دانشگاه صنعت آب و برق
((شهید عباسپور))
دانشکده مهندسی برق

پایان نامه کارشناسی ارشد

عنوان:

برنامه ریزی عملیاتی بازار برق با حضور بارهای وقفه پذیر

استاد راهنما :
دکتر بهادرنژاد

استاد مشاور:
دکتر آرش احسانی

تهیه وتنظیم :
وحید کوهساری

دی ۸۸

بسمه تعالی

فهرست

مقدمه ۳

۱- مدیریت سمت مصرف و پاسخ تقاضا ۵

۱-۱- پاسخ تقاضا ۵

۱-۱-۱-تعریف پاسخ تقاضا ۵

۱-۲-انواع پاسخ تقاضا ۶

۱-۲-۱-پاسخ تقاضا مبتنی بر تشویق ۷

۱-۲-۱-۱-کنترل مستقیم بار ۷

۱-۲-۱-۲-نرخ های وقفه پذیر یا قابل کاهش ۹

۱-۲-۱-۳-برنامه های پاسخ بار اضطراری ۱۰

۱-۲-۱-۴-برنامه های بازار ظرفیت ۱۱

۱-۲-۱-۵-برنامه های بازخرید و پیشنهاد قیمت برای تقاضا ۱۲

۱-۲-۱-۶-خدمات جانبی ۱۳

۱-۲-۲-نرخ های مبتنی بر زمان ۱۳

۱-۲-۲-۱-نرخ های زمان استفاده ۱۴

۱-۳-نقش پاسخ تقاضا در بازارخرده فروشی وعمده فروشی ۱۶

۱-۴- پاسخ تقاضا و بازار خدمات جانبی ۱۷

۱-۴-۱-تأمین توان راکتیو ۲۰

۱-۴-۲-رگولاسیون ۲۰

۱-۴-۲-۱- رگولاسیون ولتاژ ۲۰

۱-۴-۲- ۲-عدم تعادل انرژی ۲۱

۱-۴-۲-۳- رزرو فرکانس ۲۱

۱-۴-۳- رزرو چرخان ۲۲

۱-۴-۴-رزرو مکمل ۲۳

۱-۴-۵-رزرو پشتیان ۲۳

۱-۴-۶-جایگزین تلفات توان واقعی ۲۳

۱-۴-۷-تعقیب بار ۲۴

۱-۴-۸-راه اندازی سیستم خاموش ۲۴

۲- بررسی برخی از مراجع و مقالات معتبر در خصوص بارهای وقفه پذیر ۲۵

۳-ارائه مدل ریاضی جهت برنامه ریزی عملیاتی بازار برق در حضور بارهای وقفه پذیر ۳۳

۳- ۱- مدل بارهای وقفه پذیر ۳۳

۳-۲- ساختار بازار برق ۳۵

۳-۳- تابع هدف بازار و نحوه اجرای آن ۳۷

۳-۳-۱- برنامه ریزی امنیت مقید مشارکت واحد ها : (scuc) ۳۸

۳-۳-۱-۱- قید شیب واحد های تولیدی ۳۸

۳-۳-۱-۲- قید حداقل زمانهای فعالیت و توقف واحدهای حرارتی ۳۸
۳-۳-۱-۳-تعادل توان در هر شین (قید پخش بار dc) ۳۹
۳-۳-۱-۴-قید محدودیت انتقال توان ۴۰
۳-۳-۲-نحوه محاسبه قیمت حاشیه ای منطقه ای (LMP) ۴۰
۳-۴- مدل بازار با حضور بارهای وقفه پذیر ۴۰
۳-۴-۱-بازار انرژی : ۴۰
۳-۴-۱-۱- هزینه تأمین انرژی توسط بارهای وقفه پذیر ۴۲
۳-۴-۱-۲-سود شرکت توزیع ۴۲
۳-۴-۱-۳- قیود scuc با حضور بارهای وقفه پذیر ۴۴
۳-۴-۱-۳-۱- قیود واحدهای تولیدی ۴۴
۳-۴-۱-۳-۲- قیود بخش بار dc ۴۴
۳-۴-۱-۴-قیود بارهای وقفه پذیر ۴۴
۳-۴-۱-۴-۱- قیود حداقل و حداکثر توان قابل قطع ۴۴
۳-۴-۱-۴-۲- قیدحداکثر توان قابل قطع بودن ۴۴
۳-۴-۱-۴-۲- قیدحداکثر زمان قطع بودن ۴۴
۳-۴-۱-۴-۳- قید حداکثر بار وقفه پذیر در هر ساعت ۴۵
۳-۴-۲- ارزیابی ریسک سیستم و تعیین سطح رزرو چرخان مورد نیاز ۴۵
۳-۴-۲-۱-محاسبه ریسک مشارکت واحدها ۴۶
۳-۴-۳ -تابع هدف بازار رزرو چرخان ۴۷
۳-۵- شیوه حل تابع هدف واجرای بازار و شبیه سازی رایانه ای ۴۸

٤- مطالعه موردی و بررسی نتایج حاصله ۵۲
۴-۱- معرفی تست سیستم واطلاعات کلی آن ۵۲
۴-۲- بارهای وقفه پذیر در سیستم RBTS ۵۵
۴-۳-نتایج عددی حاصل از اجرای برنامه شبیه سازی ۵۸

۵- نتیجه گیری

٦- منابع و مراجع

۷- پیوست

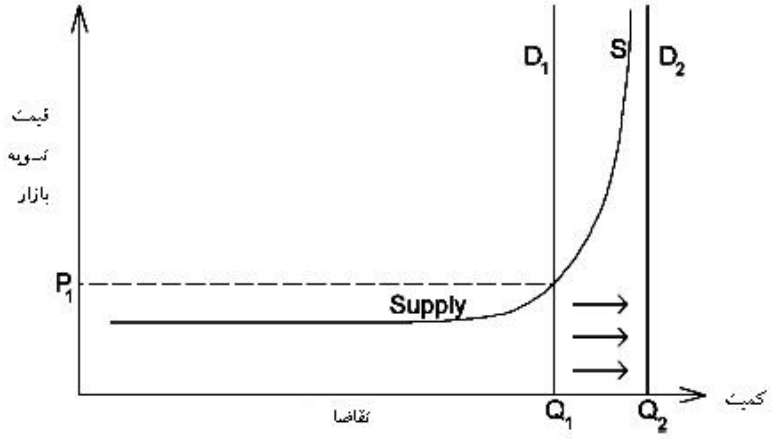
مقدمه:

بطور کلی در یک بازار در وضعیت عادی، قیمت محصول نشان دهنده میل خریدار برای خرید و رضایت فروشنده جهت فروش می باشد. بنابراین افزایش و یا کاهش قیمت حاکی از وجود عدم تعادل بین عرضه و تقاضا و یا پیش بینی این موضوع در آینده می باشد. با توجه به این مسئله خریدار همواره سعی می کندکه میزان خرید خود را براساس نیاز خود وچشم انداز بازار فراهم کند.

اما فراهم شدن الکتریسیته در مقایسه با بسیاری از کالاهای دیگر برای مصرف کننده نهایی بسیار مهم می باشد. همچنین انعطاف پذیری در مصرف برق بسیار کم است اما می توان میزان مصرف را بهینه کرد.

در بازاری که مصرف کنندگان نسبت به قیمت برق حساس هستند و از الاستیسیته برخوردار می باشند می توان تعادل بین عرضه و تقاضا را برقرار کرد. بدون وجود الاستیسیته، قیمت برق فقط هزینه های تأمین برق را بازتاب خواهد کرد. قیمت برق بدلیل اینکه یک کالای غیر قابل ذخیره کردن می باشد همواره از تعادل فیزیکی لحظه ای بین عرضه و تقاضا تبعیت می کند. بخصوص در سیستم هایی که نیروگاههای حرارتی در آن حکفرما می باشند. قیمت های بالا، ناشی از عدم تعادل و همچنین افزایش های ناگهانی قیمت[1] نشان دهنده وجود مشکل در کفایت سیستم می باشد[۱].

مصرف کننده های نهایی برق، می توانند از خودشان بپرسند که آیا آنها واقعاً به تأمین ۱۰۰% برق در تمامی موقعی تها نیاز دارند و اینکه حاضرند چه مقدار در ماه بابت مصرف برق بپردازند؟ اگر نتیجه این سؤالات منجر به تنظیم مصرف برق شود، به این واکنش پاسخ تقاضا گفته می شود[۱].



شکل ۰-۱: تأثیر عرضه و تقاضا بر روی قیمت [۱]

[1] spike

مصرف کنندگان نهایی با کاهش مصرف و نیاز خود می توانند به تعادل بین عرضه و تقاضا و همچنین کاهش قیمتها و افزایش امنیت در تأمین برق کمک کنند. از مهمترین فوایدی که از این طریق نصیب مصرف کنندگان می شود کاهش هزینه آنها بابت مصرف برق می باشد.

با توجه به فواید پاسخ تقاضا در این پروژه با طراحی یک بازار عملیاتی به مدیریت بارهای وقفه پذیر که نوعی از پاسخ است پرداخته ایم. این بازار ترکیبی از بازار انرژی و بازار رزرو است و بگونه ای که امکان حضور بارهای وقفه پذیر در هر دو بازار وجود دارد. در ضمن برنامه ریزی واحد ها نیز براساس مشارکت امنیت مقید واحدها است. این پروژه از چهار فصل تشکیل شده است. در فصل اول به تعریف پاسخ تقاضا و بیان انواع آن و بررسی فواید و امکان حضور آنها در بازار خدمات جانبی مباحثی مطرح شده است. در فصل دوم به بررسی برخی از منابع معتبر که در خصوص مدیریت بارهای وقفه پذیر مطالبی ر ارائه نموده اند یا شیوه جدیدی را ابداع کرده اند پرداخته شده است. در فصل سوم در خصوص مدل بارهای وقفه پذیر، ساختار بازار مورد نظر و بیان توابع هدف و مطرح نمودن قیود برنامه ریزی مشارکت واحدها اشاره شده است. ضمناً در این فصل شیوه حل تابع هدف و ارائه مدل پیشنهادی نیز بیان می شود. در فصل چهارم نیز با ارائه یک تست سیستم به بررسی وضعیت شیوه ارائه شده پرداخته شده است.

فصل اول

۱- مدیریت سمت مصرف و پاسخ تقاضا

مدیریت سمت مصرف (DMS[1]) در صنعت برق از سال ۱۹۸۰ توسط انستیتو تحقیقات توان الکتریکی(EPRL) آمریکا مطرح شده است. این مدیریت شامل فعالیت هایی است که توسط دولت ها یا شرکت های برق برای تغییر در الگوی مصرف و زمان مصرف انرژی برق به منظور افزایش رفاه اجتماعی و یا ماکزیمم نمودن سود شرکت ها و مشتریان انجام می شود[۲]. مدیریت مصرف شامل فعالیت های مدیریت بار، کارایی انرژی و برش انرژی و... می باشد. از زمانی که صنعت برق با تجدید ساختار و مقررات زدایی روبرو شده است, گزینه های جدیدی در این فضا مطرح شده است که مهم ترین آن پاسخ تقاضا[2] می باشد.

۱-۱- پاسخ تقاضا[3]:

به فعالیتهایی که به وسیله مشتریان (مصرف کنندگان) جهت تغییرمصرف (تقاضای) توان الکتریکی در پاسخ به سیگنالهای قیمتی ،تشویق ها یا دستورات صادره از طرف بهره بردار شبکه انجام شود پاسخ تقاضا می گویند[۲].

۱-۱-۱-تعریف پاسخ تقاضا از نظر DOE[4]:

تغییر در مصرف الکتریسته به وسیله مصرف کنندگان نهایی از الگوی مصرف معمولی خودشان در پاسخ به تغییرات قیمت الکتریسته یا به پرداخت های تشویقی معین شده برای مصرف الکتریسته ی کمتر، در زمان بالا بودن قیمت در بازار عمده فروشی یا زمانی که پایایی سیستم در خطر می باشد پاسخ تقاضا میگویند[۳].

مسئله اساسی در پاسخ تقاضا با توجه به این تعریف ،پاسخ فعال به قیمتها ویا پرداختهای تشویقی میباشد.

تغییر درمصرف الکتریسته به طور طبیعی برای زمانهای کوتاهی طراحی شده است. ساعتهای بحرانی درطول روز یا سال، زمانی که در آن تقاضا بالا بوده یا زمانی که میزان رزرو در شبکه پایین می باشد می توان از پاسخ تقاضا استفاده نمود.

---

[1] Demand Side Management
[2] Demand response
[3] demand response
[4] departman of energy of USA

وجود پاسخ تقاضا در شبکه باعث می شود که مصرف در مواقع ضروری کاهش یابد و همین موضوع می تواند قیمت های بازار عمده فروشی را بر اساس اصول منظمی برش دهد،که به موجب آن می توان شدت تیزی های قیمت در بازارهای عمده فروشی در روزهای نهایی (در بازار زمان حقیقی) راتعدیل داد.
پاسخ مصرف کنندگان به تشویق ها نیر یک ابزار مهم و قابل دسترس برای بهره بردار شبکه میباشد تا کمبود رزرو را اداره کند. اگر تغییرات در قیمت های برق برای یک مدت طولانی دوام داشته باشد یا امید داشته باشیم این افزایش قیمت چندین بار تکرار شود، پاسخ تقاضا می تواند باعث تغییر الگوی مصرف مشتریان و کاهش مصرف آنها شود که این موضوع نیاز به سرمایه گذاری در یک مدت معین نسبت به حالتی که پاسخ تقاضا وجود ندارد را کاهش می دهد.

۱-۲-انواع پاسخ تقاضا

در این گزارش دو نوع اولیه از پاسخ تقاضا را معرفی می کنیم. پاسخ تقاضا مبتنی بر تشویق و مبتنی بر نرخ برق با توجه به زمان استفاده از آن، که هرکدام شامل چندین گزینه می باشد[۳].

الف)پاسخ تقاضا مبتنی بر تشویق:

۱-کنترل مستقیم بار

۲- نرخ های وقفه پذیر(وقفه پذیر) / قابل مختصر کردن (کاهشی)[1]

۳- باز خرید[2] انرژی فروخته شده و ارائه پیشنهاد به مشتری جهت فروش توان خریداری

۴-برنامه های پاسخ تقاضا اضطراری

۵- برنامه های بازار خدمات جانبی

ب) نرخهای مبتنی بر زمان

۱- زمان استفاده [3]

۲- قیمت گذاری پیک بحرانی[4]

۳- قیمت گذاری زمان واقعی[5]

برنامه های پاسخ تقاضا مبتنی بر تشویق ، پرداخت هائی را برای مشتریان در نظر می گیرد تا آنها مصرف انرژی خود را در زمانهایی که سیستم نیاز دارد یا تحت فشار می باشد ، کاهش دهند.

[1] interruptible / curtaible rates
[2] Buy back
[3] Time-of-use
[4] Critical-peak pricing
[5] Real-time pricing

به وسیله تنظیم و یا کاهش یک فرآیند تولید، انتقال بار به زمانهای کم باری و راه انداختن تولیدات پراکنده محلی، مصرف کنندگان می توانند تقاضای خود را از شبکه توزیع و یا شبکه برق کاهش دهند. مصرف کنندگانی که در برنامه های پاسخ تقاضا مبتنی بر تشویق شرکت کرده اند ، نرخ های خرده فروشی تخفیف یافته یا پرداختهای تشویقی جداگانه ای دریافت می کنند.

شرکت های VIU[1] و سایر LSE[2] ها مانند تعاونی ها،شرکت کنندگان وابسته به شهرداری ویا خرده فروشان غیر دولتی، این برنامه ها را براساس اصول خرده فروشی، مستقیماً به مصرف کنندگان ارائه می کنند. در سطح عمده فروشی،انگیزه ها از سوی ISO ها یا RTOها (ارگانهای انتقال منطقه ای) و بازارهای توان ایجاد می شود. برنامه های پاسخ تقاضا را می توان به دلایل پایایی یا اقتصادی ویا هر دو به راه انداخت .در برنامه های مرتبط با پاسخ تقاضا به صورت عمده ،کاهش بار مشتریان به وسیله مجموعه ای ازمشتریان خرده فروشی تأمین می شود[۳].

نوع دوم پاسخ تقاضا نرخهای مبتنی بر زمان را در بر دارد. این نرخ های متغیر با زمان به طور مستقیم به مصرف کنندگان نهایی داده می شود. البته دادن این نرخ ها به مصرف کنندگان نهایی دلیلی برای این موضوع نیست که همه ی آنها قادرند مصرف خود را با توجه به زمان تغییر دهند ولی ممکن است فرهنگ پاسخ تقاضا مبتنی بر سیگنال های قیمتی را ترویج دهد.

نرخ های یکنواخت (صاف)، اغلب برای مشتریا ن خانگی تعیین می شود و تنها گزینه مناسب در مواقع نبود میتر جهت ضبط کردن مصرف در زمانهای مختلف می باشد.

پاسخ تقاضای مشتریان تشویق شده[3] به سیگنالهای قیمتی متغیر با زمان، یک راهکار مناسب برای مشتریان برق می باشد تا ازقیمت گذاری های یکنواخت ویا میانگین دور شوند و بازارهائی با کارایی بیشتر را ترقی دهند.

این دو نوع از پاسخ تقاضا به طور گسترده به هم مرتبطند و می توانند برنامه های گوناگونی را جهت رسیدن به اهداف مکمل طراحی کنند. برای مثال به وسیله تنظیم الگوی بار مشتریان یا افزایش انعطاف پذیری قیمت[4]، پیاده سازی نرخهای مبتنی بر زمان در مقیاس بزرگ می توان شدت و یا فراوانی تیزی های قیمت[5] و کمبود های رزرو را کاهش داد[۳].

۱-۲-۱-پاسخ تقاضا مبتنی بر تشویق:

۱-۲-۱-۱-کنترل مستقیم بار:

برنامه های کنترل مستقیم بار (DLC[6]) به برنامه هایی که در آن یک شرکت یا بهره بردار سیستم به صورت از راه دور تجهیزات مشتریان را خاموش و یا بصورت تناوبی روشن و خاموش می کند، گفته می شود و هدف از

[1] Vertically integrated electric utility
[2] Load serving entity
[3] incentivized
[4] Price responsiveness
[5] spike
[6] Direct load control

این کار حفظ پایایی سیستم در مقابل خطاها و حوادث ناگهانی می باشد که به ازای انجام این کار به مشتریان پرداخت های تشویقی داده می شود و یا بصورت اعتبار در صورتحساب آنها لحاظ می شود.
البته این کار بسیار سریع و در زمان کوتاهی انجام می شود. زمان استفاده از DLC عموماً در زمان های پیک می باشد..
DLC حداقل در دو دهه در حال اجرا می باشد. Florida power & light بزرگترین برنامه کنترل مستقیم بار را با ۷۴۰۵۷۰ مشتری انجام می دهد[۱].
متداول ترین شکل DLC برنامه هایی است که تجهیزات را به صورت دوره ای خاموش و روشن می کند. یعنی کنترل آنها به عهده شرکت ها می باشد. به عنوان نمونه سیستم های تهویه مطبوع و گرم کننده های آب.
در این برنامه ها یک کلید کنترل از راه دور یک طرفه (دریافت کننده و کنترل کننده دیجیتال) به واحد کندانسور یک سیستم تهویه مطبوع یا عنصر غوطه ور[1] در یک گرم کن آب متصل است. با قطع بار وسایل به صورت از راه دور، میتوان بار پیک را کاهش داد. کاهش واقعی به اندازه تجهیزات ، الگوی مصرف مشتریان و شرایط جوی وابسته است اما بطور کلی کاهش بار صورت گرفته توسط هر دستگاه تهویه مطبوع در حدود ۱ کیلووات و هر گرم کننده آب ۰.۶ کیلووات است.
کنترل این کلید در سیستم های قدیمی توسط سیگنالهای رادیویی و امروزه توسط یک فراخوان کنترلی به صورت دیجیتال انجام می شود. بسته به دوره تناوب انتخاب شده زمان خاموش بودن کندانسور تمام مدت وقوع حادثه یا اینکه کسری از یک ساعت می باشد (برای مثال دوره تناوب خاموش بودن ۱۵ دقیقه در هر ساعت). برنامه های DLC عموماً تعداد دفعات و یا ساعاتی را که می توان تجهیزات مشتریان را در طول یک سال یا یک فصل خاموش نمود، مشخص می کند. در سالهای اخیر، کلیدهای ریموت با توجه به تکنولوژی های جدید بسیار هوشمند شده اند. همچنین تمامی کلیدها بطور مجزا دارای آدرس می باشند یعنی می توان این کلیدها را بصورت مستقل کنترل نمود. این موضوع امکان بر طرف کردن مشکلات منطقه ای و محلی را بصورت دقیق تر امکان پذیر می کند.
در مجموع کنترل از راه دور وسایل خاص باکنترل هوشمند یا قابل برنامه ریزی ترموستانهای مخابراتی جایگزین شده است. در برنامه های DLC که از ترموستاتهای هوشمند استفاده می شود، مانند برنامه های LIPA[2] ، دما از راه دور تنظیم می شود. در طول تابستان شرکتها می توانند دما را بالا ببرند تا مصرف برق کاهش یابد. بعد از یک حادثه تنظیمات دما میتواند به حالت قبل از حادثه برگردد. (با توجه به انتخاب مشتری) در بسیاری از این برنامه های هوشمند، امکان تنظیم دما از طریق اینترنت برای مشتریان وجود دارد. DLC یکی ازمنابع بسیار مهم پاسخ تقاضا در طول سالهای زیادی بوده است . و در حال حاضر نیز چندین نهاد برنامه های DLC خود را گسترش داده اند، ولی برخی از نهادهای معتبر این برنامه ها را متوقف کرده اند مخصوصاً

[1] immersion
[2] long Island power Authority

درفضای تجدید ساختار یافته. برای مثال با وجود اینکه مدیریت بار در بازار تگزاس به عنوان یک سرویس رقابتی درنظر گرفته می شود ولی برنامه های تناوبی کنترل سیستم های تهویه مطبوع در این بازار متوقف شده است. به طور مشابه نیز زمانی که که بخش صنعت برق در مریلند تجدید ساختار یافت این برنامه ها نیز متوقف شدند.

۱-۲-۱-۲-نرخ های وقفه پذیر یا قابل کاهش :

مشتریان شرکت کننده برنامه در ازای قطع/ کاهش بار هنگام وقوع حوادث ناگهانی[1] از تخفیف یا افزایش اعتبار در صورتحساب برخوردار می شوند. اگر مشتریان بار خود را کاهش ندهند جریمه می شوند. تعرفه های بارهای وقفه پذیر / قابل کاهش با تعرفه های پاسخ تقاضای اضطراری و آلترناتیوهای برنامه های ظرفیت متفاوت می باشد. دلیل این امر آن است که پاسخ تقاضا عموماً بوسیله یک شرکت برق یا تأمین کننده برق (LSE[2]) ارائه می شود و به کمک آن قادر است هر زمان که به آن نیاز داشت این برنامه ها را اجرا کند.

تعرفه های وقفه پذیر عموماً توسط رگولاتوری تعیین می شود و در شرکت توزیع ابلاغ می شود. برای نمونه حداقل اندازه مشتریان جهت احراز شرایط تعرفه های وقفه پذیر/ کاهش، رنج ۲۰۰ کیلووات برای برنامه های وقفه پذیر/ کاهش پایه در کالیفرنیا و تا ۳ مگاوات در AEP[3] اوهایو می باشد. مشتریان براساس این نرخ با کاهش میزان مشخص شده ای از بار خود یا کاهش مصرف خود تا میزان از قبل تعیین شده ای موافقت می کنند. همچنین مشتریان براساس نرخها می بایست مصرف خود را در طول ۳۰ تا ۶۰ دقیقه درصورت درخواست شرکتهای کاهش دهند (قطع کنند).

میزان ساعاتی که شرکتها می توان بار را قطع[4] کنند دارای سقف می باشد. برای مثال در AEP نمی توان بارهای وقفه پذیر را بیشتر از ۵۰ ساعت در هر فصل فراخوانی نمود[۴و۳].

برنامه های وقفه پذیر برای تمامی مشتریان نیست. بخصوصً مشتریانی که در طول ۲۴ ساعت شبانه روز به مصرف برق نیاز دارند. مانند تولیدکنندگان تراشه های سیلیس، مدارس و بیمارستانها که گزینه های مناسبی شرکت در این برنامه هانمی باشند.

در حالی که تعرفه های بارهای وقفه پذیر در چند دهه اخیر راه اندازی شده است، اما هنوز طراحان و تصمیم گیران با آن مشکل دارند. آنها این سوال را مطرح می کنند که آیا این شیوهک منبع ادامه دار و پایا را فراهم خواهد کرد؟ همچنین تعدادی از مشتریان در دهه های اخیر به صورت ناخوانده از این برنامه ها خارج شده اند. وقوع این اتفاق ترکیبی از تأثیرات ناشی از تجدید ساختار ، کاهش قیمت تخفیف به خاطر شرکت در برنامه

[1] contingency
[2] utility/load serving entity
[3] American Electric Power
[4] Interruption

های وقفه پذیر، با اضافه ظرفیت های بوجود آمده در بسیاری از کشورها و همچنین خروج مشتریان به خاطر در معرض ریسک قرار نگرفتن، می باشد.

۱-۲-۱-۳-برنامه های پاسخ بار اضطراری :

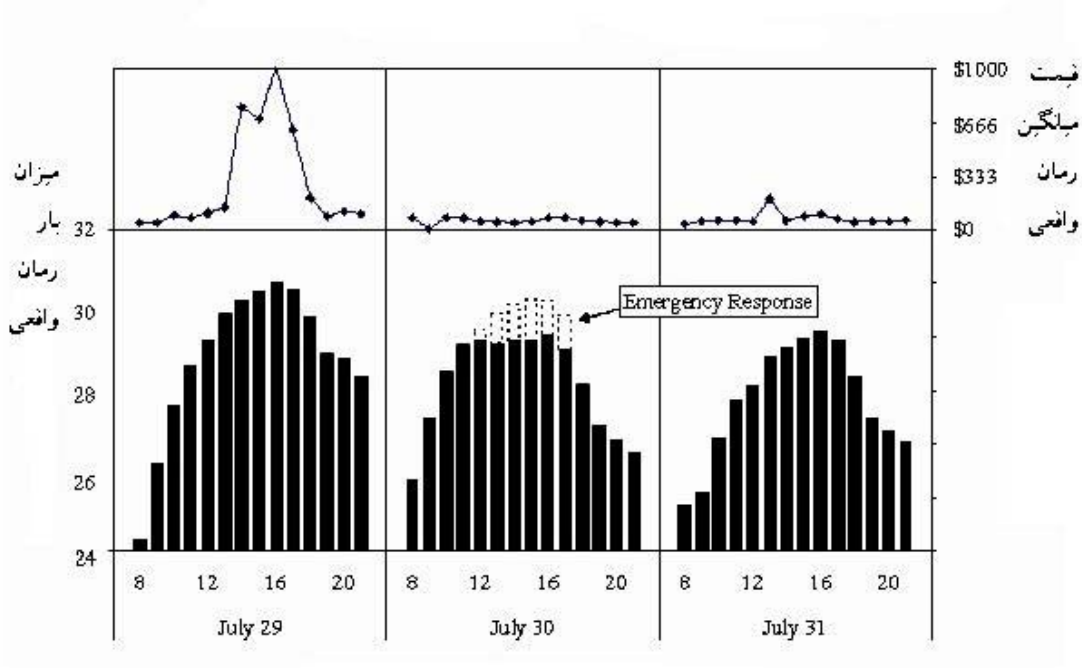
این برنامه ها در دهه اخیر توسعه یافته است. در این برنامه به مشتریانی که بار خود را در طول وقوع حوادثی که پایایی سیستم را به خطر می اندازد، کاهش می دهند، پرداخت های تشویقی داده می شود.

در این برنامه قطع کردن بار اختیاری است. و اگر مشتریان این کار انجام ندهند، جریمه نمی شوند. اما سطح پرداخت از قبل مشخص است. در حالی که برنامه اضطراری توسط شرکت های برق ارائه می شود، اما میزان موفقیت این برنامه ها به میزان دقت استفاده از آنها در ISO[۱] یا TSO مرتبط است. البته برنامه پاسخ تقاضا اضطراری (EDRP[۲]) در NYISO[۳] بسیار موفق بوده است و از شرکت کنندگان زیادی جهت تأمین این رزرو برخوردار است[۳و۴ و ۵].

EDRP ، یک منبع بسیار مناسب برای فراهم کردن رزرو، زمانی که میزان آن کم است، فراهم می کند به همین خاطر در سالهای اخیر از آن استفاده زیادی شده است.

شکل زیر اهمیت EDRP را در طول یک کمبود رزرو که در جولای سال ۲۰۰۲ رخ داده است را نشان می دهد. در طول این حادثه NYISO به خاطر پیک زیاد تقاضا و افزایش بسیار زیاد قیمت زمانی واقعی در روز ۲۹ ماه July نگران شد. براساس پیش بینی بار در روز بعد با توجه به احتمال گرم تر شدن هوا در روز سی ام، NYISO برنامه های EDPR و ظرفیت خود بکار گرفت. در اثر ترکیب این دو برنامه پیک بار و قیمت آن در روز سی ام بشدت کاهش یافت.

[1] Independent System Operator
[2]Emergency Demand Response Programs
[3] New York Independent System Operator



شکل۱-۱: تأثیر پاسخ تقاضای اضطراری در NYISO در July سال ۲۰۰۲ [۳]

از آنجایی که برای قطع و کاهش بار قراردادی بسته نمی شود، بهره بردار شبکه نمی تواند بطور دقیق پیش بینی کند که زمان فعال بودن برنامه، چه میزان کاهش رخ می دهد.

جهت شرکت در این برنامه ها بابت آمادگی هزینه ای پرداخت نمی شود.

۱-۲-۱-٤-برنامه های بازار ظرفیت :

در این برنامه ها، مشتریان به منظور تأمین کاهش بار از قبل مشخص شده در مواقعی که سیستم دچار خطا می شود، در مدار قرار می گیرند[1] و اگر هنگام فراخوانی بار خود را قطع نکنند جریمه میشوند. برنامه های بازار ظرفیت را می توان به عنوان پرداخت حق بیمه درنظر گرفت. مشتریان زمانی که موظف به قطع بار می شوند (هر گاه که فراخوانی شوند)، در ازای این حضور مانند حق بیمه یک مقدار مشخص پول دریافت می کنند. در برخی از سالها ممکن است بارهای کاهشی فراخوانی نشوند، اما در این صورت نیز بابت آمادگی هزینه دریافت می کنند. برنامه های بازار ظرفیت عموماً توسط فراهم کنندگان بازار عمده فروشی مانند RTO یا ISO ها و همانند بازار ظرفیت نصب شده برای تولید، ارائه می شود و این بازار همانند تعرفه های بارهای وقفه پذیر/ قابل کاهش اداره می شود.

[1] commit

علاوه بر توافق با مشترک برای کاهش بار ، شایستگی برنامه های بازار ظرفیت این اصل استوار است که کاهش ها دست یافتنی و ادامه دار باشند. برای مثال، ملزومات دریافت حق آمادگی در NYISO به صورت زیر است[۳]:

حداقل کاهش بار ۱۰۰ کیلو وات، حداقل زمان کاهش ۴ ساعت، ۲ ساعت اطلاع رسانی و در ارتباط بودن با تست یا ممیزی در هر دوره ظرفیت.

این ملزومات برای اطمینان از در دسترس بودن به محض فراخوانی می باشد. برنامه های ظرفیت در ISO یا TSO ها امروزه جز منابع مهمی به حساب می آید. NYISO یکی از بزرگترین ISO ها می باشد که از این برنامه استفاده می کند.

بسیاری از فراهم کنندگان خدمات کاهش بار و مشتریان، این برنامه ها را به خاطر پرداخت تضمین شده ترجیح می دهند. بهره بردار شبکه نیز برنامه های بازار ظرفیت را دوست دارد زیرا این برنامه نمایشی از یک منبع استوار است که می تواند بسیار سریع مهیا شود. سطح پرداخت آمادگی در NYISO و ISO-NE[1] در سطحی است که مشتریان را به شرکت در این برنامه ها تشویق می کند. به عنوان نمونه $۱۴ \frac{\$}{kw-month}$ در زمستان سال ۶-۲۰۰۵ می باشد.

۱-۲-۱-۵-برنامه های بازخرید[2] و پیشنهاد قیمت[3] برای تقاضا :

یکی از جدیدترین انواع برنامه های پاسخ بار مبتنی بر تشویق ، برنامه های بازخرید و پیشنهاد قیمت می باشد. این برنامه ها مشتریان بزرگ را برای ارائه پیشنهاد[4] جهت فراهم کردن کاهش تقاضا با قیمتی که آنها مایلند بار خود را کاهش دهند یا میزان باری که آنها به ازای یک قیمت مشخص مایلند کاهش دهند ، تشویق می کند. برنامه های پیشنهاد قیمت وسیله ای برای استخراج کشش قیمت ، زمانی که قیمت ها افزایش می یابند ، می باشد.

اگر پیشنهاد قیمت مشتری ارزان تراز گزینه های تأمین انرژی باشد، قطع بار دیسپچ می شود و مشتریان موظف می شوند که بار خود را کاهش دهند. این برنامه ها برای بسیاری از مشتریان جذاب می باشد زیر به مشتریان این اجازه را می دهد که در یک نرخ ثابت باقی بمانند ، اما زمانی که قیمت بازار عمده فروشی بالا است پول بیشتری را دریافت کنند. مشتریانی که در برنامه های نرخ مبتنی بر زمان شرکت نمی کنند، می توانند از برنامه های پیشنهاد قیمت سمت تقاضا استفاده کنند تا بابت کاهش بار خود پول دریافت کنند. در غیر این صورت این صورت می بایست بابت مصرف توان نرخ ثابت بازار خرده فروشی را بپردازند.

---

[1] New England Independent System Operator
[2] buyback
[3] biding
[4] offer

در ISO های آمریکا اشکال مختلفی از پیشنهاد قیمت بکار برده می شود. که از این میان دو فرم آن بسیار مهم و معروف می باشد. فرم اول پیشنهادات بطور مستقیم در فرآیند بهینه سازی و برنامه ریزی وارد شوند. این برنامه ها همانند برنامه پاسخ بار روز قبل در NYISO می باشد که در آن مشتریان میزان بار وقفه پذیر خود بصورت مگاوات و قیمت آنرا بر اساس روز قبل پیشنهاد می دهند. اگر این پیشنهادات با توجه به مسائل امنیتی پذیرفته شوند، مشتریان می بایست کاهش بار خود را در روز بعد اجرا کنند و اگر آنها بار خود را کاهش ندهند جریمه می شوند.

در شکل دوم مشتری به عنوان یک دریافت کننده قیمت[1] عمل می کند. یک مثال خوب از این برنامه ، برنامه های پاسخ قیمت زمان واقعی در ISO-NE می باشد. شرکت کنندگان در این برنامه ها اگر مصرف خود را به محض مطلع شدن کاهش دهند به آنها قیمت تسویه بازار (MCP[2]) پرداخت می شود.. صرف نظر از اینکه مقدار آن چقدر است. یکی از مشکلات مربوط به این برنامه ها تعیین مسئول هزینه پیشنهادات پذیرفته شده است. انجمن ملی قانون گذاری آمریکا[3] در سال ۲۰۰۲ بررسی های زیادی درباره این مسائل صورت گرفت ولی در پایان اعلام شد که به هیچ توافقی نرسیدند و نیاز به بررسی بیشتر دارد. این مسائل از سال ۲۰۰۶ تا اکنون در PJM وجود دارد. برای مثال در مورد اخیر AEP ادعا کرده است که اگر چه پرداخت های تشویقی برای آغاز یک برنامه موثر است ولی استفاده مداوم از تشویق های اقتصادی برای برنامه های مداوم نامناسب می باشد[۳].

۱-۲-۱-٦-خدمات جانبی:

برنامه های خدمات جانبی آخرین نوع پاسخ بار مبتنی بر تشویق می باشد. این برنامه ها به مشتریان اجازه می دهد تا به ISO و یا TSO ها به منظور تأمین رزرو عملیاتی پیشنهاد قیمت بدهند. (با کاهش بار خود) اگر پیشنهاد آنها پذیرفته شود، به آنها بابت آماده به کار بودن، قیمت بازار پرداخت می شود. اگر بار وقفه پذیر آنها موردنیاز باشد آنها توسط ISO یا TSO فراخوانی می شوند و ممکن است قیمت انرژی در بازار لحظه ای[4] به آنها پرداخت شود. در بخش ۱- ۴ درباره خدمات جانبی با جزییات بیشتر بحث می شود.

۱-۲-۲-نرخ های مبتنی بر زمان :

شکل (۱-۳) نرخ های مبتنی بر زمان را در یک روز نشان می دهد. بطور تاریخی شرکتهای ارائه کننده حجم کوچک یا کم، مشتریان مسکونی و تجاری از یک نرخ یکسان، مبتنی بر میانگین هزینه تأمین انرژی برای این

[1] Price-taker
[2] Market Clearing Price
[3] National Association of Regulatory Utility Commissioners

[4] Spot

مشتریان برخوردار می باشند. اما امروزه نرخ ها می بایست جوانمردانه، ساده، قابل قبول، موثر، شفاف و بدون ایجاد تبعیض و کارا باشد. رگولاتور مسائل مربوط به تعادل موارد گفته شده را انجام می دهد که بازتاب رقابت در میان مشتریان و شرکت ها می باشد.

شرکتها یا LSE ها برای تأمین بار مشتریان خود توان موردنیاز را از طریق قراردادهای بلندمدت با نیروگاه های خصوصی، یا خرید از یک بازار عمده فروشی لحظه ای که مبتنی بر قیمت های برق در بازارهای روز قبل یا زمان واقعی می باشد خریداری می کنند. از آنجایی که قیمت ها در طول زمان متفاوت می باشد به یک قیمت میانگین برای پاسخ مشتریان نیاز می باشد، تا ریسک تأمین کننده ها را کاهش دهد بگونه ای که آنها از آزادی عمل در بازار عمده فروشی برخوردار باشند.

اقتصاددانان و سیاستمداران بازار به طور وافر به نرخ های مبتنی بر زمان برای مشتریان خود علاقه مند می باشند(قیمت های پویا) که این موضوع در عمل باعث ایجاد ارتباط بین عمده فروشی و خرده فروشی می شود. اولین مسئله جهت داخل کردن نرخ های مبتنی بر زمان در بازارهای خرده فروشی برق ارسال سیگنالهای قیمت به مشتریانی است که تحت این افزایش قیمت قرار گرفته اند. بوسیله نمایش قیمت های مبتنی بر هزینه های تولید مرزی ، منابع را می توان با بازدهی بالاتری اختصاص داد. علاوه بر این پاسخ تقاضا مبتنی بر قیمت می تواند توسط فراهم کنندگان خرده فروشی هم در محیط های تجدید ساختار یافته و هم غیر تجدید شده مورد استفاده قرار گیرد تا با استفاده از آن بین هزینه ها و انرژی مصرف شده تعادل برقرار شود. با قیمت های یکنواخت برق که مبتنی بر هزینه ها است، نمی توان مشتریان را از مصرف زیاد آنها که باعث افزایش قیمت برق شده است آگاه کرد. یعنی قیمت برق از میزان میانگین بالاتر است و مصرف آنها جاهایی که قیمت برق کم می باشد پایین است. با توجه به مطالب گفته شده کاهش بار در نتیجه قیمت مبتنی بر زمان نمی تواند هنگام کمبود توان باعث کاهش قیمت در بازار عمده فروشی، شود [۳].

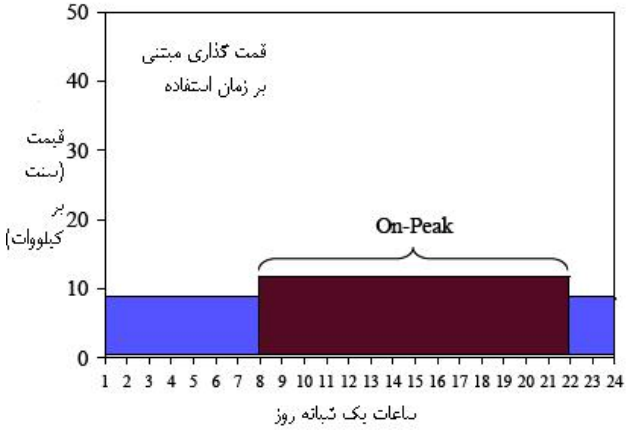
نرخ ها و قیمت گذاری های مبتنی بر زمان شامل، نرخ های زمان استفاده[1] ، قیمت پیک بحرانی[2] و قیمت زمان واقعی[3] می باشد. که هر یک ساعتی را که مشتریان با نرخ های مبتنی بر زمان روبه رو می شوند را شرح می دهد.

۱-۲-۲-۱-نرخ های زمان استفاده :

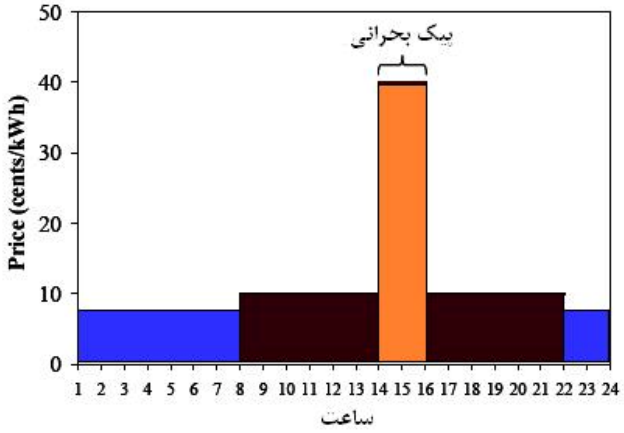
نرخ های مبتنی بر زمان استفاده همان نرخ های متغیر با زمان می باشد که اغلب برای مشتریان خانگی تهیه می شود. بسیاری از مشتریان در معرض این نرخ ها قرار می گیرند که ممکن است بصورت فصلی و یا هر ۶ ماه یکبار تغییر کند. برای مثال ، یک شرکت توزیع در تابستان نرخ بیشتری را نسبت به سایر زمان ها از مشتریان

[1] Time of use (Tou)
[2] Critical peak price (CPP)
[3] Real Time Prrice (RTP)

درخواست کند، یا اینکه مبلغ مطالبه شده جهت تأمین بار پیک در تابستان با مبلغ مطالبه شده ناشی از مصرف همان میزان بار در ساعت خاموش بودن پیک[1] در طول ۶ ماه یکسان باشد. این همان نرخ مبتنی بر زمان استفاده می باشد. نرخ های بسیار حساس تر برای دوره های ۲ یا چند روزه در نظر گرفته می شود که بازتاب کننده نرخ های متفاوت در ساعات مختلف، پیک و غیر پیک می باشد. تعریف دوره های Tou بطور گسترده در بین شرکت ها متفاوت می باشد، زیرا Tou بر اساس زمان پیک سیستم در طول یک روز، هفته یا سال تعیین می شود. و در بسیار از اوقات نرخ Tou فقط دارای دو قیمت است قیمت پیک و قیمت غیر پیک این در حالی است که سایر تعرفه ها شامل یک دوره کوتاه تر یا نرخ پیک جزیی می باشند. همچنین برخی از تعرفه ها برای یکسال و برخی برای ۶ ماه در سال تعیین می شوند[۴].

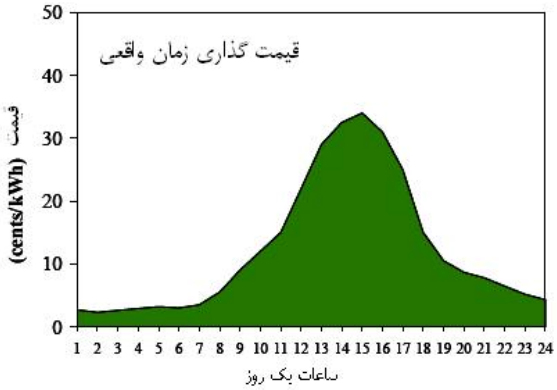


شکل(۱-۲): نرخ های زمان استفاده[۳و۴]



شکل (۱-۳): قیمت گذاری پیک بحرانی[۳و۴]

[1]Off peak



شکل(۱-۴): قیمت گذاری زمان واقعی[۳و۴]

۱-۳-نقش پاسخ تقاضا در بازارخرده فروشی وعمده فروشی :

فراهم کردن پاسخ در سمت تقاضا[۱] همانند سمت عرضه[۲] منجر به افزایش بازدهی بازار برق از نظر اقتصادی و بهتر شدن پایایی سیستم می شود. البته نیاز نیست که همه مشتریان به طور همزمان به بازار پاسخ دهند تا به وسیله کاهش قیمت به سود مناسب دست یابند.

یک مطالعه انجام شده در سال ۲۰۰۲ [۶] پیشنهاد می کند که انتقال ۵ تا ۸ درصد از مصارف به ساعت های غیر پیک و برش ۴ تا ۵ درصد تقاضای پیک می تواند برای شرکت ها ،تاجرها و مصرف کنندگان بیش از ۱۵ میلیارد دلار در سال ذخیره کند. بعضی ها نیز به این نتیجه رسیدند که فقط کسری از مشتریان ،شاید ٪۵ ، برای تنظیم قیمت های بازار برق، کافی است در برنامه های پاسخ تقاضا شرکت کنند.

ائتلاف پاسخ تقاضا و اندازه گیری پیشرفته در آمریکا (DRAM[۳]) بیان کرده است که ، پاسخ تقاضا به طور نمونه قادر است کاهش تقاضایی در حدود ۳-۵ درصد بار پیک برای مدت زمان ۱۰۰ ساعت و یا بیشتر در یک سال فراهم کند.در کالیفرنیا ۸۰ درصد کاهش بار از طرف ۳۰ درصد مشتریان فراهم می شود.

همچنین DRAM اظهار می کند که صنایع تمایل دارند بار را به عنوان یک داده (معین) صرفنظر از قیمت آن بگیرند. اما بازارهای برق زمانی به خوبی کار می کنند که قیمت ها توسط تامین کننده ها[۴] و متقاضیان[۵] محدود شوند.

برنامه های پاسخ تقاضا بازارهایی را با ابزارهای کمکی (بازارهای ثانویه[۶]) جهت پاسخ به قیمت و یا کمبود ظرفیت فراهم می کند. DRAM معتقد است که بازارهای بدون ابزارهای پاسخ تقاضا، همواره توان بیشتری را نسبت به نیاز خود استفاده می کنند.

---

[1] demand-side
[2] supply-side
[3] Demand Response and Advanced Metering Coalition (DRAM)
[4] supply
[5] demand
[6] Second market

از فواید دیگر پاسخ تقاضا امکان کاهش و متعادل کردن[1] قدرت بازار و ارائه راهکار هایی با حداقل هزینه جهت برطرف کردن تراکم در شبکه می باشد.

نقش هر کدام از نرخهای پاسخ تقاضا، نرخ های مبتنی بر زمان یا مبتنی بر تشویق بر روی تصمیم گیری در سیستم و امنیت آن به نمودار زمانی پاسخ تقاضا بستگی دارد. برای مثال قیمت گذاری زمان حقیقی یا قیمت گذاری پیک بحرانی که مستقیماً به قیمت های بازار عمده فروشی بر می گردد (بازتاب قیمت های عمده فروشی است) برنامه ریزی تولید را در بازار روز قبل و زمان حقیقی تحت تاثیر قرار می دهد. نرخهای مبتنی بر زمان استفاده به عنوان یک محرک سریع و یا پاسخ بزرگ در نظر گرفته نمی شود. منابع بار مبتنی بر تشویق همچون کنترل مستقیم بار ،ظرفیت و برنامه های خدمات جانبی را می توان به عنوان رزرو در برنامه ریزی روز قبل یا زمان واقعی و یا به عنوان منابع ظرفیت در تصمیم گیری سیستم به خاطر تاثیرات بلند مدت پاسخ تقاضا در نظر گرفت.

۱-٤- پاسخ تقاضا و بازار خدمات جانبی

از پتانسیل های مهم پاسخ تقاضا ، استفاده از آن به عنوان ذخیره چرخان می باشد. در این صورت به جای اینکه رزرو مورد نیاز را توسط تولید فراهم کرد با پاسخ تقاضا می توان کمبود را جبران نمود.

رزرو چرخان نوعی از رزرو تولید است که جهت اطمینان از پایایی شبکه در هنگام وقوع حوادثی مانند از مدار خارج شدن خط یا واحد تولیدی، به عنوان رزرو در نظر می گیرند. به عنوان نمونه کاهش تولید ناشی از خروج یک ژنراتور ، بلافاصله و در چندین ثانیه به وسیله سایر نیروگاهها جبران می شود.

استفاده از بار به عنوان رزرو چرخان چند فایده دارد[۷] :

- هنگامی که شبکه دچار تراکم شده است، بهره بردار شبکه مجبور نیست واحد تولیدی خاصی را به عنوان رزرو درنظر بگیرد.
- تأثیر کاهش بار محلی برروی تنظیم ولتاژ بسیار بزرگتر از افزایش تولید در یک محل دور دست می باشد.
- پاسخ تقاضا، پتانسیل وجود رزرو نسبتاً بزرگی را برای شبکه فراهم می کند.
- باعث کارایی و انعطاف پذیری و عملکرد بهتر شبکه می شود. [۷]

مخابرات (ارتباطات)و کنترل از ملزومات اساسی جهت برخورداری ازتوانائی لازم به منظور تامین خدمات پایائی را می باشد. بار می بایست کنترل پذیر باشد، همچنین کنترل می بایست دقیق وسریع باشد. بارها نیز همچنین می بایست امکانات لازم جهت دریافت فرمان آمادگی از طرف بهره بردار شبکه را داشته باشند. خدمات سریع (مثل رزرو چرخان و رگولاسیون) نیازمند پاسخ اتوماتیک به فرمانهای بهره بردار سیستم می

[1] mitigate

باشد. رزرو چرخان همچنین نیاز است که بار را حس کند و سپس به طور خود مختار به افت فرکانس پاسخ دهد. سرعت و زمان پاسخ تقاضا به نوع سرویسی که قرار است فراهم شود، بستگی دارد.

از نمای بار ویژگی های اضافی مهم شامل حساسیت به قیمت و ظرفیت ذخیره می باشد (میزان باری را که می تواند قطع کند). ذخیره تولید یا انرژی در بار، به وسیله آزادی بار قابل اندازه گیری است و اولین فاکتور جهت پاسخ به نیازهای شبکه آسیب ندیدن بار می باشد. حساسیت به قیمت نیز به علاقه بار بستگی دارد.

بارهای وابسته به شرایط هوا (مسکونی و تجاری اعم از متمرکزو پراکنده) می تواند فراهم کننده ایده آل خدمات چرخان و غیر چرخان باشد. بسیاری از بارهای پمپی گزینه های مناسبی جهت فراهم کردن پاسخ بار می باشند (آب ،گازو دیگر گازها).هر فرآیند صنعتی با انعطاف پذیری ساخت نیز گزینه مناسبی است. (سیمان ،کاغذ ،فولاد وآلومینیوم تصفیه کننده ،مایع کننده هوا وغیره) لیست آنها بی پایان است.

البته تأمین رگولاسیون برای بارها بسیار مشکل است اما بارهای الکترولیزی مانند آلومینیوم به نظر می رسد که کاندیداهای مناسبی می باشند. همچنین با توسعه مخابرات و تکنولوژی های کنترلی، پاسخ سریع بارهای پاسخی را امکان پذیر می سازد. برای مثال بارهای مسکونی متناسب با شرایط جوی گزینه بسیار مناسبی جهت رزرو چرخان می باشند یعنی آنها به راحتی می توانند پیک بار را کاهش دهند.

یک خاصیت اساسی برای بارهای پاسخی که تعیین کننده مناسب بودن آنهاست ،میزان بار قابل ذخیره کردن آنها می باشد. ذخیره ممکن است در ترمهای، یک کارخانه در حال تولید کردن، گرمایش یک ساختمان، فشار در یک لوله گاز،آب موجود در منابع یا هر چیز دیگری که برای تولید آن از الکتریسیته استفاده می شود، باشد. عموماً به اندازه کافی در مناطق مسکونی ذخیره گرمای وجود دارد تا به بارهای وابسته به شرایط جوی اجازه دهد تا برای ۱۰ تا ۱۲ دقیقه خاموش شوند. قطع کردنهای طولانی تر ممکن است زمانی قابل پذیرش باشند که تعداد دفعات تکرار آن کم باشد. نیاز شبکه به رزرو چرخان اغلب حدود ۱۰ دقیقه می باشد و به ندرت یک ساعت و یا بیشتر می باشد. کاهش پیک بار عموماً نیازمند پاسخ در چندین ساعت است و حداقل تکرار در چندین روز می باشد. فراهم کردن هشدار توسعه یافته[1] باعث افزایش توانایی بارهای خانگی جهت پشتیبانی کردن پاسخ های با زمانهای طولانی ترمی باشد[۷و۱].

بلوکه کردن بارهای پاسخ پذیرکه بهترین گزینه جهت فراهم کردن پایائی می باشد ، هم برای سیستم و هم برای بارها بد می باشد. این کار مانع از حضور یک منبع عالی جهت تأمین پایائی در شبکه سیستم های قدرت در مواقع ضروری می باشد و آن مانع از حضور بار جهت تأمین بسیاری از خدمات پاسخ ارزش پذیر (با ارزش)می شود.

[1] advance warning

رزرو رگولاسیون یک خدمت جانبی بسیار گران قیمت می باشد به همین خاطر برای بارهائی که توانائی تأمین آنرا دارند شرکت در بازار رگولاسیون بسار جالب است. البته فرمانهای AGC (کنترل اتوماتیک واحدها) عموماً از طرف بهره بردار سیستم به ژنراتورهای مسئول تآمین رزرو رگولاسیون در هر ۴ ثانیه فرستاده می شود. بسیاری از بارها ممکن است دارای توانائی ذاتی جهت تأمین رگولاسیون داشته باشند .بارهایی را که بتوان بصورت الکتریکی کنترل کرد داری پتانسیل تعقیب فرمانهای AGC را می باشند.

اغلب واحدهای حرارتی نمی توانند نیازهای رگولاسیون را دنبال کنند مانند شکل۳-۱.

شکل۳-۱: نیروگاههای حرارتی قادر به دنبال کردن نوسانات توان(تأمین رگولاسیون) نمی باشند[۸].

یک بار با کنترل حالت جامد[1] می تواند به راحتی فرمانهای رگولاسیون را کنترل کند و این ممکن است نیازهای سیستم به رگولاسیون را کاهش دهد. اگر بار هزینه افزایشی[2] (IC) کمی را جهت پاسخ متحمل شود می تواند منبع رگولاسیون ارجعی باشد. بارهای با سرعت تنظیم بالا یا تأمین کنندگان توان حالت جامد جزو بهترین گزینه ها می باشد. کمیت تولید شده باید از نرخ مصرف انرژی الکتریسیته مستقل باشد و این بدین منظور می باشد که به بهره بردار شبکه اجازه می دهد که مصرف انرژی الکتریکی را تنظیم کند. کارائی انرژی می تواند به وسیله نرخ مصرف انرژی الکتریکی تحت تأثیر قرار گیرد. کاهش بازده به طور ساده بر روی هزینه رگولاسیون تأثیر می گذارد.

افزایش ظرفیت تولید به بارها جهت فراهم کردن رگولاسیون نیاز دارد. بار می بایست از سمت تولید کاملاً به عقب باز گردد و به طور متوسط پائین تر از تولید باشد و این به منظور داشتن ظرفیت کافی است، مقداری بیشتر از بار می باشد. به طور مشابه بار نمی تواند در حداقل تولید باشد زیرا می بایست اتاق هائی[3] وجود داشته باشد تا در مواردیکه نیاز است مصرف را کاهش دهد[۱و۵].

[1] solid state
[2] Incrimental cost
[3] room