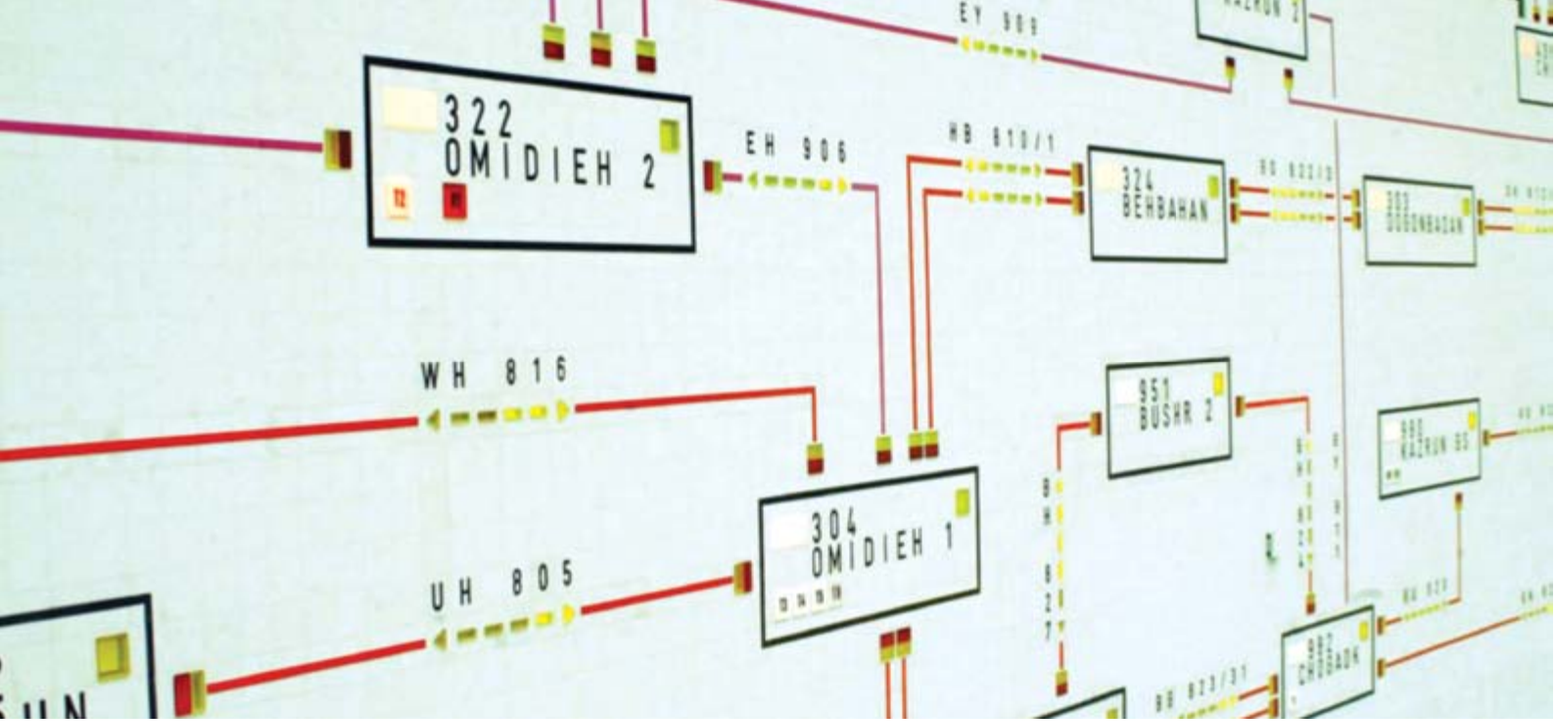


دیسپچ تقاضا: معرفی و پیاده سازی آن در یک ریز شبکه هوشمند

فاطمه دبوری فریمانی
حبیب رجبی مشهدی
دانشگاه فردوسی مشهد/ دانشکده‌ی مهندسی/ گروه برق

چکیده:
روند فعلی و آینده‌ی تغییرات در شبکه‌های توزیع برق، به گونه‌ای است که به نظر می‌رسد رویکرد معمول بهره‌برداری، به‌تنهایی قادر به پاسخ‌گویی بهینه به نیازهای شبکه نباشد. از جمله‌ی این تغییرات می‌توان به افزایش حساسیت بار نسبت به تغییرات قیمت، افزایش روزافزون نفوذ منابع تولید پراکنده‌ی تجدیدپذیر بادی و خورشیدی، حضور خودروهای برقی در شبکه و هوشمند شدن فرآیندهای کنترل در بهره‌برداری از شبکه اشاره کرد. ماهیت تصادفی تولید و مصرف انرژی این منابع، در روش فعلی بهره‌برداری، یک چالش محسوب می‌شود. در صورت تغییر رویکرد بهره‌برداری در مورد این منابع، نه‌تنها این ویژگی به عنوان یک چالش تلقی نمی‌شود، بلکه به صورت بهینه حل خواهد شد. در رویکرد فعلی بهره‌برداری که آن را دیسپچ تولید می‌نامند، جهت تعادل تولید و مصرف، فرآیند بهره‌برداری به‌گونه‌ای طراحی شده است که تولید، انرژی الکتریکی بار را دنبال کند. این رویکرد کلی می‌تواند تا حدی اصلاح شده و در سطح بهره‌برداری از شبکه‌ی توزیع اتخاذ گردد. در این راستا، ایده‌ی کلی دیسپچ تقاضا، برای بهره‌برداری از چنین منابعی مطرح شده است. هدف اصلی این مقاله، مدل‌سازی و اجرای دیسپچ تقاضا در سطح یک ریزشبکه‌ی هوشمند است.

۱. مقدمه

در سیستم قدرتی که بخش عمده‌ی تولید بر عهده‌ی نیروگاه‌های متمرکز است و انرژی با قطعیت نسبتاً بالایی تولید می‌شود، بهره‌برداری از سیستم با رویکرد پخش بار اقتصادی مناسب به نظر می‌رسد. در این حالت، بهره‌بردار سیستم با توجه به منحنی بار پیش‌بینی شده و بر اساس برنامه‌ی در مدار قرار گرفتن واحدها، وضعیت خاموش یا روشن شدن آن‌ها را تعیین می‌کند. پس از مشخص شدن وضعیت مشارکت واحدها، فرمان بارگیری را به واحدهای نیروگاهی مورد نظر ارسال می‌کند و بدین‌صورت، بار را به شکل اقتصادی بین واحدهای تولیدی پخش می‌کند. در واقع، این واحدهای تولیدی هستند که جهت حفظ تعادل تولید و مصرف، تغییرات بار را دنبال می‌کنند. از این رو در دیسپچ تولید، قاعده‌ی پیروی از بار حاکم است.

در چند دهه‌ی اخیر، سیستم‌های قدرت، تغییرات ساختاری قابل توجهی را تجربه کرده است. افزایش سهم نیروگاه‌های تولید پراکنده، افزایش حساسیت بار نسبت به قیمت و به عبارتی افزایش کشش سمت تقاضا و هوشمند شدن تجهیزات در هر دو بخش تولید و مصرف، از جمله‌ی این تغییرات ساختاری می‌باشد. بنابراین، به نظر می‌رسد زمان، برای بازنگری در فلسفه‌های کلی حاکم بر سیستم‌های قدرت فرا رسیده باشد. یکی از رویکردهای کلی حاکم بر سیستم‌های قدرت، فلسفه‌ی دنبال کردن مصرف توسط بخش تولید است. اما چنین رویه‌ای در سطح خرد و در یک شبکه‌ی توزیع در حضور واحدهای تولید پراکنده تجدیدپذیر، می‌تواند به شیوه‌ی معکوس، یعنی دنباله‌روی بار از تولید مطرح گردد [۱]. به سخن دیگر، در شبکه‌های توزیع که سهم منابع تولید پراکنده‌ی تجدیدپذیر (مانند واحدهای بادی و خورشیدی)، روزبه‌روز افزایش پیدا می‌کند، دیسپچ تولید رویکرد بهینه‌ای نیست. در این حالت، تغییر رویکرد بهره‌برداری برای بخش کشش‌پذیر بار، می‌تواند مزایای قابل توجهی را به دنبال داشته باشد. در این شرایط، به جای پیروی این منابع تولیدی از بار، بارهای قابل دیسپچ سیستم، مستقیماً توسط بهره‌بردار با تولید هماهنگ می‌شوند. این رویکرد بهره‌برداری، دیسپچ تقاضا نام دارد.

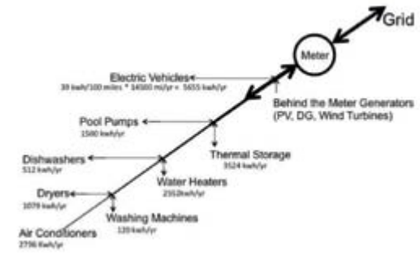
۲-معرفی دیسپچ تقاضا

مطابق تعریف مرجع [۱]، دیسپچ تقاضا به معنای "توانایی جمع‌آوری و کنترل دقیق بارها به صورت انفرادی بر حسب دستورات مشخص" است. مطابق تعریف مرجع [۲]، دیسپچ تقاضا عبارتست از:

"یک مدل بهره‌برداری، قابل استفاده توسط بهره‌برداران شبکه، جهت

دیسپـــچ منابعی که بعـــد از کنتور در سمت مصرف‌کننـــده قرار دارند (مطابـــق شکـــل ۱) و در هر دو جهت کاهش و افزایـــش بار، به عنوان مکملی برای دیسپچ تولید و در راستای بهینه‌سازی مؤثرتر بهره‌برداری از شبکه عمل می‌کند."

با جمع‌بندی تعاریـــف مراجع مختلف می‌توان دیسپچ تقاضا را کنترل مستقیم بارهای قابل دیسپچ، ذخیره‌سازها و واحدهای تولید پراکنده‌ی کوچک در سمت تقاضا، توسط بهره‌بردار شبکه دانست.



شکل (۱): منابعی که بعد از کنتور در سطح خانگی قرار دارند که شامل واحدهای تولید پراکنده و بارهای قابل کنترل می‌شوند [۱]

۳-ویژگی‌های لازم بارها جهت مشارکت در دیسپچ تقاضا و مثال‌هایی از این بارها [۲]

تخمین زده می‌شود که تا حدود ۳۳ درصداز کل بارها، بدون تأثیر قابل توجهـــی بر مصرف‌کنندگان، می‌توانند شامـــل دست‌کم چند سطح از DD شوند. ویژگی‌های مورد نیاز این بارها عبارتند از:

- نیاز بار به برق تنها برای کسری از دوره باشد.
- مصرف برق آن‌ها به‌گونـــه‌ای باشد که نیاز به پاسخ‌گویی لحظه‌ای از طرف شبکه نباشد.
- مشخصـــات مصـــرف انـــرژی برایشان بـــه خوبی تعریف شـــده باشد. به‌عبارتی، میزان انرژی مصرفی مورد نیاز معلوم باشد.
- زمـــان روشن شدن بـــار بحرانی نباشد یا بـــرای مشترک مهم نباشد. بـــه عبارتی نیاز اصلـــی بار، مصرف مقدار مشخصـــی از انرژی در زمان مشخصی باشد. بارها و وسایلی که به نظر می‌رسد ویژگی‌های مذکور را داشته باشند و به پیاده‌سازی DD کمک کنند عبارتند از:

- خودروهـــای قابل اتصال به شبکه (هر دو حالـــت باتری دار برقی و هیبرید متصل به شبکه)
- آب‌گرم‌کن برقی
- ماشین‌های شستشو (ظرف، لباس و...)
- سیستم‌های HVAC با ذخیره‌سازهای گرمایی (تهویه‌ی هوا)
- واحدهای تولید پراکنده و ذخیره‌های پراکنده
- باتری‌های خورشیدی
- خشک‌کن‌ها
- پمپ‌های استخرها
- برخی از جنبه‌های عملکرد یخچال (برای مثال سیکل یخ‌زدایی)

۴-ارزش‌ها و مزایای دیســـپچ تقاضـــا از دیدگاه‌های مختلف [۱] و [۲]

- افزایـــش قابلیـــت اطمینان: کمتر شـــدن و کوتاه شـــدن خروج‌ها و خاموشی‌ها
- افزایـــش بازده و کارایـــی: افزایش بازده انـــرژی شامل کاهش تلفات خطوط و تولید و استفاده‌ی مؤثرتر از تولید.
- ســـود اقتصـــادی: کاهش قیمت‌های عمده‌فروشی بـــرق و ایجاد یک جریان درآمدزایی برای مشترکانی که در DD شرکت می‌کنند.
- حفظ محیط زیست: کاهش انتشـــار گازهای آلاینده مانند CO_2 به علت گسترش استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، بهره‌برداری مؤثرتر از از نیروگاه‌های حرارتی و افزایش استفاده از خودروهای الکتریکی منجر به افزایش تعداد این خودروها می‌شود. بنابراین، تولید و مصرف، هردو به سمت منابع پاک حرکت می‌کنند.
- رفع چالش مربوط به شارژ تصادفی خودروهای الکتریکی و چالش عدم قطعیت واحدهای تجدیدپذیر بادی و خورشیدی توسط دیسپچ تقاضا
- افزایـــش امنیت: استفـــاده از منابع پراکنـــده‌ی بخش مصرف جهت بازیابی شبکه در هنگام خاموشی‌ها
- کاهـــش آسیب‌پذیری شبکه: در رویکـــرد DD برخلاف SD، چندین سطح کنترل وجود خواهد داشت. مرکز کنترل منطقه‌ای، محلی، فیدر و رگولاســـیون انشعاب. بنابراین کنترل شبکه نیز به حالت پراکنده در می‌آیـــد. از طرفی با حضور گســـترده‌ی واحدهای تولید پراکنده در اثر اجـــرای رویکـــرد DD، شبکه‌ی قدرت در برابـــر خطرهای مختلفی که سیستم قدرت را تهدید می‌کند ایمن می‌شود.
- همچنین DD به رشد و حضـــور بیشتر واحدهای تولید تجدیدپذیر کمک می‌کند.
- بهینه‌سازی استفاده از دارایی‌ها (برای مثال کاهش نیاز به دیزل‌ژنراتور و ذخیره‌ساز با اجرای دیسپچ تقاضا در یک ریزشبکه‌ی هوشمند ایزوله [۳]

۵-مدل‌سازی یک مصرف کننده خانگی برای مشارکت در DD

مـــدل پیشنهادی برای مشارکت مصرف‌کننده و چگونگی اعلام حضور بارهای قابل دیسپچ، در قالب مثالی ارائه می‌شود:

به عنوان مثال، یک ماشین لباسشویی را به عنوان یک بار قابل دیسپچ در نظـــر بگیریـــد. ساعت ۷ صبـــح است و مصرف‌کننده قصـــد دارد از منـــزل خارج شود. شستشوی کامل لباس‌ها ۴۰ دقیقه زمان نیاز دارد. مصرف‌کننده تا ساعت ۲۲ به لباس‌های تمیز خود نیازی نداشته و بنا بـــه دلایلـــی ترجیح می‌دهد لباسشویی او از ساعـــت ۱۲ به بعد روشن گـــردد و در یک زمان پیوسته‌ی ۴۰ دقیقه‌ای کار خود را انجام دهد. با فـــرض این‌که وسیله‌ی او از طریق خطوط مخابراتی قادر است تعدادی داده به بهره‌بردار مربوطه ارسال نماید، زمان شروع، زمان پایان و مدت زمـــان لازم عملکرد وسیله بعلاوه‌ی انرژی مصرفی آن را از طریق خود دستگـــاه یا مکانیزم مخابراتی تعریف شـــده‌ی دیگری ارسال می‌نماید. در ایـــن مثال او اعداد ۷۲ (ساعـــت ۱۲)، ۱۳۲ (ساعت ۲۲) و ۴ (چهار بـــازه‌ی ده دقیقـــه‌ای) را به عنوان ساعت شروع، ساعـــت پایان و زمان عملکرد مورد نیاز، ارسال می‌نماید. در واقع مصرف کننده در محدوده‌ی زمانی که پیشنهاد داده است، کنترل روشن شدن وسیله‌ی خود را در اختیار بهره‌بردار قرار داده است. این مسأله بسیار شبیه به اعلام آمادگی واحدهـــای نیروگاهی برای مشارکـــت در تولید است. بهره‌بردار موظف است در طول محدوده‌ی زمانی پیشنهادی که از این پس آن را بازه‌ی انتظـــار نیز می‌نامیم، بار مصرف‌کننـــده را وصل نموده و تا پایان بازه‌ی انتظار، عملکرد وسیله را تکمیل کند. محدوده‌ی زمانی پیشنهادی در اختیار مصرف‌کننده است. وی می‌تواند بازه‌های زمانی ارزان‌تر را برای عملکرد وسیله‌ی خود انتخاب نماید. اما در صورت انتخاب محدوده‌ی بزرگـــی از روز، بـــا توجه به این‌که روشن شدن وسیلـــه‌ی او در اختیار بهره‌بـــردار است، کنترلی بر روی قیمت انـــرژی در زمان روشن شدن وسیله نـــدارد. این مسأله می‌تواند با تعیین مناســـب پاداش بر اساس طول محدوده‌ی زمانی پیشنهادی حل گردد. برای مصرف‌کننده خیلی راحت‌تر است که وسیله‌ی او در بازه‌ی زمانی‌ای که خود می‌پسندد، به صورت اتوماتیـــک و ترجیحاً در بازه‌هایی که قیمت برق ارزان‌تر است، روشـــن شود. دیسپچ تقاضا این مزیـــت را دارد که باعث مشغول شدن ذهـــن مصرف کننده بـــرای مدیریت مصرف خـــود مطابق قیمت‌های متغیر نمی‌شود. چنان‌چه سیستم به گونه‌ای تعریف شود که رگولاتور مربوطـــه به دنبال بیشینه کردن رفـــاه اجتماعی مشترکان خود باشد، مصرف‌کننده به راحتی و بدون درگیر کردن خود در مسائل اقتصادی قـــادر خواهد بود علاوه بر کمک بـــه بهره‌بردار شبکه، هزینه‌ی مصرف انرژی خود را کاهش دهد.

۶-صورت مسأله

همان‌طـــور که در شکـــل (۲) نشان داده شده، بهره‌بـــردار یا رگولاتور ریزشبکه‌ی مـــورد نظر، مسئول دیسپچ بارهـــای قابل دیسپچ خانگی و همچنین خودروهای برقی داخـــل ریزشبکه است. هدف بهره‌بردار، کمینه کردن هزینه‌ی بهره‌بـــرداری برای افق زمانی یک روز است. در شکل (۲)، اجزای ریزشبکه‌ی مورد نظر، مشاهده می‌شود.

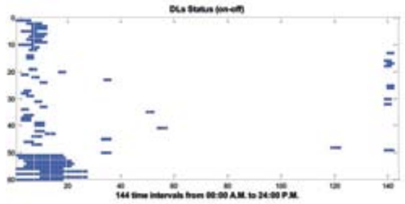
در این ریزشبکه، حـــدود ۴۰ منزل مسکونی با تعدادی خودروی برقی (بین ۵ تا ۲۰ خودرو در سناریوهای مختلف) در نظر گرفته شده است. بارهـــای موجود در ریزشبکه را بـــه دو دسته‌ی کلی قابل دیسپچ و غیر قابـــل دیسپچ تقسیم می‌کنیم. مشخصات کلی بارهای قابل دیسپچ در جدول (۱) آورده شده است. پس از فرمول‌بندی مسأله و شبیه‌سازی آن توســـط نرم‌افزارهای MATLAB و GAMS، نتایجی بدست آمده است

شکل (۲):

جدول (۱): مشخصات بارهای قابل دیسپچ

انرژی مورد نیاز هر ده دقیقه (Kwh)	تعداد بازه‌های ده دقیقه‌ای مورد نیاز	تعداد بارهای قابل دیسپچ	انواع بارهای قابل دیسپچ
۰/۶۵۰	٦	۱۰	خشک‌کن لباس
۰/۲۰۰	۳	۲۵	ماشین ظرفشویی
۰/٤٧٠	٤	۱۵	ماشین لباسشویی
۰/٥٤٤	۱۸	۱۰	خودروی برقی

که بخشی از این نتایج در شکل (۳) و جدول (۲) آورده شده است. در شکل (۳)، بارهای قابل دیسپچ ۱ تا ۱۰، خشک‌کن هستند که زمان مصرف انرژی آن‌ها معادل ۶۰ دقیقه است. بنابراین هر یک از بارها، ۶ بازه‌ی ۱۰ دقیقه‌ای معادل ۶ نقطه از شکل را اشغال می‌کنند. هزینه‌ی بهره‌برداری با رویکـــرد دیسپچ تقاضا برابر ۲۷۶/۶۵ $day/ بدست آمده اســـت. در جدول (۲)، مقایسه‌ای بین هزینـــه‌ی بهره‌برداری با رویکرد دیسپچ تقاضا، و بدون اجرای دیسپچ تقاضا در سه سناریوی مختلف،



شکل(۳): وضعیت زمانی روشن شدن بارهای قابل دیسپچ (نوع ۱ تا نوع ۴ از بالا به پایین)

جدول (۲): مقایسه‌ی هزینه‌ی بهره‌برداری فعلی و بهره‌برداری با رویکرد دیسپچ تقاضا

NDL Scenarios	Micro-grid DDA Operation Cost ($/day) Without DD	Using DD	Operation cost reduction in %
Scenario 1	368.86 $	276.65$	24.99%
Scenario 2	338.22 $		18.20%
Scenario 3	289.29 $		4.37%

ارائـــه شده است. همان‌طور که در این جدول ملاحظه می‌شود، اجرای دیسپـــچ تقاضا نسبت به عدم اجرای آن در ســـه سناریوی بیان شده، بین ۴/۳۷ تا ۲۴/۹۹ درصد صرفه‌جویی در هزینه‌ی بهره‌برداری ایجاد می‌کند. یکی دیگر از نتایج دیسپچ تقاضا در یک ریزشبکه‌ی هوشمند بهینه‌ســـازی استفـــاده از دارایی‌ها است. یعنـــی از امکانات موجود در شبکه بهترین استفاده شود و نیاز به توسعه‌ی شبکه یا خرید تجهیزات گران‌قیمـــت کاهش یابـــد. برای مثال با اجرای دیسپـــچ تقاضا، نیاز به ترانسفورماتور با ظرفیت کمتری خواهیم داشت [۵].

نتیجه‌گیری

بـــا مدل‌ســـازی دیسپچ تقاضـــا در سطح یک ریزشبکـــه‌ی هوشمند و اجـــرای آن و مشاهده‌ی نتایـــج شبیه‌سازی، مهمتریـــن نتیجه‌ای که حاصـــل گردید این است کـــه دیسپچ تقاضا، نسبت بـــه رویکرد فعلی بهره‌بـــرداری کـــه در آن برنامه‌های مدیریت مصـــرف نیز با شدت‌های متفاوت اجرا شوند، در بهترین شرایط قادر است هزینه‌ی بهره‌برداری را تـــا ۲۵ کاهـــش دهـــد. از جمله نتایـــج دیگری که بـــه آن می‌توان اشاره کـــرد، بهینه‌سازی استفاده از دارایی‌هـــا در سمت مصرف است.

***

مراجع

[1] Demand Dispatch — Intelligent Demand for a More Efficient Grid," conducted by the National Energy Technology Laboratory (NETL) for the U.S. department of Energy (DOE) office of Electricity Delivery and Energy Reliability, August, 2011.
[2] Brooks, A.; Lu, E.; Reicher, D.; Spirakis, C.; Weihl, B., "Demand Dispatch," IEEE magazine on power and energy, Vol.8, No.3, pages 20-29, cited by 40, May/June 2010.
[3] F. F. Daburi, H. M. Rajabi, "Effects of demand dispatch on operation of smart hybrid energy systems", Power System conference (PSC), Tehran, Iran, November, 2013.
[4 F. F. Daburi, H. M. Rajabi, "Wind Generation Following Using Demand Dispatch Via Smart Grid Platform ", Smart Grid Conference (SGC), Tehran, Iran, December 2013.
[5] F. F. Daburi, H. M. Rajabi, "Modeling and Implementation of Demand Dispatch in a Smart Micro-grid ", Integrated Methods on Science and Engineering" (IMSE2014), Karlsruhe, Germany, July 2014.