مروری بر برنامه های پاسخگویی بار صنعتی

نیلوفر گرامی، دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول، ایران

احمد قاسمی، استادیار دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول، ایران

Archive of SID

چکیده

در طی چند سال اخیر، رشد بار، افزایش تولیدات پراکنده، کاهش هزینه‌های تکنولوژی و افزایش اهمیت شناخت رفتار مصرف‌کننده در بازارهای انرژی باعث شده است تمرکز بر برنامه‌های پاسخگویی بار[1] (ط) بیشتر شود. مصرف‌کنندگان صنعتی سهم بزرگی از انرژی را مصرف می‌کنند و بنابراین می‌توانند قابلیت بالایی برای اجرای برنامه‌های پاسخ‌گویی بار داشته باشند. هرچند برنامه‌های پاسخ‌گویی بار صنعتی در نقاط مختلف جهان اجرا شده‌است، اما همچنان از این قابلیت به صورت کامل استفاده نشده‌است. بهره‌برداری از DR در صنایع نیاز به ابزارهای انعطاف‌پذیر گران قیمت نظیر ذخیره‌سازها و برنامه‌های پشتیبان را کاهش می‌دهد. هدف این مقاله فراهم‌آوری مروری جامع بر DRP در بخش‌های صنعتی، و گسترش افق‌ها در جهت بهره‌برداری هرچه بیش‌تر از قابلیت این دسته از بارها می‌باشد. از آنجا که بیشتر برنامه‌های پاسخ‌گویی بار اجرا شده در جهان مبتنی بر خدمات جانبی می‌باشد، بر این اساس در این مقاله مهم‌ترین برنامه‌های پاسخ‌گویی بار استفاده شده در صنعت مرور شده‌است. از آنجا که بیشتر این برنامه‌ها در راستای تامین خدمات جانبی مورد نیاز صنایع بوده است، خدمات جانبی مبتنی بر بار در صنعت مورد توجه بیشتر قرار گرفته است. علاوه بر این صنایع با قابلیت بالا جهت اجرای برنامه‌های پاسخ‌گویی بار معرفی شده و زنجیره‌ی تولیدی آن‌ها جهت اجرای این برنامه‌ها مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است.

کلیدواژه‌ها: بارهای صنعتی، شبکه‌های هوشمند، پاسخ‌گویی بار،خدمات جانبی ،صنایع

[1] Demand response programs

www.SID.ir

1 -مقدمه

دهه‌ی اخیر، عصر توسعه اقتصادی و صنعتی جهان بوده و روند توسعه در طول این دهه سرعت و شدت فوق‌العاده‌ای گرفته است. بطوری که هر یک از کشورهای صنعتی جهان در تکاپوی رقابتی نزدیک و تنگاتنگ بوده‌اند، تا جوابگوی نیازهای روز افزون به انرژی الکتریکی بوده و همچنین در بازارهای رقابت بین‌المللی مطرح باشند. انرژی الکتریکی، به عنوان یک انرژی پاک با افزایش تقاضای قابل توجه در سال‌های اخیر روبه‌رو بوده است، این روند به خصوص در صنعت با سرعت چشمگیری در حال افزایش است. این در حالی است که تولید، انتقال و توزیع انرژی الکتریکی هزینه‌بر بوده و از لحاظ فنی محدودیت‌هایی دارد. بنابراین تدوین روش‌های علمی بهینه‌سازی و صرفه‌جویی انرژی با توجه به روند و الگوی مصرف انرژی امری ضروری است که باید در هر سازمان و صنعتی سرلوحه امور تولید و بهره‌برداری قرار گیرد.

با وجود تمامی تلاش‌ها در حوزهٔ تولید، انتقال و توزیع انرژی الکتریکی و همچنین با توجه به اشکالات شبکه‌های سنتی، سامانه‌های کنونی شبکهٔ قدرت پاسخگوی نیاز امروز بشر نیستند و نیاز به زیرساخت‌ها و شبکه‌های نوین به شدت احساس می‌شود. دسترسی به اطلاعات مورد نیاز در زمینهٔ مصرف که با پیشرفت‌های روزافزون فناوری اطلاعات و ارتباطات[1] (ICT) ممکن شده است، سبب ایجاد تعامل بیشتر بین بهره‌بردار و مصرف‌کننده شده است. همچنین مسائل زیست محیطی سبب افزایش توجه و بهره‌برداری از تولیدات پراکنده مبتنی بر انرژی‌های تجدید پذیر شده است. بنابراین لازم است به منظور دست‌یابی به یک سامانهٔ مطمئن و پایدار، کاهش هزینه‌ها، کاهش احتمال خاموشی، کنترل انحرافات ولتاژ و فرکانس و غیره، شبکهٔ الکتریکی به روز رسانی شده و به سمت طراحی و اجرای شبکهٔ نوین الکتریکی به نام شبکهٔ هوشمند[2] (SG) برود.

شبکه‌ی هوشمند، شبکه‌ای است که با استفاده از تکنولوژی دیجیتال دو طرفه، انرژی را از تولیدکنندگان به مشتریان منتقل می‌کند، تا هزینه‌ها کاهش یابد و قابلیت اطمینان و شفافیت بالا رود. از نظر اقتصادی و بهره‌وری انرژی، شبکه هوشمند با ایجاد قابلیت پایش بی‌درنگ مصرف و مدل‌سازی دقیق‌تر منابع تولید، موجب بهره‌برداری اقتصادی‌تر از شبکه می‌شود. بدلیل ویژگی‌های خاص انرژی الکتریکی و عدم قابلیت ذخیره‌ی آن در مقیاس‌های بالا هزینه نهایی تأمین برق متغیر می‌باشد و در زمان‌های بسیار کوچک (هر 15دقیقه یا یک ساعت) تغییر می‌کند. این در حالی است که بیشتر مصرف‌کننده‌ها قیمت ثابتی را برای برق پرداخت می‌کنند که برابر هزینه متوسط تولید برق است و انگیزه‌ای به استفاده‌ی بهینه از منابع تولیدی برق و ظرفیت شبکه ندارند. با ایجاد امکان مشارکت فعال مصرف‌کنندگان در بهره‌برداری سیستم‌های قدرت می‌توان انعطاف پذیری سیستم قدرت و بهره‌وری آن را از لحاظ فنی و اقتصادی افزایش داد. پاسخگویی بار دارای مزایای متنوع فنی و مالی برای مصرف‌کننده‌های برق، شرکت‌های تأمین کننده برق (شرکت‌های برق منطقه‌ای یا شرکت‌های توزیع) و بهره‌بردارهای شبکه می‌باشد، به‌همین دلیل پاسخ‌گویی بار قابلیت بسیار مهم قابل اجرا در زیر ساخت SG است.

[1] Information communication technology
[2] Smart gride

Archive of SID
www.SID.ir

تغییر مصرف برق مصرف کنندگان نهایی در ازای مبالغ تشویقی هنگامی که قیمت بازارهای عمده فروشی برق افزایش یافته، یا تغییرات قیمت برق در ازای مصرف برق کمتر را، Demand response یا پاسخ‌گویی بار می‌گویند [3-1]. DR عموماً روش‌ها، فناوری‌ها و توافقات تجاری را که می‌تواند امکان مشارکت مصرف‌کنندگان در بهره‌برداری از سیستم قدرت تحقق بخشد، مورد بررسی قرار می‌دهد[4] . مصرف‌کنندگان انرژی الکتریکی به سه دسته‌ی عمده ی مسکونی، تجاری، صنعتی تقسیم بندی می شوند. در برخی مراجع مراکز داده و خودروهای الکتریکی نیز در دسته‌بندی قرار گرفته‌اند[5]. بخش مسکونی بیشترین تعداد مصرف کنندگان با سطح مصرف پایین را تشکیل می‌دهد. در بخش مسکونی تکنولوژی های DR اکثرا وابسته به خانه‌های هوشمند بوده که یکی از تجهیزات اصلی سیستم‌های مدیریت انرژی (EMS)[1] می‌باشد[6]. دسته‌ی دوم شامل مشتریان تجاری و سایر مصرف کنندگان غیر مسکونی همانند هتل‌ها، مراکز آموزشی و غیره بوده که در برنامه‌های کاهش بار و خدمات جانبی DR مشارکت می‌کنند. دسته‌ی سوم بخش صنعتی می‌باشد که طبق آمار، مصرف انرژی این دسته، بخش بزرگی از کل انرژی الکتریکی تولید شده می‌باشد. طبق گزارشات بسیاری از سازمان‌ها، 2 تا 10 درصد مصرف کنندگان صنعتی 80% انرژی را مصرف می‌کنند[6]. بنابراین در مقایسه با DRهای مسکونی یا تجاری، مشارکت DR بیشتری در این بخش انتظار می‌رود [7]. هرچند، بر اساس مقالات جدید این امر در حال حاظر به صورت معکوس است[7]. به صورت کلی دلیل این موضوع پیچیدگی فرایندهای صنعتی، بخصوص در مدیریت فرایند تولید در محیط‌های صنعتی می‌باشد. هرگونه قطع برق در سیستم ممکن است منجر به متوقف شدن تولید و یا نقص بهره‌برداری روزانه و قیود تولیدی واحدهای صنعتی شود. در برخی موارد این فرایندها وابسته به هم هستند و مجزا نگه داشتن یا ایجاد وقفه در آن‌ها را سخت می‌کند. در برخی موارد دیگر، مواد باید برای هر روند قطع ذخیره شود و این عملیات سخت و هزینه‌بر می‌باشد.

در ادامه در بخش دوم مروری بر برنامه‌های پاسخ‌گویی بار و دسته‌بندی آن‌ها و در بخش سوم به بررسی برنامه‌های خدمات جانبی در صنایع پرداخته‌ایم. بخش چهارم مروری کلی بر معرفی انواع صنایع با پتانسیل بالای پیاده‌سازی DR صنعتی می‌باشد و نهایتا در بخش پایانی به بحث و نتیجه‌گیری پرداخته‌ایم.

2- مروری بر برنامه‌های پاسخ به تقاضا و انواع آن

طبق نقشه‌ی راهبردی آژانس بین المللی انرژی (IEA)[2] در طی سال‌های 2008 تا 2012، فعالیت در زمینه‌ی مدیریت سمت تقاضا[3] (DSM) به دلیل سود اقتصادی و سطوح بهره برداری مختلف مورد استقبال قرار گرفت[8]. مدیریت سمت تقاضا، پخش بار را در شبکه بهینه میکند، پروفیل ولتاژ را بهبود می‌بخشد، بر روی پخش توان راکتیو و تپ ترانسفورماتور در پست ها تاثیر می‌گذارد، تلفات انرژی را کاهش می‌دهد، شبکه را پیکربندی کرده و تجهیزات ذخیره سازی و بارهای مصرف‌کنندگان را مورد بهره برداری قرار می دهد.

[1] Energy management systems
[2] international Energy Agency
[3] dimand side manegment

Archive of SID
www.SID.ir

برای سال‌های متمادی DR به عنوان بخش مهمی از DSM فقط به معنای از بین بردن اوج مصرف درساعاتی از سال بود. اما طبق مدل 719، DR به معنای کاهش مصرف برق مشتریان از طریق الگوهای مصرف مشخص شده به منظور تشویق مشتریان به مصرف کمتر انرژی می باشد[9]. DR در واقع اقداماتی به منظور کاهش و از بین بردن ساعات اوج مصرف می باشد. بازار برق نوردیک[1] برای DR تعریفی با چهارچوب مشابه ارائه می‌کند، با این تفاوت که مصرف کننده در این بازار با یک دید داوطلبانه به سیگنال برق پاسخ می‌دهد[8].

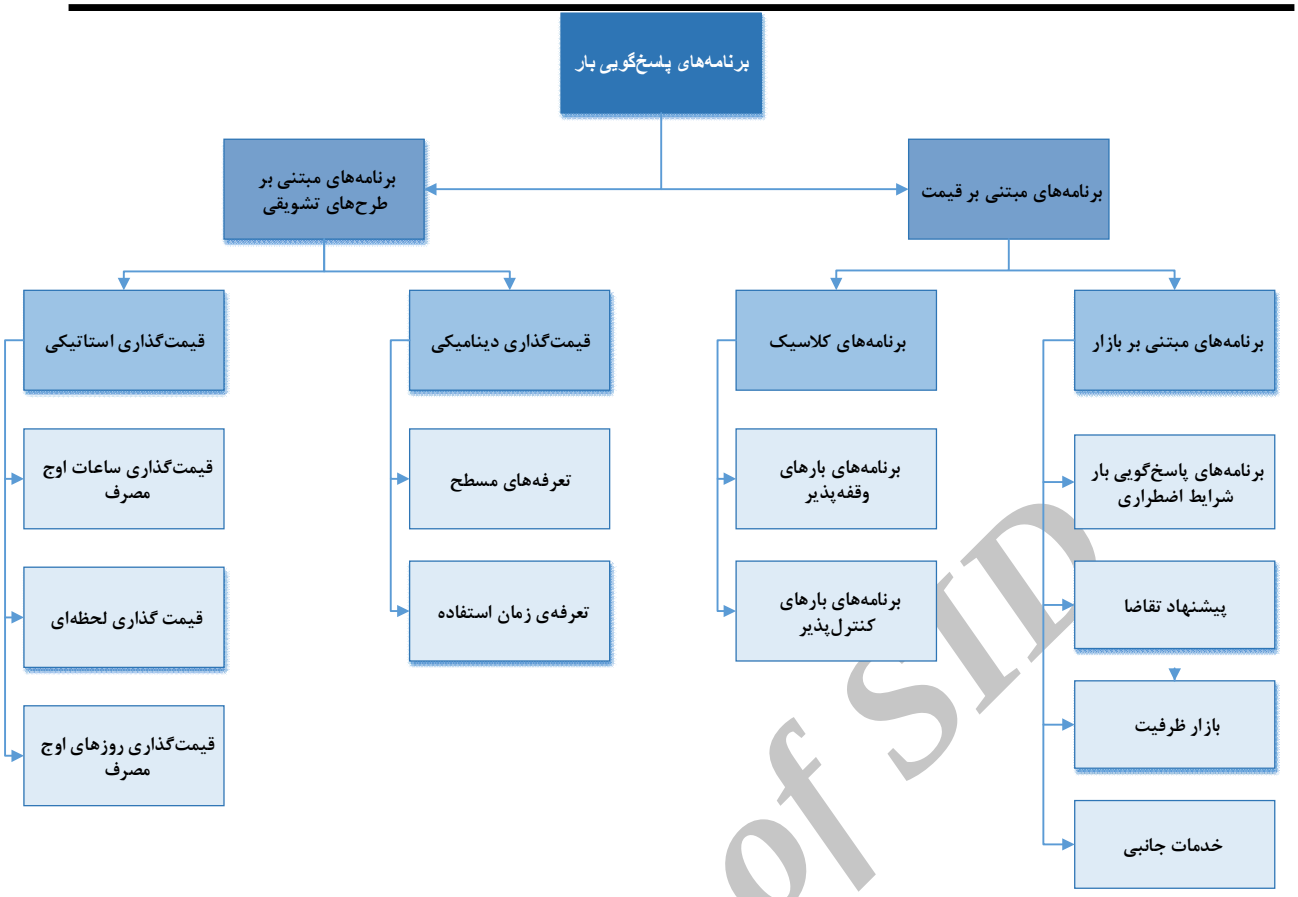
ناهماهنگی بین هزینه‌های کوتاه مدت تولید برق و مبالغ پرداختی مصرف‌کننده‌ها موجب استفاده نامناسب از منابع می‌شود، زیرا مصرف‌کننده‌ها هزینه تولید برق کوتاه مدت و لحظه‌ای را پرداخت نمی‌کنند و در نتیجه، هیچ محرک و انگیزه‌ای برای تنظیم مصرف خودش با توجه به شرایط سیستم تولید ندارد. تأثیر پاسخ‌گو نبودن بار کافی در سیستم، در بلندمدت، ممکن است بیشتر باشد، زیرا هنگام افزایش اوج مصرف پیش‌بینی شده و پاسخگو نبودن مصرف‌کنندگان می‌تواند منجر به سرمایه‌گذاری به منظور ساخت واحدهای تولیدی جدید شود. بنابراین، یکی از مهم‌ترین مزایای پاسخگویی بار جلوگیری از سرمایه‌گذاری برای واحدهای تولیدی جدیدی است که فقط برای تأمین بار در چند ساعت از سال مورد نیاز هستند. بنابراین DR می‌تواند مزایای متعدد اقتصادی، فنی و زیست محیطی را داشته باشد[10].

2-1- دسته بندی برنامه های پاسخ گویی بار

دسته بندی DRP ها از سال 2006 زمانی‌که اولین ارزیابی از پاسخ‌گویی بار و اندازه گیری پیشرفته توسط FERC[2] انتشار یافت، تا امروز تغییرات زیادی کرده است. DRP ها به دو گروه اصلی دسته بندی می‌شوند : 1)DR های بر مبنای قیمت (PBP)[3] و 2)DR های بر مبنای طرح های تشویقی (IBP)[4] [11،12] شکل 1 نمایانگر دسته‌بندی برنامه‌های پاسخ‌گویی بار می باشد. در ادامه دسته‌بندی از برنامه‌های DR مناسب برای پیاده‌سازی در صنایع را بررسی می‌کنیم.

[1] Nordek
[2] Federal Energy Regulatory Commission
[3] price base programs
[4] incentive base programs

Archive of SID
www.SID.ir



شکل1- دسته‌بندی انواع برنامه‌های پاسخ‌گویی بار

2-1-1- برنامه‌های DR مبتنی بر قیمت

PBP مکانیزمی است که در آن نرخ های وابسته به زمان برای مصرف برق پیشنهاد می‌شود. مصرف‌کننده ممکن است هزینه‌ی بالایی را در طی بازه‌های اوج مصرف و هزینه‌های نسبتا کمتری را در بازه‌های خارج از اوج مصرف پرداخت کند. هدف اصلی معرفی همچین برنامه‌هایی، واداشتن مشتریان به مصرف کمتر انرژی در زمان‌هایی است که قیمت برق بالا می‌باشد. طبق گزارش FERC ، PBP به صورت عمده به دو دسته‌ی قیمت گذاری استاتیکی و قیمت گذاری دینامیکی تقسیم می‌شوند[13] در قیمت گذاری استاتیکی نرخ‌ها به صورت تعرفه‌های مسطح [1] و تعرفه‌ی زمان استفاده (TOU)[2] تقسیم‌بندی می‌شوند. در قیمت‌گذاری دینامیکی نرخ‌ها به دو دسته‌ی اصلی قیمت‌گذاری ساعات اوج مصرف (CCP)[3] و قیمت‌گذاری لحظه‌ای (RTP)[4] و قیمت‌گذاری روزهای اوج مصرف (EDP)[5] دسته‌بندی می‌شوند.

[1] FLAT-Tiered
[2] time of use
[3] critical peak pricing
[4] real time pricing
[5] extreme day pricing

Archive of SID
www.SID.ir

2-1-2- برنامه‌های DR مبتنی بر طرح‌های تشویقی

DRهای مبتنی بر طرح های تشویقی از وقایع تاثیر می‌پذیرند. با وجود ارتباطات پیشرفته و با توجه به قوانین موجود در قرارداد، مشتریان رفتار مصرفی خود را موقتا تغییر می‌دهند. از دید تغییرات بار، سازمان ها یک پاسخ جبرانی یا جریمه‌ای را پیشنهاد می‌دهند IBP ها به دو دسته‌ی برنامه‌های کلاسیک [1] و برنامه‌های مبتنی بر بازار[2] تقسیم بندی می‌شوند[14].

در IBPهای کلاسیک مشتریانی که در برنامه مشارکت می‌کنند دریافت هایی در ازای مشارکت، معمولا به صورت تخفیف یا اعتبار مالی دارند.IBP کلاسیک شامل برنامه‌های کنترل بار مستقیم [3]و برنامه‌های بارهای وقفه پذیر می‌باشند. برنامه‌های قطع بار مناسب مصرف کنندگان متوسط و بزرگ می‌باشد. مشارکت در همچین برنامه‌هایی نیازمند مشوق هایی به سبب از کار اندازی بار یا قطع مصرف آن، به سبب پاسخ‌گویی به فراخوانی سازمان است. این برنامه طبق قرارداد ملزم است که بیشینه و دوره ی دفعات فراخوانی سازمان را مشخص کند. برنامه های بارهای وقفه پذیر برای تمامی مشتریان استفاده نمی‌شود. بخصوص مشتریانی که در طول 24 ساعت شبانه‌روز به مصرف برق نیاز دارند، مانند تولیدکنندگان تراشه‌های سیلیکنی که گزینه‌های مناسبی شرکت در این برنامه ها نمی باشند.

IBPهای مبتنی بر بازار شامل برنامه‌های DR شرایط اضطراری[4]، پیشنهاد تقاضا، بازار ظرفیت و بازارهای خدمات جانبی[5] می‌شوند . در برنامه‌های مبتنی بر بازار شرکت‌کنندگان در قبال عملکردشان، بسته به مقدار کاهش بار در طی شرایط بحرانی، پاداشی را به صورت پول دریافت می‌کنند. برنامه‌های پیشنهاد تقاضا، جهت کاهش تقاضا با قیمتی که مایلند بارخود را کاهش دهند ،مشتریان با مصرف توان بالا، مخصوصا مشتریان تجاری و صنعتی را برای ارائه پیشنهاد تشویق می‌کند. در اپراتورهای سیستم آمریکا، گونه‌های مختلفی از پیشنهاد قیمت بکار برده می‌شود، که از این میان دو فرم آن بسیار مهم و معروف می‌باشد. 1- پیشنهاد قیمت بر مبنای روز قبل[6] 2- پیشنهاد قیمت لحظه‌ای[7] .[14]

2-1-2-1- برنامه‌های خدمات جانبی

خدمات جانبی به عنوان خدمات و اعمال ضروری به منظور حمایت از سیستم قدرت قابل اطمینان، امن و با کیفیت، تعریف می‌شود. با افزایش سطح نفوذ منابع تجدید پذیر در شبکه های قدرت، خدمات جانبی و انعطاف پذیری بیشتر شبکه، بیش از پیش مورد نیاز است. همچنین فرسودگی ژنراتور های قدیمی و افزایش هزینه‌ی بهره برداری از آن‌ها منجر به افزایش مشارکت بار به منظور فراهم‌آوری خدمات جانبی می‌شود. پیشرفت در فناوری‌های ارتباطی و کنترل خودکار به افزایش مشارکت بارهای کوچک به منظور ایجاد DR های مکرر و پیوسته کمک می‌کند[15]. اگرچه

[1] classical programs
[2] market base programs
[3] Direct control
[4] emergency dr programs
[5] ancillary services
[6] day ahead pricing
[7] rael time pricing

Archive of SID
www.SID.ir

پتانسیل بالایی برای پیاده‌سازی خدمات جانبی وجود دارد، هم اکنون منابع DR فقط نقش هایی جزیی در بازار های خدمات جانبی را دارند[16].

تفاوت اصلی میان برنامه‌های سنتی DR و DR های دارای خدمات جانبی، کاهش زمان آگاه‌سازی و نیازمندی‌های فنی پیچیده‌تر مانند سرعت و دقت اندازه‌گیری‌ها می‌باشد. به علاوه خدمات جانبی به صورت معمول به زمانی بیش از یک سال نیاز دارند و نه فقط در طی ساعات اوج تقاضا، نیازمندی‌های آن بسته به مکان و وابستگی به فناوری‌های مختلف متغییر است. ارزش اصلی خدمات جانبی در ظرفیت بالایی است که باید در مواقع نیازمندی به منظور قابلیت اطمینان سیستم و به صورت رزرو، به شکل‌های مختلف و به سرعت قابل بهره‌برداری باشد [16]. از میان استراتژی‌های مختلف DR خدمات جانبی پرکاربردترین آن‌ها در صنعت می‌باشد[17].

3-خدمات جانبی پر کاربرد در صنایع

طبق FERC خدمات جانبی به عنوان اعمالی در جهت حمایت از خدمات اساسی تولید برق، تامین انرژی و تحویل برق، توسط تجهیزات و افرادی که تولید، کنترل و انتقال برق را برعهده دارند، شناخته می‌شود. این خدمات باید به دو مشخصه‌ی خاص سیستم قدرت بزرگ شامل 1- نیاز به برقراری توازن بین بار و تولیدات در حالت لحظه‌ای و 2- نیاز به مدیریت توان در تجهیزات انتقال توسط برنامه‌ریزی مجدد تولید و بار، پاسخگو باشد[18].

FERC به صورت خاص شش خدمات جانبی کلیدی: 1) برنامه‌ریزی، کنترل سیستم و خدمات انتقال 2) منبع توان راکتیو و کنترل ولتاژ توسط منبع 3) خدمات تنظیم و پاسخ‌گویی فرکانس 4) خدمات عدم تعادل انرژی 5) خدمات رزرو چرخان و 6) خدمات رزرو جایگزین را در موقعیت 888 خود (FERC 1996) در نظرگرفته شده است [18].

3-1- رزرو جایگزین یا رزرو تکمیلی[1]

رزرو جایگزین که در برخی نواحی لازم است، و با پاسخ‌گویی حدود 30 تا 60 دقیقه آغاز می‌شود[18]. این ذخیره با دوره ی خود نسبت به ذخیره ی غیر گردان تمیز داده می‌شود. بارهای پاسخگو با شرایط مناسب معمولا این امکان را دارند که ذخیره ی تکمیلی یا جایگزین را فراهم کنند.

3-2- رزرو اضطراری (ذخیره‌ی چرخان و غیر چرخان)

از لحاظ مفهومی، رزرو چرخان کسری از ظرفیت بی باری واحد های مرجع ژنراتوری است که متصل یا سنکرون با شبکه هستند و می توانند در 10 دقیقه آماده ی تحویل باشند و رزرو غیر چرخان مقدار ظرفیتی است که احتمالا می تواند در طی 10 دقیقه به منظور رسیدن به بار مشخصی شروع به کار کند[8]. ظرفیت منابع محاسبه شده برای فراهم آوری رزرو چرخان نسبت به منابع تامین کننده ی خدمات تنظیم، معمولا بالاتر و نیازمند دفعات کمتری، می‌باشند. پاسخ در زمینه‌ی رزرو اضطراری باید سریع باشد، حتی اگر پاسخ فوری ترجیح داده شود، پاسخ کامل در طی 10 دقیقه قابل دسترسی است[19].

[1] supplemental reserves

Archive of SID
www.SID.ir

بارها و پردازش‌هایی که نیازمند زمان آگاه‌سازی قبلی برای پاسخ نیستند، بهترین منابع برای فراهم آوری رزرو اضطراری می‌باشند. مثال‌های خوبی از این خدمات مانند بارهای حرارتی، فشرده سازی هوا، پمپ آب و برخی دیگر از بارها با قابلیت ذخیره‌سازی ذاتی و بارهایی که در اثر اوقات نیازی به آگاه سازی پیشرفته برای پاسخ دهی ندارند، می‌باشد. در منبع [20] برخی از فرایندهای صنعتی شامل الکترولیز کلروالکلی، الکترولیز آلمینیوم، کارخانه‌های سیمان، محصولات خمیر چوب و کوره‌ی جرقه‌ی الکتریکی در زمینه ی مزایای اقتصادی آن‌ها و فراهم‌آوری ظرفیت رزرو غیر چرخان در بازارهای قدرت مورد بررسی هستند. نتایج نشان می‌دهد که این پردازش‌ها توانایی فراهم آوردن 50% رزرو غیر چرخان برای تعادل بازار تا سال 2020 را دارد [20]. در مطالعات دیگری [21]، رزرو چرخان توسط به‌کارگیری کارخانه‌های ذوب فراهم شده است. هنگامی که مصرف برق بالاتر از حد است، ذوب می‌تواند رزرو چرخان را برای سیستم قدرت فراهم کند. در حالیکه برخی بارها (به عنوان مثال بارهای حرارتی) به سرعت پاسخ کاملی را فراهم می‌کنند، برخی دیگر از بارها به منظور تغییر وضعیت به فرایند خاموشی در طی تاخیر عملکرد دستگاه‌های کنترلی مانند رله‌ها و دریچه‌ها مقداری زمان لازم است. این نوع از بارها برای پاسخ کامل در 10 دقیقه باید با قیود اپراتور سیستم[1] (ISO) مواجه شوند. همچنین ISO ها یک سری قید زمانی برای بازگشت به شبکه دارند که بار پاسخ‌گو باید با آن مواجه شود.

3-3- تنظیم

تنظیم به عنوان خدمات کنترلی یا ظرفیت بسیار سریع و دقیقی که در شرایط نرمال شبکه به صورت لحظه‌ای و در حالت تعادل پیوسته‌ی تولیدات و بار اعمال می‌شود، تعریف می‌شود[18]. منابع DR که خدمات تنظیم را فراهم می‌کنند توسط ISO ها اختیار دارند تا خروجی خود را به منظور تابعی از کنترل تولید خودکار بهره‌بردار سیستم مدیریت انرژی تغییر دهند. در برخی (ISO/RTO) ها تنظیمات به دو دسته‌ی تنظیم بالا و پایین تقسیم شده‌اند. در این مورد منبع DR فقط برای جبران انحراف از نقطه‌ی بهره‌برداری نرمال در یک جهت خاص خواسته می‌شود. هر چند در برخی بازارها منابع می‌توانند به صورت نامتقارن پیشنهاد تنظیم دهند، که برای بار مناسب‌تر است.

از آنجایی که تنظیم همیشه جزو پر هزینه‌ترین خدمات جانبی بوده است و بیشترین خدمات مالی را دارد اگر بار این خدمات را فراهم کند، ترجیح داده می شود که تکرار قطع کمتری داشته باشد. به همین دلیل فقط بارهایی که مشخصات خاصی دارند مانند تناوب سریع در زمان روشن و خاموش شدن تمایل دارند خدمات تنظیم را فراهم کنند[22]. یک بار با درایور های سرعت قابل تنظیم (کنترل حالت جامد) یک منبع مناسب برای پیاده‌سازی تنظیم است. یک مخزن آلمینیوم ذوب شده به صورت الکتریکی کنترل می شود و می تواند به صورت خودکار سیگنال های کنترل تولید را دنبال کند، به همین دلیل به یک منبع مناسب جهت تهیه‌ی تنظیم و رزرو چرخان در نظر گرفته شده‌است[22،23] .

[1] Independent system operator

www.SID.ir
Archive of SID

4- معرفی صنایع برجسته در پیاده‌سازی DR

هدف این بخش معرفی و سپس دسته بندی صنایعی می‌باشد که پتانسیل پیاده‌سازی برنامه‌های DR را دارا می‌باشند. در یک نیروگاه تجهیزات یا فرایندهای مصرف برق غالب، درایوهای ماشین، گرم‌کننده‌های الکتریکی و فرایندهای الکتروشیمیایی می‌باشد .[24] به منظور مشارکت در برنامه‌های پاسخ‌گویی بار و خدمات جانبی، این فرایندها و تجهیزات به صورت عمده به دو گروه دسته بندی می‌شوند. دسته ی اول آن دسته از تجهیزات هستند که جزیی از فرایند صنعتی می باشند مانند کوره‌ها، پمپ‌ها ، موتورها و غیره، محصولات تولیدی نیروگاه بدون تکیه به توان این بارها متوقف می‌شود. دسته بندی دوم به بارهایی که نیازمند مشارکت مستقیم نیستند، ولی درسایت مورد نیاز هستند مانند روشنایی، خنک کننده، گرم کننده، تهویه، تجهیزات ادارات و غیره اشاره می‌کند. که البته نوع دوم بارها بخش اندکی از مصرف کل هستند، برای مثال با توجه به صنایع مواد شیمیایی و مواد اولیه، به ترتیب حدود 12و 8 درصد از کل انرژی مربوط به این دسته از بارها است.[24]

برخی از فرایندهای صنعتی روال تولید مهمی دارند. به همین دلیل، به منظور برنامه‌ریزی، توجه دقیق به وابستگی‌ها و قیود غالب آن ها در فرایند کلی تولید ضروری است. روش پیاده‌سازی DR در هر کدام از این صنایع در ادامه ارائه شده است.

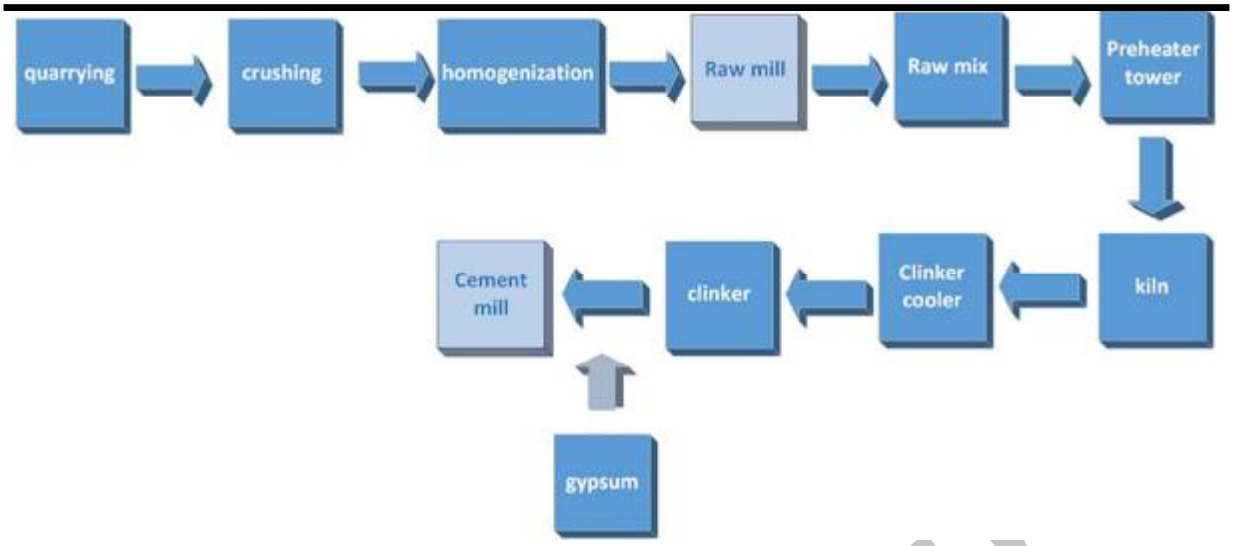
4-1- صنعت سیمان

4 مرحله ی اساسی 1) آماده سازی وعده های خام 2) clinkering 3) خرد سازی سنگ سیمان 4) بسته بندی تولیدات، در کارخانه های سیمان وجود دارد[25].

هزینه برق در یک کارخانه سیمان معمولی تقریباً 30 درصد هزینه ی کلی را متشکل می‌شود [26]. فرایندهای مختلف یک کارخانه‌ی سیمان معمولی در شکل 2 نشان داده شده است. در این شکل فرایندهایی با پتانسیل بالا برای وقوع DR با رنگ آبی کمرنگ مشخص شده‌اند. به علاوه شکل 3 شدت مشارکت مصرف انرژی الکتریکی فرایندهای غالب در کارخانه سیمان را نشان می‌دهد. پتانسیل بالای اجرای DR در کارخانه‌های سیمان، مخصوصاً در پردازش‌های غیر پیوسته مانند استخراج سنگ معدن، کارخانه‌های تولید مواد خام، کارخانه‌های سوخت وجود دارد. اگر مصرف انرژی را در حالت کلی شامل باقی سوخت‌ها در نظر بگیریم، کوره فرایند غالب مصرف انرژی می‌شود. بارهای الکتریکی که به کوره مربوط می‌باشند شامل درایورها، خنک کننده‌ها، انتقال مواد و کوره، فن‌ها و سیستم‌های فیلترینگ نمی‌توانند بدون صدمه رساندن به کوره یا تلفات در تولیدات متوقف یا جابه‌جا شوند. به همین دلیل کوره فرایندی است که باید به صورت پیوسته و مداوم کار کند، در غیر این صورت فرایند تولید متوقف خواهد شد.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل 2. زنجیره‌ی تولید در کارخانه‌ی سیمان

روش دیگر مشارکت در برنامه‌های DR توسط کارخانه‌های سیمان، تولید سیمان چندگانه می‌باشد، در این سایت‌ها انواع آسیاب سیمان با انرژی سنگ‌زنی کمتر در طی ساعات اوج مصرف تولید می‌شود که منجر به ذخیره‌ی انرژی، بدون کاهش محصولات خروجی می‌شود [27].

4-2- صنعت فولاد

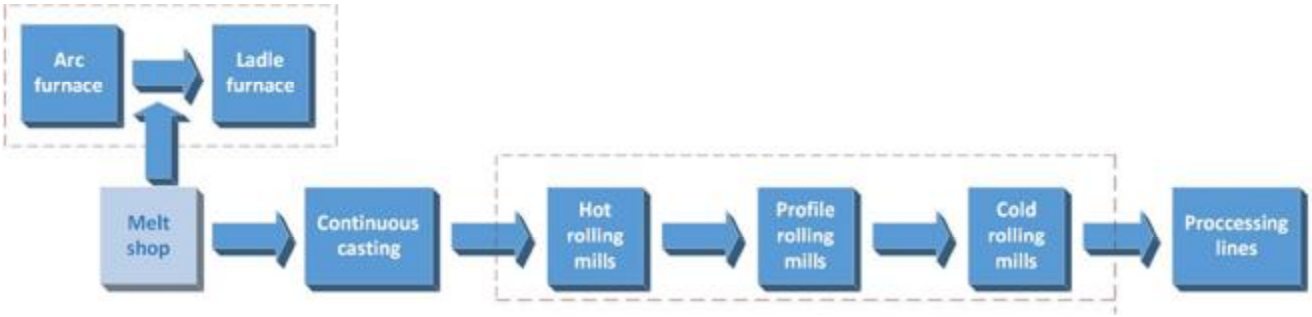
کارخانه های تولید فولاد به عنوان یکی از پیچیده‌ترین صنایع شناخته می‌شوند. صنعت فولاد با مصرف انرژی بالا، چند سطحی و تولیدات چندگانه که از ابزارهای موازی تشکیل شده است، دارای فرایند پیچیده و قیود انرژی بسیاری می‌باشد [28] .

انرژی مورد نیاز برای تولیدات فولاد شامل انرژی لازم برای : 1- احیای آهن (سنگ آهن) : مصرف انرژی نهایی حدود 10 گیگا ژول بر تن آهن . 2- ذوب آهن (محصول احیا یا قراضه) و تولید فولاد مذاب ریخته گری : حدود 1/5 گیگا ژول بر تن آهن . 3- گرم کردن فولاد برای شکل دهی محصول نهایی : حدود 0/88 گیگا ژول بر تن آهن می‌باشد.) شکل 5 دیاگرام ساده ای از زنجیره‌ی تولید فولاد را نشان می‌دهد. در این شکل فرایندی که بیشترین مصرف انرژی را دارد با رنگ آبی کمرنگ مشخص شده است. ذوب ضایعات فولاد فرایندی با مصرف انرژی بالا برای تولید فولاد است. شدت انرژی این فرایند حدود 0/525 MWh از فولاد تولیدی است[29]. در این فرایند گرما توسط یک جرقه‌ی کوره الکتریکی یا به وسیله‌ی القا، ایجاد می شود که باعث شده ضایعات فولاد در کوره شروع به ذوب شدن کنند. اگر چه این فرایند می‌تواند متوقف شود، ولی اگر قطع بار بیش از نیم ساعت شود، فرایند ذوب باید دوباره اجرا شود، چون ضایعات فولاد پس از آن شروع به خنک شدن می‌کنند و منجر به هزینه های اضافی می‌شود. گزارش شده است که زمان ذوب ضایعات فولاد در این فرایند حداکثر 45 دقیقه و حدود 15 دقیقه برای پر کردن دوباره‌ی کوره برای دور بعد لازم است. کارخانه می‌تواند فرایند را به صورت کامل به منظور فروش توان قرادادی در بازارهای

Archive of SID

www.SID.ir

تنظیم انرژی، متوقف کند. هزینه‌ی رزرو باید در مقایسه با هزینه‌های انرژی ذخیره شده منطقی و کم باشد و این بدلیل ارزش بالای بار از دست رفته در این فرایند است [29] .



شکل 3. زنجیره‌ی تولیدی صنایع فولاد

4-3- صنعت آلمینیوم

آلمینیوم الکترولیت شده یک صنعت ویژه برای پیاده سازی DR و ذخیره انرژی است[15]. الکترولیز فرایند مصرف انرژی غالب در تولید آلمینیوم به شمار می‌رود. ذوب آلمینیوم بر پایه‌ی فرایند الکترولیز برای تبدیل آلومینا به آلمینیوم می‌باشد، که بعنوان ماده اولیه برای صنایع گوناگونی از جمله صنایع ساخت ماشین تا صنایع کنسرو سازی به شمار می‌رود. ذوب حدود 46 درصد کل انرژی مصرف شده در کارخانه‌های آلمینیوم آمریکا را مصرف می‌کند. در یک ذوب کننده‌ی معمول آلمینیوم، 30 تا 40 درصد هزینه‌ی کلی تولید آلمینیوم اولیه به هزینه‌های برق تخصیص می‌یابد[30،31]. کارخانه‌های آلمینیوم در مقایسه با کارخانه‌های سیمان یا آهن فرایند تولیدی آسانی دارند. یکی از فرآیندهای مشوق انرژی آن کوره‌ی ذوب آلمینیوم است. کوره‌های ذوب به صورت الکترونیکی کنترل می‌شوند و می توانند سیگنال‌های کنترلی تولید خودکار را به صورت ویژه مسیریابی کنند[31].

از جمله راه‌های دستیابی به تولید و مصرف توان انعطاف‌پذیر، تغییرات زیاد تبادلات دما در زمان کم، در حین از کار اندازی خط ذوب ظروف توسط یک بریکر است. به این طریق ذوب کننده انعطاف پذیر شده و باعث می‌شود ذوب آلمینیوم به عنوان یک منبع ایده‌آل برای DR به حساب آید[32] . در این صورت دوره تناوب قطع بحرانی‌تر بوده و فقط برای بازه‌ی کوتاهی بسته به قیود خاص کارخانه، پایدار می‌ماند. قطع در یک خط ذوب ممکن از چند دقیقه تا دو ساعت طول بکشد. تجهیزاتی با خط ذوب‌های چندگانه می‌تواند این قطع را از خط به خط دیگری بچرخاند، و زمان قطع طولانی‌تری را ممکن سازند.

4-4- صنایع غذایی و خنک کننده‌ها

فریزرها و یخچال‌ها اثر مشخصی در زندگی روزمره‌ی ما دارند. در زنجیره ی مواد غذایی، فریزها تضمین کننده‌ی طول عمر مواد هستند و ازین رو زیربنای فرایندهای پایه آن می‌باشند. در ساختمان‌ها، تهویه های هوا دمای مناسبی را حتی اگر دمای بیرون بالا باشد ایجاد می‌کنند. انبار های سرد نگهداری غذا که به منظور بازدهی بیشتر انرژی پیاده سازی شده‌اند، به دلایل فنی و مدیریتی بهترین کاندید ها برای ADR باز می‌باشند. منبع [33] پتانسیل ذخیره

www.SID.ir
Archive of SID

ی انرژی و دلایل در نظر گرفتن انبار های سرد و فریزر ها به عنوان هدفی برای فعالیت های پاسخ گویی بار را توضیح می‌دهد.

در منبع [34،35] تاریخچه‌ی صنایع غذایی و فعالیت های متفاوتی را که در صنایع ارائه شده است، از پذیرش مواد خام تا بسته بندی محصولات نهایی بررسی شده است. چنین فعالیت هایی می توانند به دو دسته‌ی کلی دسته‌بندی شوند.

فعالیت‌های تولیدی : فرایند هایی هستند که شامل تغییر مواد خام به محصولات مختلف یا شبه- محصولات بعنوان قسمتی از چرخه ی تولید می‌شوند.

فعالیت‌های کمکی : هدف همچین فعالیت هایی فراهم آوری منابعی برای چرخه ی تولیدی، به عنوان مثال هوای فشرده، بخار یا روشنایی است.

این فعالیت‌ها شامل :

1- آماده‌سازی (پذیرش، جداسازی مواد خام، تمیز و ضدعفونی کردن)

2- تغییرات(کاهش اندازه، مخلوط کردن، خروجی)

3- نگهداری (خشک کردن، استرلیزه کردن، منجمد کردن)

4- بسته بندی

خنک سازی و خنک کننده‌ها بخش عمده دیگری هستند که پیاده‌سازی DR را ارضا می‌سازند. در این فرایند ها برای جابه‌جایی و تنظیم مصرف توان خنک سازی، دمای اولیه مانند یک بافر استفاده می‌شود [36،29]. از آنجایی که خنک سازی صنعتی و خنک کننده‌های انبارها معمولاً سیستم‌های کنترل مرکزی دارند، پتانسیل لازم برای DR خودکار را دارا می‌باشند. در DR خودکار پرتوکل پاسخ به تقاضای خودکار[1] (ADR) به منظور مخابره پیوسته سیگنال در اینترنت به منظور توانایی سازمان‌ها به اعمال DR خودکار استفاده می‌شود[37].

4-5- صنایع شیمیایی

4-5-1- تولید کلراید

فرایند کلروالکلی روش مهمی برای تولید کلراید می‌باشد. کلراید از طریق فرایند الکترولیت کلروالکلی رقیق شده تولید می‌شود. تولید محصولات کلراید از فرایند کلروالکلی در سال 2005 ریشه گرفته است. فرایند کلروالکلی معمولا به منظور تضمین بیشینه خروجی برای فرایندهای شیمیایی پایه، در ظرفیت کامل بهره‌برداری می‌شود. سطح بهره‌برداری معمولا بین 80 تا 90 درصد می‌باشد. بار فرایند کلروالکلی می‌تواند تا 40 درصد برای حداکثر 2 ساعت

[1] Automatic Demand response

Archive of SID
www.SID.ir

کاهش یابد. مهم‌تر از همه، پتانسیل جابه‌جایی بار بین بازه‌های زمانی مانع سطح بهره‌برداری بالا می‌شود. در حال حاظر 40 درصد ظرفیت ذکر شده (حدود 660 مگاوات) به عنوان ظرفیت ذخیره‌ی ثالثیه در بازار ها فروخته می‌شود. در طی هزینه‌های فرصت بالا برای از دست رفتن بار در طی بازه هایی که بار های قابل قطع از سیستم قدرت قطع شده یا کاهش یافته‌اند، فقط مقدار کمینه‌ای از بار برنامه‌ریزی واقعی برای ظرفیت ذخیره‌ی ثالثیه قرار می‌گیرد.

4-5-2- کارخانه‌های جداسازی اجزای هوا

کارخانه‌ی جدا سازی اجزای هوا صنعتی با مصرف توان بالای حدود ده ها مگاوات می‌باشد. تعدادی کمپرسور موازی هوای فشرده را برای واحدهای جدا سازی هوا و سازمان‌هایی با فرایندهای مختلف، فراهم می‌کند. قوانین واحدهای جداسازی به این صورت می‌باشد که هوا را به محصولات خواسته شده تجزیه و آن‌ها را در بافرها ذخیره می‌کند. فرایند ذخیره‌سازی در بافرها این کارخانه را به گزینه‌ی مناسبی برای پاسخ انعطاف‌پذیر مورد نیاز برای سرویس‌های پاسخ‌گویی بار قابل اتصال، تبدیل می‌کند. کمپرسورهای موازی توان خود را توسط موتورهای الکتریکی دریافت می‌کنند. مرکز فرایند خودکار، نقاط قابل تنظیم سیستم کنترل کمپرسورها را فراهم می‌کند و مرکز مدیریت توان، مسئول ارتباطات بین مرکز فرایند خودکار و شبکه‌ی قدرت که توسط TSO ارائه می شود را بر عهده دارد.

5- نتیجه‌گیری

همانطور که بیان شد مصرف انرژی در بخش صنعتی بیش از نیمی از مصرف کل انرژی در جهان محسوب می‌شود. صنعت یکی از مراحل اساسی در توسعه ملی بوده و افزایش درآمدها و تامین ماشین‌آلات، ابزار و مواد مورد نیاز برای ایجاد زیرساخت‌های مدرن اهمیت این بخش را آشکار کرده است. مهم‌ترین دلیل رشد اقتصادی و بهبود استانداردهای زندگی بسیاری از کشورها توسعه‌ی صنعتی آنها بوده است. مصرف‌کنندگان صنعتی پتانسیل بالایی جهت پیاده‌سازی DR در سیستم‌های قدرت در نواحی مختلف جهان را فراهم می‌کنند، ولی این پتانسیل هنوز به صورت کامل مورد حمایت قرار نگرفته است. اگر چه این مشتریان از نظر فنی قادر هستند بار خود به سرعت و با قابلیت اطمینان کاهش دهند، ولی نگرانی‌های مربوط به بهره‌برداری بهینه امکان استفاده از نهایت ظرفیتشان را نمی‌دهد. همچنین مصرف‌کنندگان صنعتی دارای انگیزه کافی برای پیاده‌سازی برنامه‌های DR نمی‌باشند. به بیان دیگر، مشارکت مصرف‌کنندگان صنعتی انعطاف‌پذیر در برنامه‌های جدید DR که پتانسیل کامل آنها را استخراج می‌کند، ضروری است. این برنامه‌ها باید توانایی فراهم‌آوری ابزارها و روش‌های مناسب به منظور دستیابی به منافع فنی و مالی را داشته باشند. از آنجایی که صنایع سیستم‌های مدیریت انرژی مختلفی را اعمال کرده‌اند، و همچنین برخی از فرایندهای صنعتی روال تولید خاص خود را دارند، به منظور برنامه‌ریزی، توجه دقیق به وابستگی‌ها و قیود غالب آن‌ها در فرایند کلی تولید ضروری است. این روش‌ها باید شامل بررسی هزینه برای سرمایه‌گذاری‌های ویژه در هر صنعت باشد. در واقع در صنایع پتانسیل بالایی جهت اجرای برنامه‌های DR دیده می‌شود. از این‌رو، به منظور بهره‌برداری موفق از پتانسیل کامل انعطاف‌پذیری مصرف‌کنندگان صنعتی تمرکز برنامه‌های DR باید بر صنایع پتانسیل بالا باشد. همچنین بازار انرژی باید توانایی فراهم آوری انعطاف‌پذیری را داشته باشند. متاسفانه، قوانین قابلیت اطمینان و بازار ها زمانی انتشار یافته‌اند که ژنراتورها تنها منابع در دسترس برای اپراتورهای سیستم بوده‌اند.

Archive of SID
www.SID.ir

به همین دلیل، این قوانین اغلب مانع خدمات قابلیت اطمینان سریع، ضروری و گران قیمت می‌شود. به همین دلیل، پیاده‌سازی DR باید با از بین بردن موانع، تخصص بیشتر در مدیریت بار و پیشرفت در سیستم‌های کنترل و ارتباطات افزایش یابد.

مراجع

[1] ⟨http://china.nikkeibp.com.cn/eco/todaykWd/4384-20130402.html⟩.

[2] FariaP,ValeZ.Demand response in electrical energy supply: anoptimal real time pricing approach.Energy2011;36:5374–84.

[3] Gyamfi Samuel, Krum dieck Susan, Urmee Tania. Residential peak electricity demand response—highlights of some behavior al issues .Renew Sustain Energy Rev2013;25:71–7.

[4] Ming-Che Hua, Su-Ying Lu b,c, Yen-Haw Chen . Stochastic–multiobjective market equilibrium analysis of a demand response program in energy market under uncertainty, Applied Energy 182 (2016) 500–506

[5] Nikolaos G. Paterakisa, Ozan Erdinçb,c, João P.S. Catalão . An overview of Demand Response: Key-elements and international experience, Renewable and Sustainable Energy Reviews 69 (2017) 871–891

[6] Mohagheghi S, Raji N. Managing industrial energy intelligently: demand response scheme. IEEE Ind Appl Mag 2014; 20:53–62.

[7] J.S. Vardakas, N. Zorba, C .V. Verikoukis, A survey on demand response programsin smart grids: pricing methods and optimization algorithms, IEEE Commun.Surv. Tutor. 17 (1) (2014) 152–178.

[8] Jamshid Aghaei, Mohammad-Iman Alizadeh . Demand response in smart electricity grids equipped with renewable energy sources: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews 18 (2013) 64–72

[9] Nilsson H. The many faces of demand-side management. IET Power Engineering 1994; 8(5):207–10

[10] Pilo F, Pisano G, Soma G. Advanced DMS to manage active distribution networks. IEEE bucharest powertech conference. Bucharest: Romania; 2009

Archive of SID

www.SID.ir

[11] US Department of Energy, Benefits of Demand Response in Electricity Markets and Recommendations for Achieving them, Report to the United States Congress, February 2006, available online: http://eetd.lbl.gov.

[12] M.H. Albadi, E.F. El-Saadany, Demand response in electricity markets: an overview, in: IEEE PES GM, Montreal, 2007, pp. 1–5.

[13] M.H. Albadi∗, E.F. El-Saadany, A summary of demand response in electricity markets, Electric Power Systems Research 78 (2008) 1989–1996

[14] Jun Dong n, GuiyuanXue,Rong Li, Demand responsein China : Regulations,pilot projects and recommendations – A review, RenewableandSustainableEnergyReviews59(2016)13–27

[15] W. Choate, US energy requirements for aluminium production historicalperspective theoretical limits and new opportunities, in: J.A.S. Green (Ed.), Alu-minium Recycling and Processing for Energy Conservation and Sustainability,ASM International, 2007, p. 267.

[16] P.M. Castro, L. Sun, I. Harjunkoski, Resource-task network formulations forindustrial demand side management of a steel plant, Ind. Eng. Chem. Res. 52(36) (2013) 13046–13058.

[17] A. Gholian, H. Mohsenian-Rad, Y. Hua, Optimal industrial load control in smartgrid, IEEE Trans. Smart Grid PP (99) (2015) 1–12.

[18] Prepared by D. Todd, M. Caufield, B. Helms , Providing Reliability Services through Demand Response: A Preliminary Evaluation of the Demand Response Capabilities of Alcoa Inc.ORNL/TM-2008/233

[19] F. Shariatzadeh, P. Mandal, A.K. Srivastava, Demand response for sustainableenergy systems: a review, application and implementation strategy, Renew.Sustain. Energy Rev. 45 (2015) 343–350.

[20] T. Kristiansen, The Nordic approach to market-based provision of ancillaryservices, Energy Policy 35 (July (7)) (2007) 3681–3700

[21] Z. Liu, I. Liu, S. Low, A. Wierman, Pricing data centre demand response, 2014ACM Int. Conf. Meas. Model. Comput. Syst. (2014) 111–123.

[22] A. Gholian, H. Mohsenian-Rad, J. Qin, Optimal industrial load control in smartgrid: a case study for oil refineries, 2013 IEEE Power & Energy Society GeneralMeeting (2013) 1–5.

[23] W. Aslam, M. Soban, F. Akhtar, N.A. Zaffar, Smart meters for industrial energyconservation and efficiency optimization in Pakistan: scope, technology andapplications, Renew. Sustain. Energy Rev. 44 (2015) 933–943.

[24] T. Samad, S. Kiliccote, Smart grid technologies and applications for the indus-trial sector, Comput. Chem. Eng. 47 (December) (2012) 76–84.

[25] Fang Yuan Xu, *Member, IEEE*, and Loi Lei Lai, *Fellow, IEEE*, Novel Active Time-Based Demand Response for Industrial Consumers in Smart Grid**,** IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL INFORMATICS, VOL. 11, NO. 6, DECEMBER 2015

[26] M. Yao, Z. Hu, N. Zhang, W. Duan, J. Zhang, Low-carbon benefits analysis ofenergy-intensive industrial demand response resources for ancillary services,J. Mod. Power Syst. Clean Energy 3.1 (2015) 131–138.

[27] S. Ashok, R. Banerjee, Peak-load management in steel plants**,** Applied Energy 83 (2006) 413–424.

[28] M. Rose, Power costs reduction measures at Lafarge Whitehall plant, CementIndustry Technical Conference (1997) 89–95.

Archive of SID

www.SID.ir

[29] Moritz Paulus *, Frieder Borggrefe, The potential of demand-side management in energy-intensive industries for electricity markets in Germany, Applied Energy 88 (2011) 432–441

[30] Xiao Zhang, Gabriela Hug, Bidding Strategy in Energy and Spinning Reserve Markets for Aluminum Smelters' Demand Response**,** 978-1-4799-1785-3/15/$31.00 ©2015 IEEE

[31] D. Todd, M. Caufield, B. Helms, M. Starke, B. Kirby, J. Kueck, Providing ReliabilityServices through Demand Response: A Preliminary Evaluation of the DemandResponse Capabilities of Alcoa Inc., ORNL/TM, 2009, pp. 233–285.

[32] Xiao Zhang, Gabriela Hug, Bidding Strategy in Energy and Spinning Reserve Markets for Aluminum Smelters' Demand Response**,** 978-1-4799-1785-3/15/$31.00 ©2015 IEEE.

[33] Alex Lekov, Lisa Thompson, Aimee McKane, Alexandra Rockoff, and Mary Ann Piette, Opportunities for Energy Efficiency and Automated Demand Response in Industrial Refrigerated Warehouses in California, ernest orlando lawrence berkeley national laboratory

[34] Center for Industrial Research and Service (CIRAS): "Energy-Related Best Practices: A sourcebook for the food industry". Iowa State University. Ames IA, 2005

[35] Berk, Z.: "Food process engineering and technology". Elsevier Inc. Food Process Engineering and Technology, Academic Press, ISBN: 978-0-12-373660-4. San Diego, 2009. Available online: http://www.sciencedirect.com

[36] R. Richman, P. Pasqualini, A. Kirsh, Life-cycle analysis of roofing insulation levelsfor cold storage buildings, J. Archit. Eng. 15 (2) (2009) 55–61.

[37] S. Goli, A. Mckane, D. Olsen, Demand response opportunities in industrial refrig-erated warehouses in California, ACEEE Summer Study on Energy Efficiency inIndustry (2011) 1–14.

Archive of SID

www.SID.ir