳
۲-٤-۲ برنامه‌های قیمت‌گذاری زمان واقعی (RTP) ٤٦
۲-٤-۳ برنامه‌های قیمت‌گذاری زمان پیک بحرانی (CPP) ٤۷
۲-۵ برنامه‌های پاسخگویی بار مبتنی بر تشویق ۵۱
۲-۵-۱ کنترل مستقیم بار (DLC) ۵۲
۲-۵-۲ قطع/کاهش بار (I/C) ۵۳
۲-۵-۳ برنامه‌های فروش دیماند/بازخرید (DB) ۵۵
۲-۵-٤ برنامه‌های پاسخگویی بار اضطراری (EDRP) ۵٦
۲-۵-۵ برنامه‌های بازار ظرفیت (CAP) ۵۷
۲-۵-٦ برنامه‌های خدمات جانبی (A/S) ۵۸
۲-٦ مدل‌های قابل اجرای برنامه‌های پاسخگویی بار در شبکه هوشمند ایران ۵۹

عنوان صفحه

✓ فصل سوم منابع تولید پراکنده

۳-۱ مقدمه ۶۲
۳-۲ انرژی ۶۳
۳-۲-۱ انرژی‌های تجدیدپذیر ۶۳
۳-۲-۱-۱ گذشته‌ای از انرژی‌های تجدیدپذیر ۶۳
۳-۲-۱-۲ اهمیت انرژی‌های تجدیدپذیر ۶۳
۳-۲-۲ انرژی‌های تجدید ناپذیر ۶۴
۳-۳ انرژی باد و توربین بادی ۶۵
۳-۳-۱ توربین‌های بادی منفرد ۶۷
۳-۳-۲ مزارع بادی ۶۷
۳-۳-۳ مزایای بهره‌برداری از انرژی باد ۶۸
۳-۳-۴ معایب بهره‌برداری از انرژی باد ۶۹
۳-۴ سیستم‌های فتوولتائیک ۶۹
۳-۴-۱ پنل‌های خورشیدی ۷۰
۳-۴-۲ تولید توان مطلوب یا بخش کنترل ۷۰
۳-۴-۳ مصرف‌کننده یا بار الکتریکی ۷۰
۳-۵ دودکش خورشیدی ۷۲
۳-۵-۱ اصول کار ۷۳
۳-۵-۲ توان خروجی ۷۴
۳-۵-۳ کلکتور ۷۵
۳-۵-۴ برج ۷۶
۳-۵-۵ توربین‌ها ۷۶
۳-۵-۶ نمونه دودکش خورشیدی ۷۶
۳-۶ پیل سوختی ۷۸

عنوان صفحه

۳-۷ میکروتوربین ۷۹
۳-۸ دیزل ژنراتور ۸۱
۳-۹ انرژی زمین گرمایی ۸۲
۳-۱۰ جایگاه انرژی‌های مختلف در جهان ۸٤
۳-۱۱ جمع بندی ۸٤

✓ مراجع ۸۵

✓فصل اول

شبکه‌های هوشمند

۱-۱ 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. هشت درصد از خروجی توان نیروگاه‌ها در حین انتقال به بارها تلف می‌شود. دو درصد از ظرفیت نیروگاهی فقط برای ساعات اوج بار مورد استفاده قرار می‌گیرند (دوره اوج در پنج درصد از کل زمان رخ می‌دهد). همچنین کمبودهای انرژی و آلاینده‌های زیست محیطی از جمله 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. این گونه مشکلات با وجود شبکه برق فعلی قابل حل نخواهند بود.

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

---

[۱] Domino-Effect.
[۲] Smart Grid.

ویژگی‌های شبکه‌های هوشمند مرتبط با سمت بار بیشتر از سایر بخش‌ها مورد توجه قرار گرفته است. سیستم‌های اندازه‌گیری AMI[1]، نمایشگرهای هوشمند و کنترل‌کننده‌های هوشمند از جمله مسائل سمت بار در این شبکه‌ها می‌باشد. با استفاده از سیستم‌های اندازه‌گیری پیشرفته میزان مصرف انرژی الکتریکی هر مصرف‌کننده در تمام زمان‌ها در دسترس خواهد بود. بنابراین برخلاف سیستم‌های قدرت فعلی، مصرف-کنندگانی که در ساعاتی که قیمت برق بالا است برق مصرف نمی‌کنند، مجبور نخواهند بود که هزینه اضافی برای مصرف برق سایر مشترکین در این ساعات پرداخت کنند. سیستم‌های نمایشگر هوشمند[2]، 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 پایین، 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 مؤثر 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 مصرف‌کننده 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 خرده فروشان 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، از این کنترل‌کننده‌ها استفاده کند. شایان ذکر است که این حالت ممکن است با حفظ حریم خصوصی[3] 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 عمده فروشی به طور مستقیم برخوردار می‌باشند. مصرف‌کنندگان کوچک به دو دلیل توانایی شرکت در این بازارها را ندارند؛ دلیل اول اینکه لازمه شرکت مصرف‌کنندگان کوچک در

[1] Advanced Metering Infrastructure.
[2] Smart Monitors.
[3] Privacy.

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 مصرف-کنندگان بسیار زیاد می‌باشد، بنابراین اطلاعاتی که می‌بایست توسط بهره‌بردار سیستم جمع‌آوری و یا فرستاده شود بسیار بالا است. توسعه AMI و نمایشگرهای هوشمند در شبکه هوشمند می‌تواند راهکار مناسبی برای حل این مسئله محسوب شود.

در این فصل به توضیح ساختار شبکه هوشمند الکتریکی پرداخته می‌شود و سپس در ادامه فصول به توضیح اثر این شبکه‌ها بر اجرای برنامه‌های پاسخگویی هوشمند بار پرداخته خواهد شد.

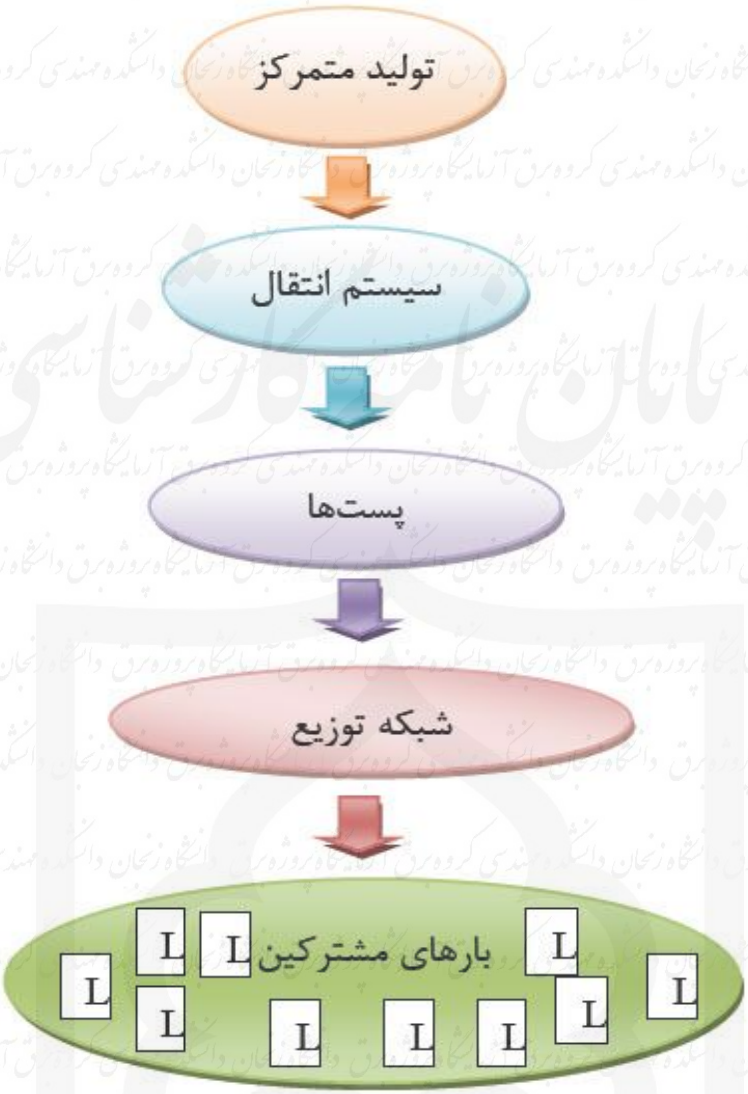
۱-۲ شبکه‌های برق فعلی

شبکه برق موجود، محصول گسترش شهرنشینی و توسعه سریع زیرساخت‌های گوناگون در بخش-های مختلف جهان در قرن‌های گذشته می‌باشد. اگرچه شرکت‌های برق در مناطق متفاوتی قرار دارند، اما به طور 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.

همان‌طور که شکل ۱-۱ 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 به منظور حفظ قابلیت اطمینان، به گونه‌ای برنامه‌ریزی و طراحی می‌شود تا بتواند حداکثر تقاضای پیش‌بینی شده را تحمل کند. در نتیجه از آنجایی که این اوج تقاضا، تنها در کسری از ساعات روز رخ می‌دهد، سیستم مذکور ذاتاً غیربهینه می‌باشد.

[۱] Real Time.



شکل ۱-۱ 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 شود، می‌تواند به خاموشی فاجعه آمیزی منجر شود. کمبودهای انرژی و آلاینده‌های زیست‌محیطی، انرژی تلف شده در خطوط انتقال و ساختار سلسله مراتبی از دیگر ضعف‌های این شبکه‌ها می‌باشد.

برای تسهیل عیب‌یابی و حفاظت از تجهیزات گران‌قیمت، 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

[۱] Command-and-Control.

داده اِسکادا[1] 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. مسائل اساسی در شبکه‌های برق موجود در ادامه بررسی خواهند شد.

۱-۲-۱ عدم کارآیی شبکه برق در مدیریت حداکثر تقاضا

ساختار شبکه که به منظور کنترل نمودن حداکثر تقاضای بار که متناظر با کل بار موجود در نظر گرفته شده زیاد از حد لزوم طراحی شده است. حداکثر دیماند به ندرت بیش از یک دوره کوتاه مدت در زمان رخ می‌دهد و این موضوع سبب ناکارآمدی سیستم قدرت خواهد شد. بعلاوه شبکه برق می‌بایست توانایی تأمین مازاد معینی از برق را داشته باشد که این مازاد در درجه اول به عهده نیروگاه‌های فسیلی گمارده می‌شود که نتایجی از جمله بهره‌وری پائین‌تر، تولید بیشتر گازهای گلخانه‌ای و هزینه بالاتر تولید را دربر خواهد داشت.

گذشته از آن برای برآورد افزایش تقاضای انرژی، شرکت‌های برق می‌بایست ظرفیت تولیدی خود را افزایش دهند، بدین معنی که آن‌ها بایستی ظرفیت توان تولیدی بیشتری را ایجاد نموده و توسط خطوط انتقال آن را به دست مشتریان برسانند. این افزایش ظرفیت و توسعه نیروگاهی با افزایش سریع نرخ سوخت فسیلی همراه است که سبب می‌شود این توسعه بی‌نهایت هزینه‌بر شود. ساخت نیروگاه بیشتر، از سمت دیگر رفتار و رویکرد خوشایندی از دیدگاه زیست محیطی برای برآورد افزایش تقاضای برق نیست.

۱-۲-۲ عدم توانایی شبکه در ایجاد تبادل مطمئن اطلاعات

به منظور سهولت در عیب‌یابی و تعمیر و نگه‌داری تجهیزات گران‌قیمت شرکت‌های برق، سطوح مختلفی برای ارسال فرمان و کنترل، معرفی و ایجاد می‌شود همانند سیستم مستقر و شناخته شده کنترل نظارتی و اکتساب داده‌ها (اسکادا). با محدود شدن عملکرد، شرکت‌ها در کنترل توابع بالادستی شبکه‌های

[1] SCADA.

توزیع قادر به کنترل در زمان واقعی نیستند. همچنین این کاستی در سمت مصرف‌کننده نیز مشاهده می‌شود و سبب می‌گردد مشترک دسترسی به هیچ‌گونه اطلاعاتی در مورد نحوه قیمت‌گذاری برق خود و یا میزان مصرف انرژی در هر لحظه از زمان نداشته باشد و از این‌رو مشوق‌ها برای استفاده بهتر، حفظ و نگهداری و یا پاسخ‌دهی به تقاضا کمتر می‌شود.

۱-۲-۳ پشتیبانی و قابلیت محدود شبکه در استفاده از منابع تولید پراکنده

به منظور تأمین انرژی در زمان اوج مصرف می‌توان از منابع تولید پراکنده بهره‌گیری نمود. ناکفایتی در پشتیبانی شبکه موجود در یکپارچه‌سازی منابع تولید پراکنده که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به منابع تولید تجدیدپذیر اشاره نمود که رشد چشم‌گیری را در حال حاضر دارا می‌باشند، دیده می‌شود. علت این امر وجود ساختار سلسله مراتبی و سبک و سیاق کنترل مرکزی است که برای شارش جریان برق دو طرفه طراحی نشده است. مضاف بر آن که شبکه موجود تسهیلات و بستر مخابراتی مطمئن برای پایش و استفاده سودمند از این منابع را فراهم نکرده است.

۱-۲-۴ ناکارآمدی شبکه با گسترش اتصال ماشین‌های الکتریکی[۱]

وسایل نقلیه الکتریکی شامل وسایل نقلیه الکتریکی هیبریدی و وسایل نقلیه باتری‌دار هستند. تولید گازهای گل‌خانه‌ای کمتر و همچنین عدم تولید دیگر مواد آلاینده برترین مزیت این وسایل نسبت به ماشین-های بنزین سوز با موتورهای احتراق داخلی است. برآورد شده است که با بکارگیری وسایل نقلیه الکتریکی هیبریدی میزان آلایندگی هوا به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. تولید چشم‌گیری از سلول‌های فتولتایی در آینده‌ای نه چندان دور می‌تواند تنش‌های بسزایی بر شبکه‌های برق داشته باشد.

۱-۲-۵ مستعد بودن شبکه در بروز خاموشی و اختلال کیفیت توان

افزایش بی‌سابقه تقاضا برای انرژی الکتریکی که با عقب ماندگی سرمایه‌گذاری در زیرساختارهای برق همراه شده است، پایداری و ثبات سیستم را کاهش داده است. با عبور از حاشیه‌های امن در شبکه‌های برق، هرگونه افزایش پیش بینی نشده در تقاضا و یا انحراف در سیستم‌های توزیع شبکه، می‌تواند منجر به

[۱] Plug- In Electric Vehicles(PEVs).

مراجع

[1]H. Farhangi, "The Path of the Smart Grid, "IEEE Power and Energy, vol. 8, no. 1, pp. 18-.28, 2010
[2]Assessment of Demand Response and Advanced Metering,http://www.ferc.gov/legal/staff-.reports/12-08-demandresponse.pdf
[3]The National Institute of Standards and Technology (NIST) Smart Grid Conceptual .Model, http://smartgrid.ieee.org/ieee-smart-grid/smart-grid-conceptual-model

[4]A. Ghassemi, S. Bavarian, and L. Lampe, "Cognitive Radio for Smart Grid Communications ", IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SMARTGRIDCOMM), pp. 297-302, October 2010
[5]European Smart Metering Landscape Report, Smart Regions Deliverable 2.1, February 2011, www.smartregions.net
[6]http://hooshmand.saba.org.ir/home-en.html
[7]http://hooshmand.saba.org.ir/techfeature-en.htm
[8]G. Strbac, S. R. M. Ahmed and D. Kirschen, "Load Management Services in Post
[9]Federal Energy Regulatory Commission Staff, “Assessment of Demand Response and Demand Response Research Center; 2005
considering interruptible/curtailable loads and capacity market programs”,
[10]Applied Energy, pp 243-250, Jan. 2010,Elsevier
[11]Real Time Pricing, Rutgers—The State University of New Jersey, June 30, 2005
[12]Dr. D.P Kothari, Pushpendra Singh, Prof. Mool Singh, "Smart Grid: Integration of Power ."and Information Systems
[13]Geza Joos," Research topics in smart Grid Planning, Optimization and Regulatory .Issues",Canada Smart Grid Research Network Workshop, July 23, 2010
[14]SMART GRID Fundamentals of Design and Analysis, James Momoh, IEEE PRESS 2012.

[15]فردین حسین زاده، مهدی پوراکبری کسمایی، "شبکه‌های smart grid و مزایـای آن در شـبکه‌هـای توزیع"،چهاردهمین کنفرانس شبکه‌های توزیع نیروی برق، کرمان، اردیبهشت ۸۸ .