

فصل سوم

پاسخگویی بار در شبکه هوشمند

**Load Responding in the Smart
Grid**

-مقدمه:

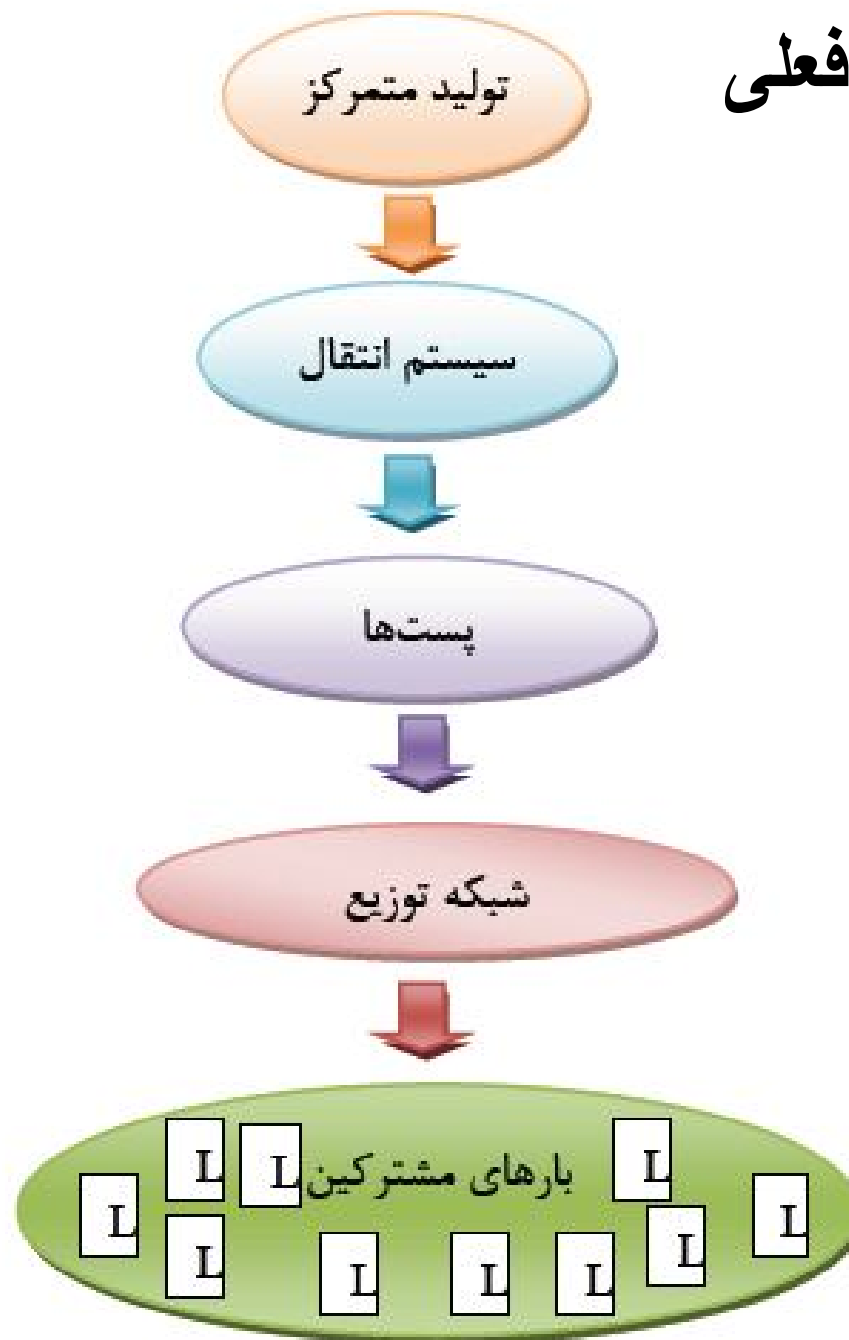
در شبکه برق سنتی برنامه های مدیریت مصرف به منظور فائق آمدن بر برخی مشکلات سیستم قدرت مورد استفاده قرار میگرفت. در این بین برنامه های پاسخگویی بار نیز به عنوان بخشی از این برنامه ها مطرح بود. اما پس از تجدیدساختار سیستم های قدرت، این برنامه ها به دلیل عدم تطابق هایی که با ماهیت بازار داشت، رفته رفته کنار گذاشته شدند. اما پس از مدتی بدلیل مشکلات بوجود آمده مانند عدم ثبات قیمت ها، اجرای مجدد برنامه های مدیریت مصرف، مجدداً مورد توجه قرار گرفتند. اینبار این برنامه ها به گونه ای که با ساختار مدیریت شبکه هوشمند همخوانی داشته باشد، تغییر یافتند.

در شبکه هوشمند برنامه های پاسخگویی بار بخش عمده ای از برنامه های مدیریت مصرف را تشکیل می دهد. زیرا ماهیت این برنامه ها برای تطبیق با ساختار جدید مدیریت سیستم قدرت بسیار مناسب می باشد.

امروزه شرکت های برق در سراسر جهان با مشکلات زیادی روبرو می باشند. 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 نمی گردد. 8% از خروجی توان نیروگاهها در حین انتقال به بارها تلف میشود. 20% از ظرفیت نیروگاهی فقط برای ساعات اوج بار مورد استفاده قرار میگیرند (دوره ی اوج در 5% از کل زمان رخ می- دهد). همچنین کمبود های انرژی و آلاینده های زیست محیطی از جمله ی این مشکلات میباشند. شبکه برق فعلی ذاتاً دارای ارتباط یک طرفه می باشد. علاوه به علت ساختار سلسله مراتبی، شبکه برق موجود از خطاهای سلسله وار رنج می برد. اینگونه مشکلات با وجود شبکه برق فعلی قابل حل نخواهند بود.

شبکه هوشمند ، با هدف رفع مشکلات شبکه های برق فعلی و مدیریت بهتر و کارآمدتر سیستم قدرت مطرح شدند. این شبکه ها امکان پایش کامل و کنترل لحظه به لحظه تجهیزات را برای شرکت های برق فراهم میکند. انتظار می رود که ایجاد این شبکه ها کنترل و بهره برداری سیستم قدرت را بهبود ببخشد و امکان استفاده گسترده از تولیدات پراکنده را فراهم کنند. 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 راه های جدید جهت انجام مبادلات اقتصادی انرژی در سیستم قدرت، یاری خواهند کرد.

ساختار سیستم قدرت فعلی



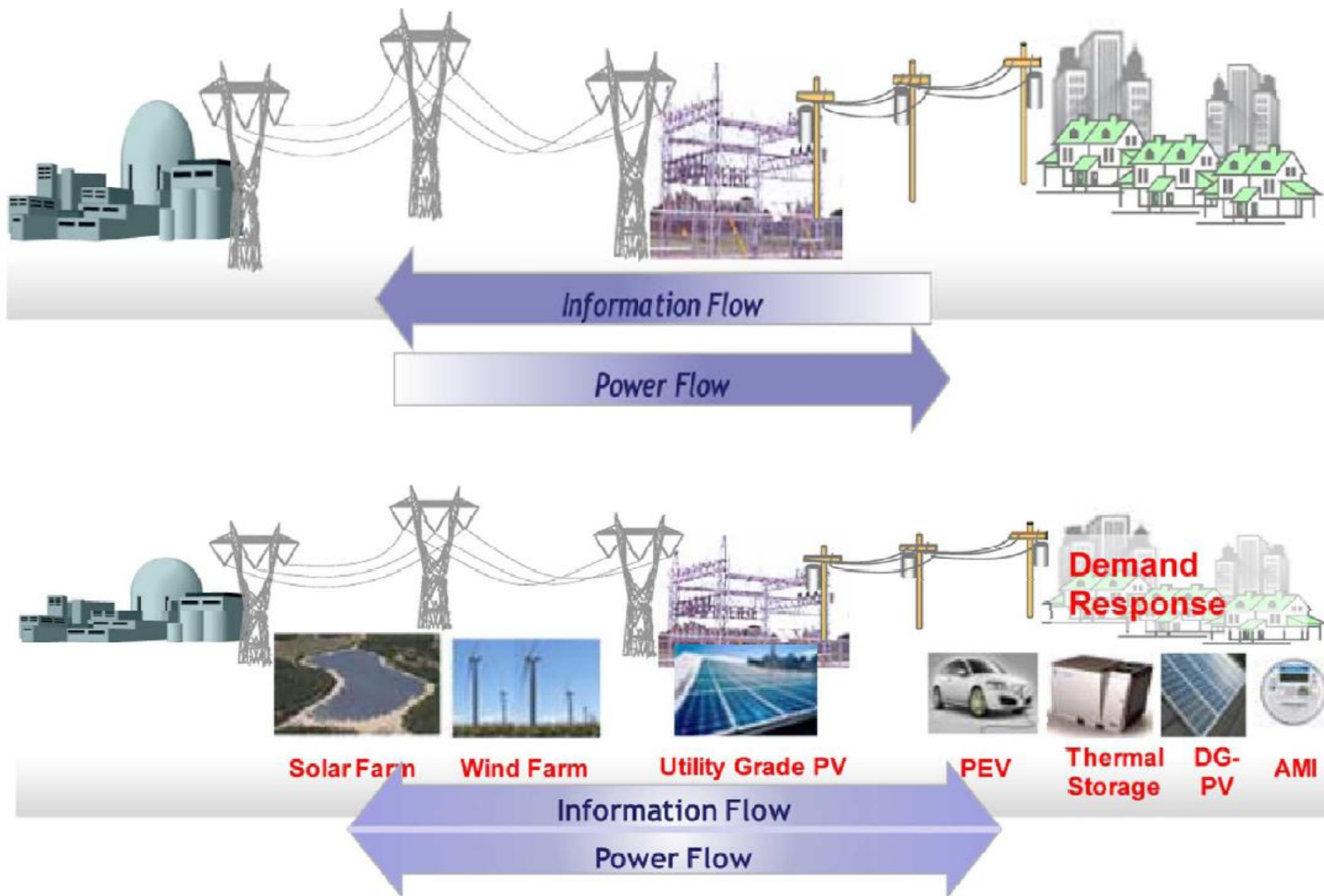
مقایسه شبکه هوشمند با شبکه برق فعلی

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

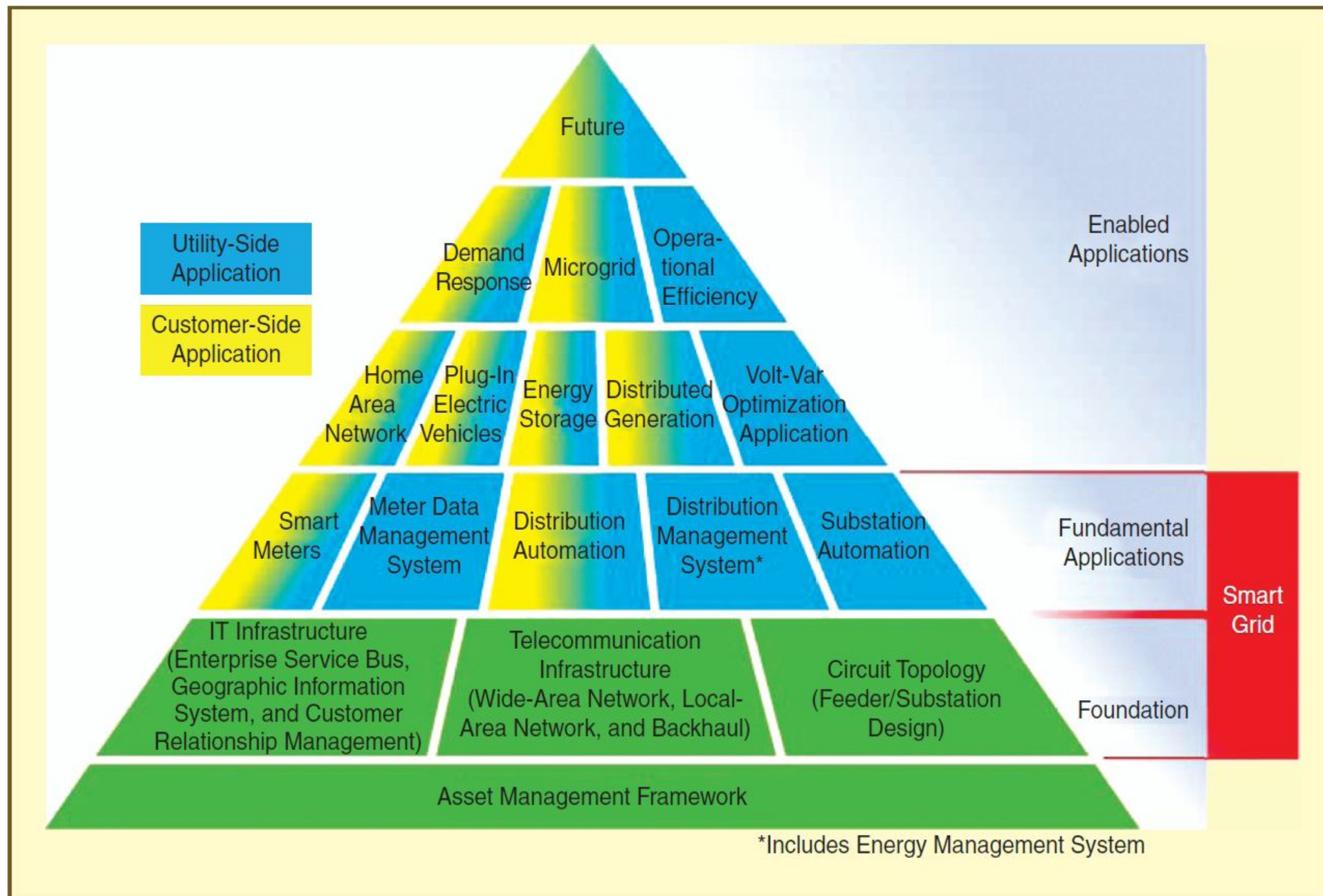
عوامل مؤثر در شکل گیری مفهوم شبکه هوشمند



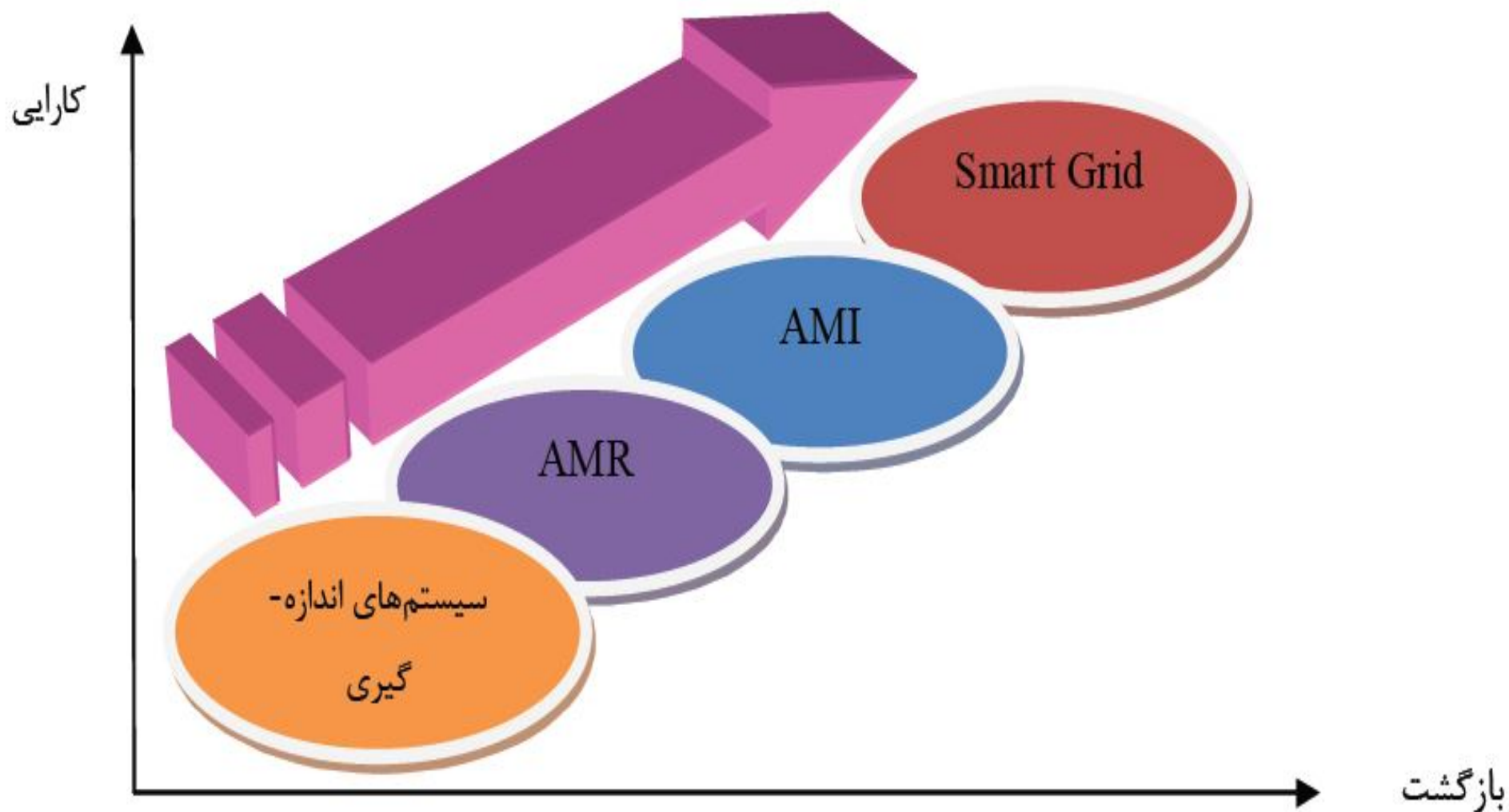
مقایسه شبکه برق سنتی با شبکه هوشمند



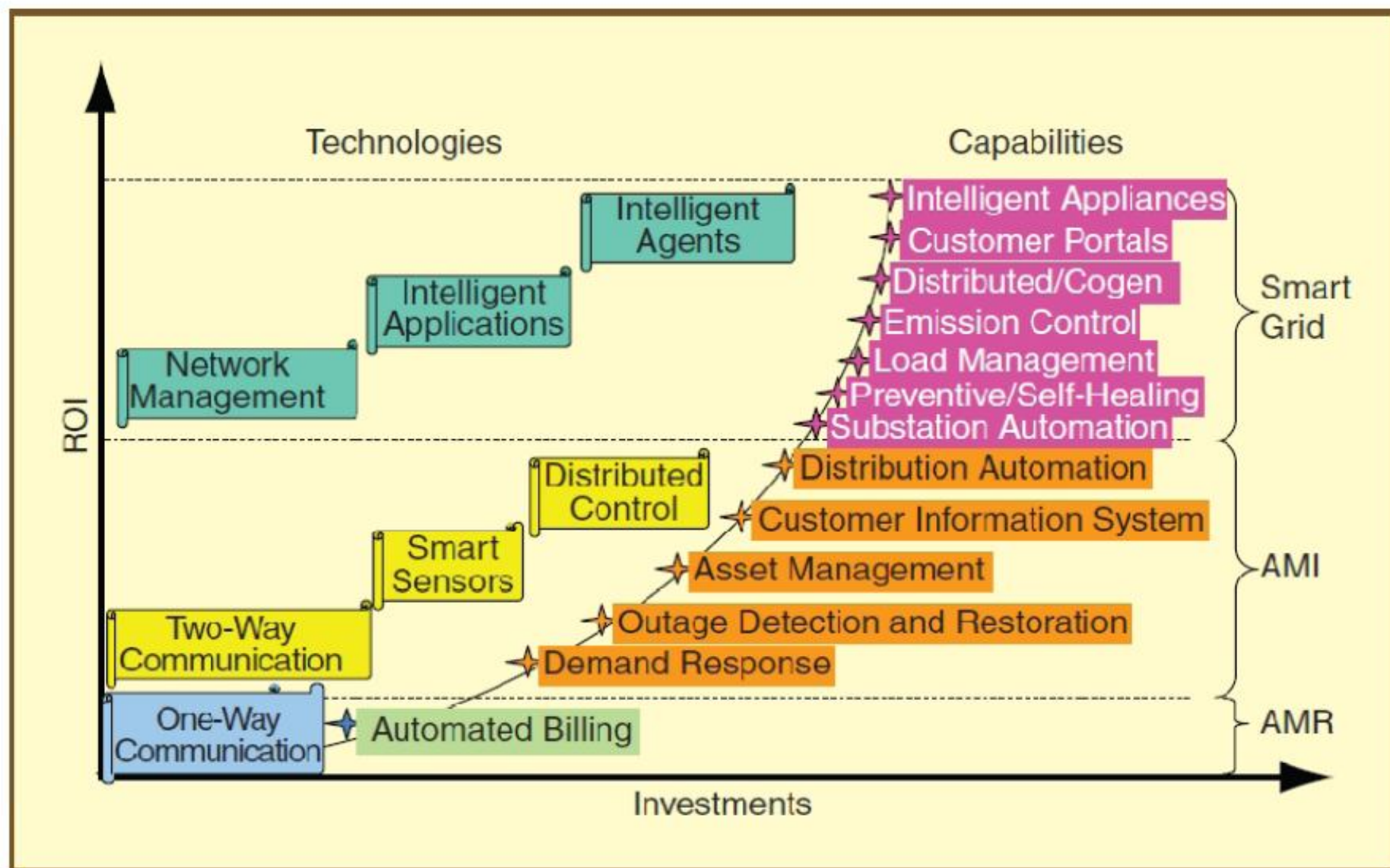
روند تکاملی از شبکه برق سنتی به شبکه هوشمند



روند تکاملی از شبکه برق سنتی به شبکه هوشمند در زمینه سیستم های اندازه گیری



مزایای سیستم‌های AMI و AMR

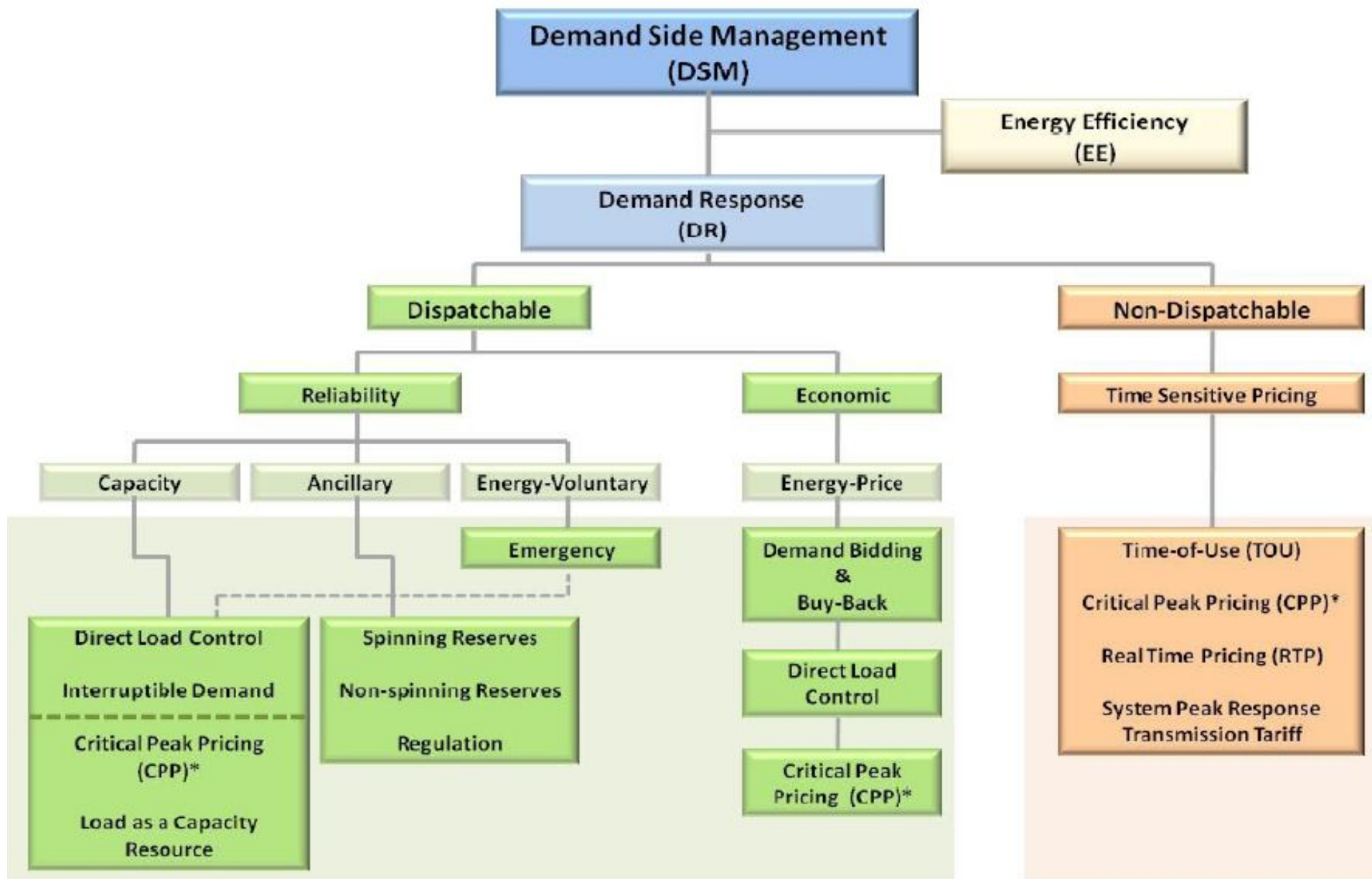


مدیریت سمت مصرف:

برنامه های پاسخگویی بار دربرگیرنده روشهایی از DSM (Demand-Side management) است که به تغییر میزان مصرف مشتریان در اثر تغییر قیمت برق در بازار اطلاق میشود. گفتنی است که برخی از چنین برنامه هایی در سیستم سنتی برق نیز در قالب کنتورهای چندتعرفه به کار میرود. اقتصاددانان بر این اعتقاد هستند که تغییر قیمت ها روش مناسب برای ترغیب مصرف کنندگان در مصرف بهینه خود میباشدند. اینگونه قیمت گذاری برق سبب ایجاد دو تغییر بلند مدت و کوتاه مدت در الگوی مصرف بار میشود. در درازمدت، قیمت بالای برق سبب صرفه جویی در مصرف برق می شود. چنانچه اختلاف قیمت بین تعرفه های ساعات اوج با ساعات کم باری زیاد باشد، مصرف کنندگان به نصب وسایل ذخیره کننده ی انرژی تشویق میشوند تا بتوانند به این طریق از مصرف انرژی الکتریکی در ساعات پرباری که قیمت برق بالاست جلوگیری کنند. بنابراین در دراز مدت ایجاد تعرفه های مختلف برای مصرف برق سبب بالاتر رفتن بهره وری انرژی مصرفی میشود. همچنین در کوتاه مدت، برخی از مشتریان امکان کاهش مصرفشان و یا انتقال این مصرف به ساعات کم باری را دارا میباشند. به عنوان مثال یک مصرف کننده ی صنعتی، چنانچه تولید محصول در ساعات اوج مصرف برق با توجه قیمت برق در این ساعات، برایش سودآور نباشد، از تولید کالای خود در این ساعات صرفه نظر خواهد کرد.

برنامه های مدیریت سمت مصرف به دو دسته تقسیم می شوند:

(1) برنامه های افزایش بهره وری انرژی (2) برنامه های پاسخگویی بار



افزایش بهره وری انرژی:

افزایش بهره وری انرژی، استفاده از انرژی کمتر برای تأمین سطح یکسان و یا بهبود یافته ای از خدمات برای مصرف کننده با یک روش مناسب اقتصادی می باشد. به عبارتی افزایش بهره وری انرژی به معنای کاهش مصرف انرژی در تمامی بازه های زمانی و نه تنها در ساعات اوج بار می باشد. این کاهش مصرف از طریق تغییر در مسائل فنی و بهره برداری قابل حصول می باشد.

پاسخگویی بار:

پاسخگویی بار، تغییر در مصرف انرژی الکتریکی توسط مصرف کنندگان از مقدار عادی الگوی مصرف در پاسخ به تغییر در قیمت برق در طی زمان و یا هزینه های تشویقی تعیین شده برای کاهش مصرف برق، در ساعاتی که قیمت برق در بازار بالا و یا قابلیت اطمینان سیستم در خطر است، می باشد.

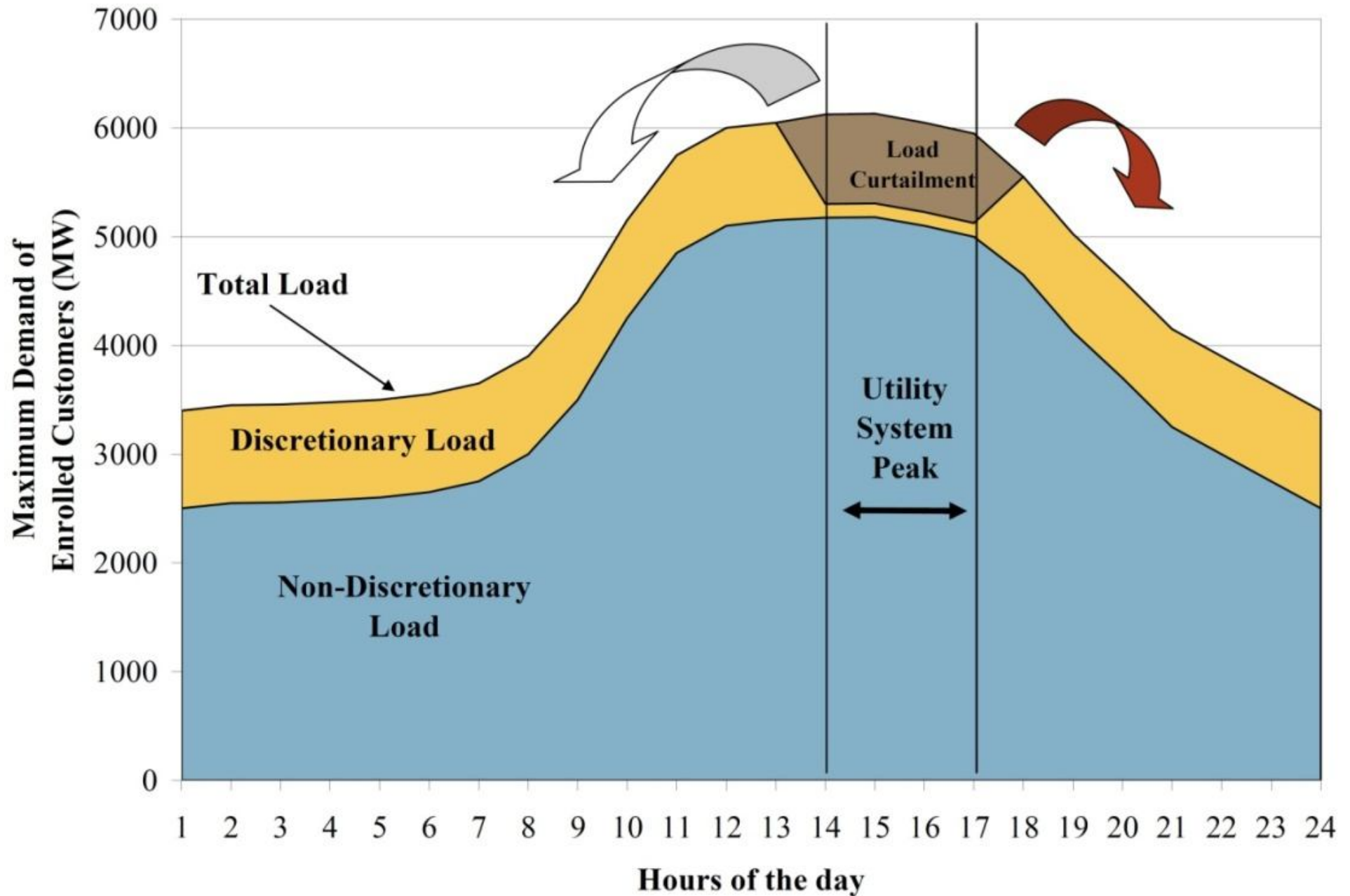
بطور کلی هدف از پاسخگویی بار، کاهش مصرف برق در ساعات بحرانی می باشد. ساعات بحرانی ساعاتی هستند که قیمت بازار عمده فروشی بسیار بالا و یا سطح ذخیره ی سیستم - به دلیل وقوع پیشامدهای اتفاقی مانند برون رفت خطوط انتقال و ژنراتور و یا شرایط آب و هوایی شدید- پائین می باشد.

دو عاملی که می توانند سبب پذیرش پاسخگویی از سمت مصرف کنندگان شود، تغییر در قیمت برق در سطح خرده فروشی به عنوان نمایانگر طبیعت متغیر قیمت واقعی برق و یا اجرای برنامه ای تشویقی به منظور راضی کردن مشتریان برای کاهش مصرفشان در ساعات بحرانی می باشد. این هزینه تشویقی جدا از قیمت عادی پرداخت شده برای برق می باشد، این تشویق می تواند پرداخت مبلغی به مصرف کننده برای کاهش بار، تعیین جریمه برای عدم کاهش بار و یا هردو باشد. پاسخگویی بار در واقع تغییر در رفتار مصرفی بارها در پاسخ به یک محرک می باشد.

به طور کلی، پاسخگویی بار میتواند شکل مصرف انرژی الکتریکی را به نحوی تغییر دهد که بار پیک سیستم کاهش یافته و مصارف به ساعات غیرپیک منتقل شوند.

انرژی الکتریکی در سطح سیستم قدرت به طور گسترده قابل ذخیره سازی نمی باشد، بنابراین مقدار ظرفیت در دسترس تولید در تمامی زمان ها می بایست برابر و یا بیشتر از مقدار بار کل مصرف کننده های سیستم باشد.

تأثير برنامه هاي پاسخگويي بار بر منحنى بار مصرفى مشتريان

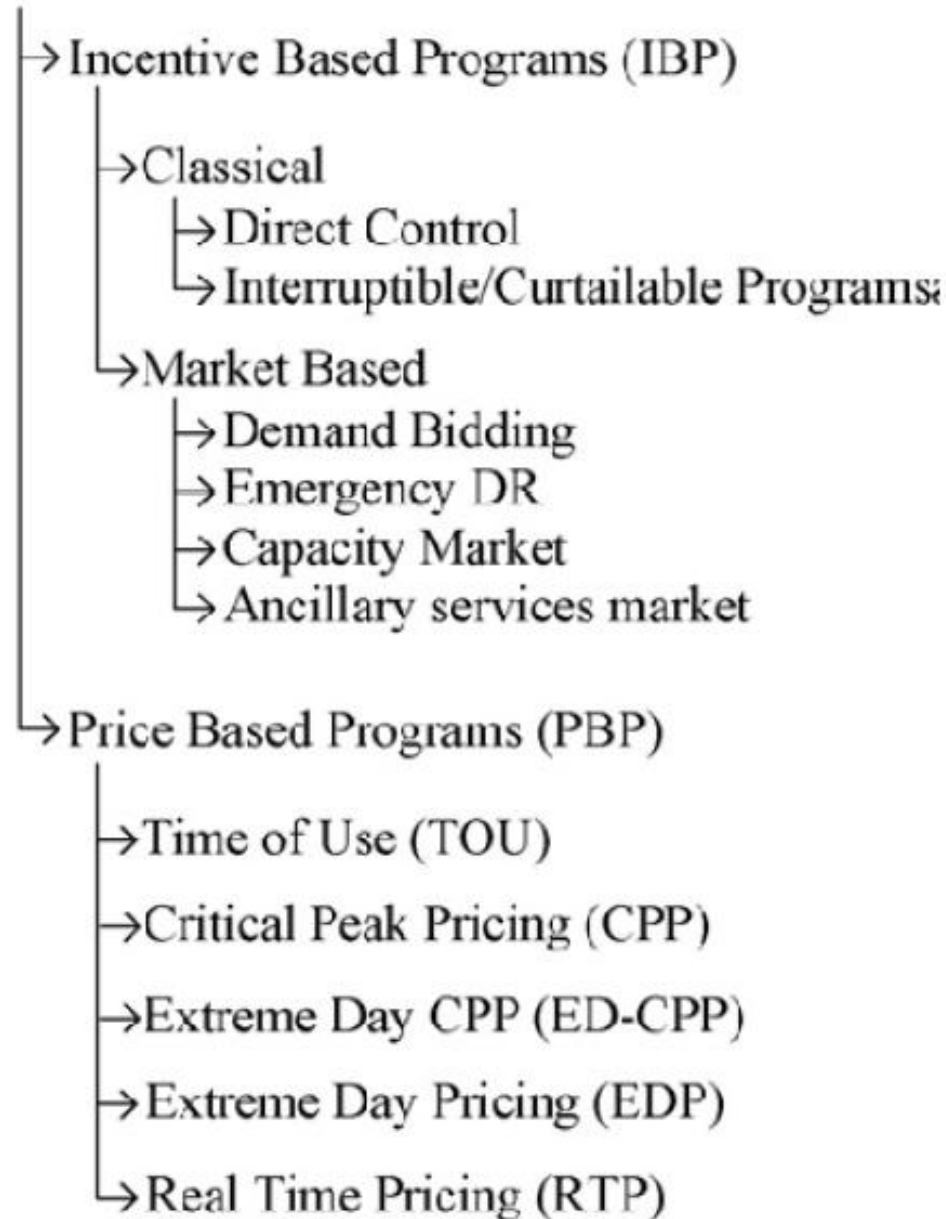


به طور کلی روش های پاسخگویی بار را می توان به دو دسته ی کلی تقسیم بندی کرد:

(1) برنامه های پاسخگویی بار مبتنی بر قیمت برق

(2) برنامه های پاسخگویی بار مبتنی بر تشویق

Demand Response Programs



پرواضح است قیمت برق می بایست به گونه ای عادلانه، ساده و قابل قبول از دیدگاه مصرف کنندگان، شرکت های برق و اجتماع تعیین شود. شرکت های برق از طریق عقد قراردادهای بلندمدت، استفاده از تولیدات داخلی (تولیدات پراکنده) و یا خریدن برق از بازار لحظه ای موظف به تامین برق موردنیاز مشتریان خود میباشند. از آنجا که قیمت برق با توجه به زمان و مکان متغیر م یباشد، دریافت قیمت برق با نرخ ثابت از مشتریان، برای شرکت های برق که با متغیر بودن قیمت برق بازار عمده فروشی روبرو هستند، ایجاد ریسک می نماید.

اقتصادانان بر این باورند که اعمال قیمت واقعی برق به مصرف کنندگان سبب افزایش کارایی خواهد شد. بنابراین ایده ی اولیه این قیمت گذاری های پویا اعمال قیمت واقعی برق به مصرف کنندگان بوده است. از طرفی دیگر اعمال تعرفه های متغیر با زمان چه در سیستم قدرت تجدیدساختاریافته و چه در سیستم های سنتی، سبب بهبود منحنی مصرف بارها و کاهش بار در ساعات اوج مصرف می شود.

مدل هاي قابل اجرا براي مدیریت بار و انرژی در شبکه هوشمند

1- پاسخگویی زمان استفاده (TOU):

این برنامه از طریق کنتورهای الکترومکانیکی قدیمی قابل اجرا نمی باشد. این روش به نوعی نوسانات قیمت را در غالب چند تعرفه ي کلی به بارها اعمال می کند. یکی از مشکلات اساسی در کنتورهای سه زمانه فعلی، تنظیم اولیه آنها م یباشد که باید تا پایان دوره بر آن اساس کار کنند. یعنی امکان تغییر ساعات دوره ها برای تمامی کنتورها دشوار می باشد.

الف- اندازه گیری انرژی مصرفی مشترکین را در سه بازه زمانی کم باري، میان باري و اوج بار

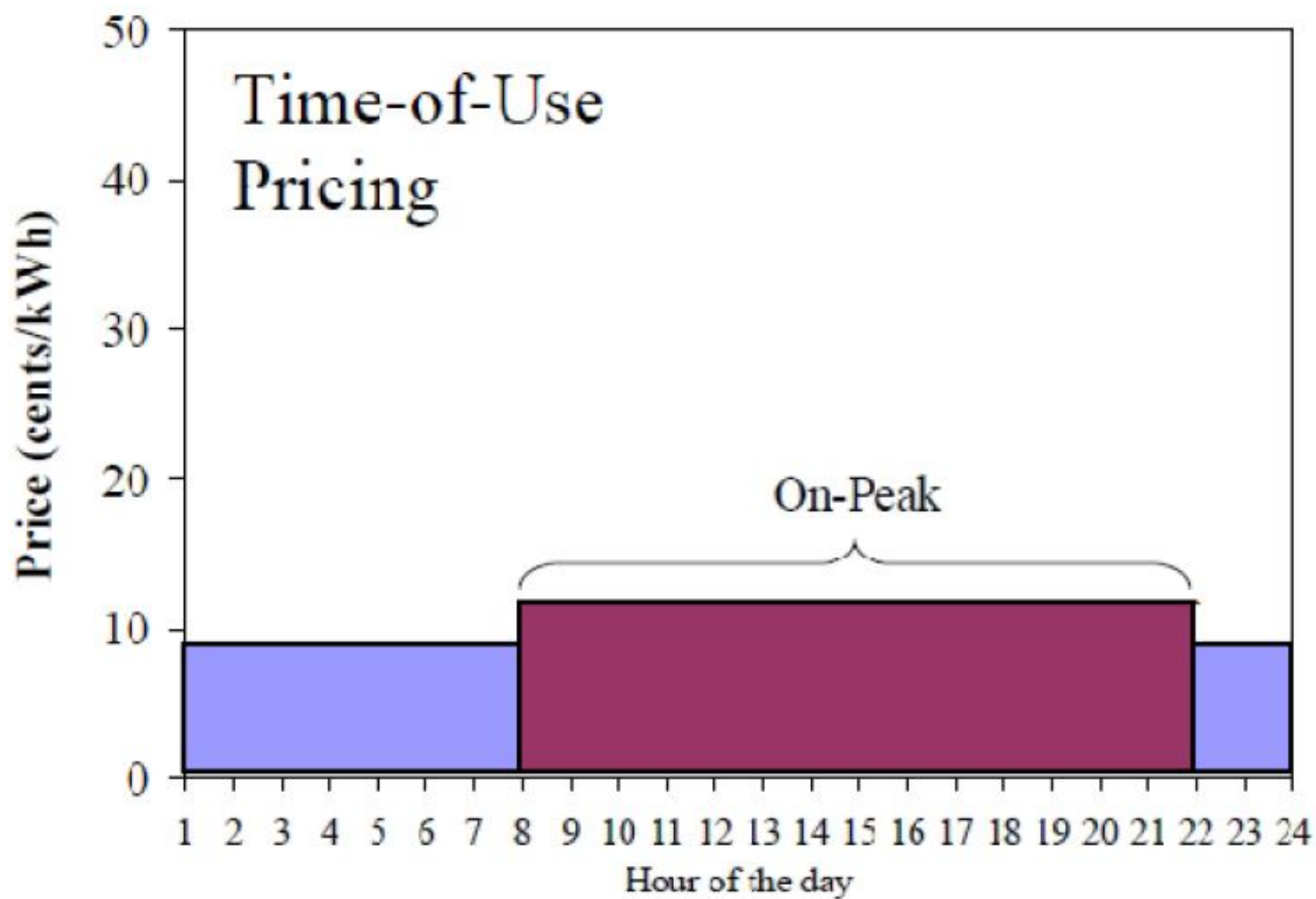
ب- تعرفه روز های خاص متفاوت با روزهای عادي اعمال شود.

ج- تعرفه ماه های گرم و سرد سال متفاوت اعمال شود.

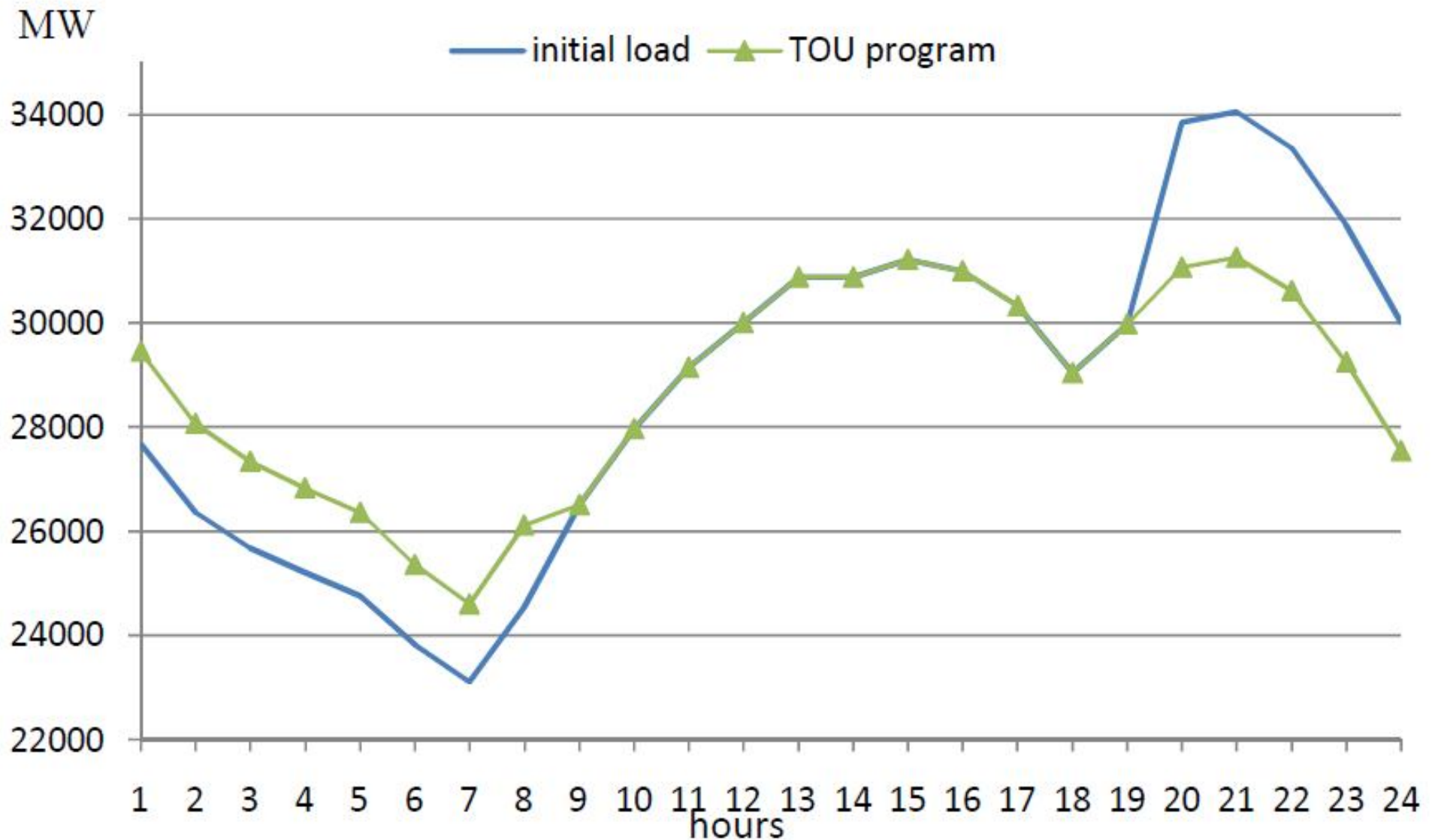
د- شرایط شبکه و شرایط آب و هوا قابل اعمال است.

ه- بیشتر توجه در (TOU) متوجه مصرف کنندگان خانگی می باشند.

ی- در صورت تغییر در تعرفه ها و دوره های اوج بار، باید اطلاع رسانی به همه مشترکان انجام شود.



تأثير TOU بر منحنى مصرف

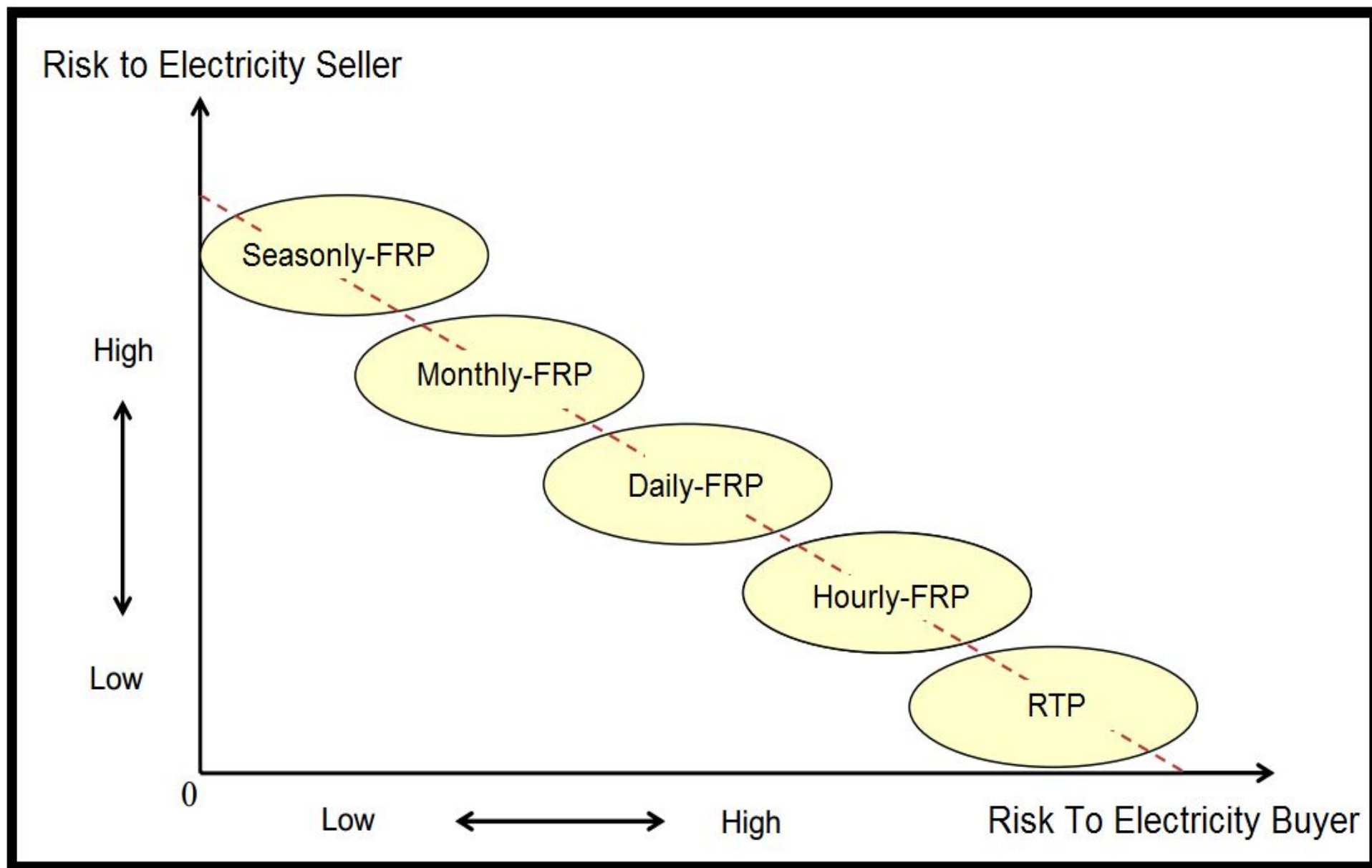


2- قیمت گذاری زمان واقعی (RTP):

قیمت گذاری زمان واقعی به شدت به مدل بازار برق یک سیستم قدرت وابسته است. این مدل یکی از بهترین روش های پاسخگویی بار است حتی می شود به جرات ادعا نمود که بهترین روش از میان روشهای موجود می باشد.

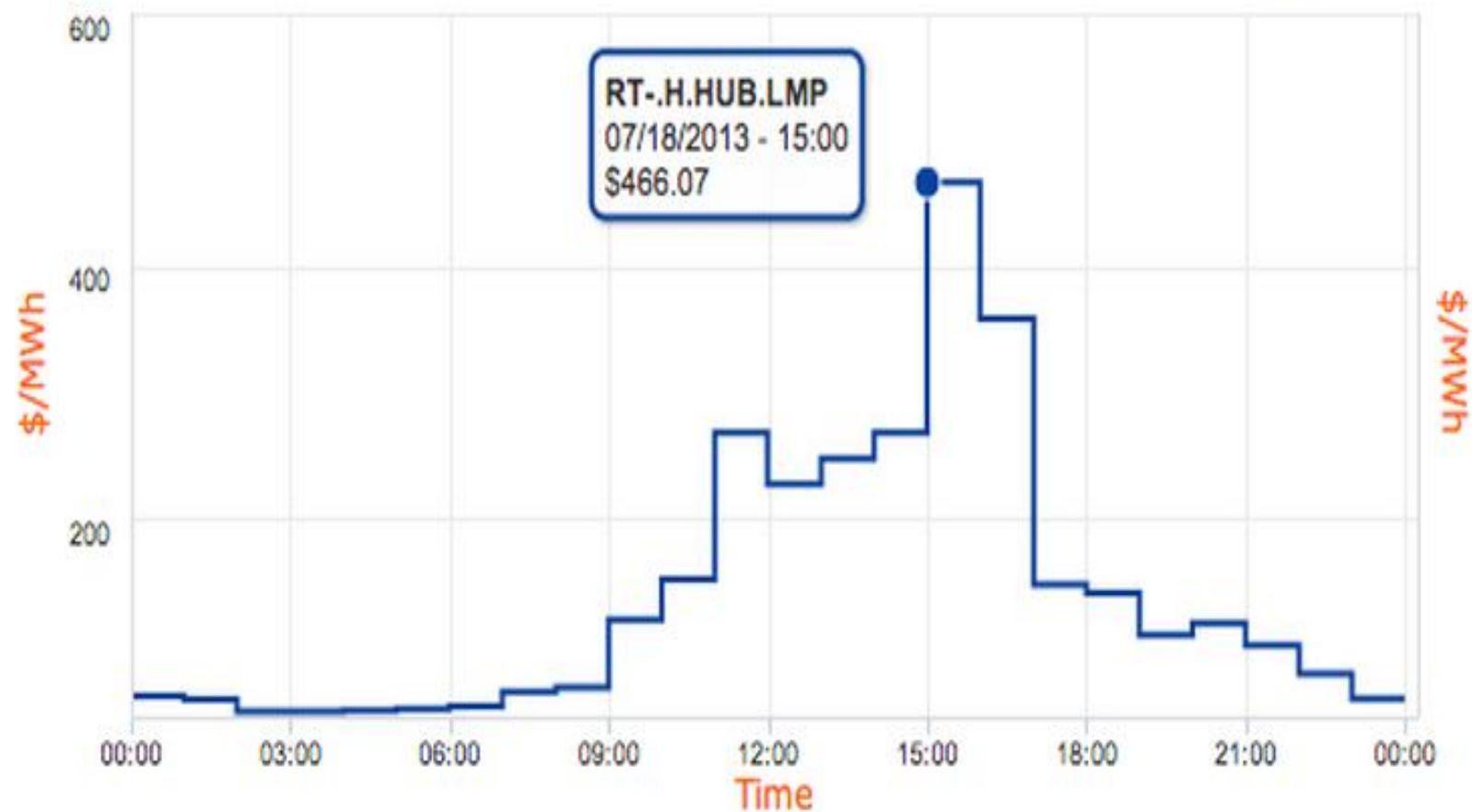
اما این روش دارای فرایند اجرایی پیچیده ای می باشد چراکه ابتدا باید سازوکار بازار برق به طور کامل اجرایی شود.

بیشترین کاربرد روش RTP برای مصرف کنندگان بزرگ می باشد، چراکه مواجه شدن با این قیمتهای واقعی بازار عمده فروشی در عمل برای مصرف کنندگان خانگی امری دشوار می باشد.



HOURLY LMP GRAPH

Date: 07/18/2013 ▼



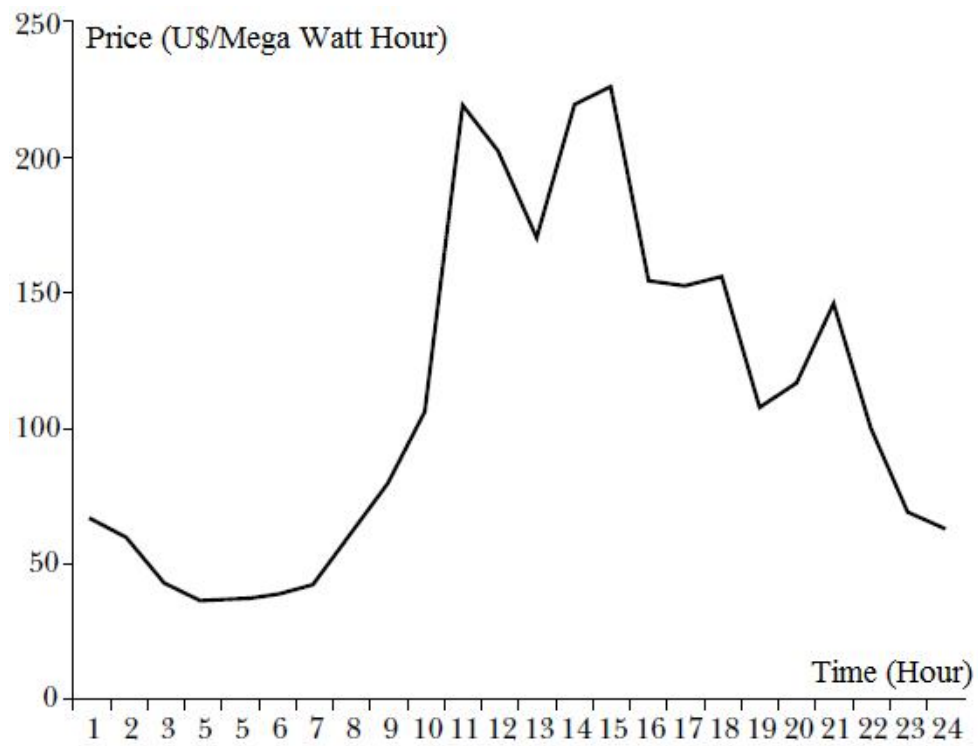
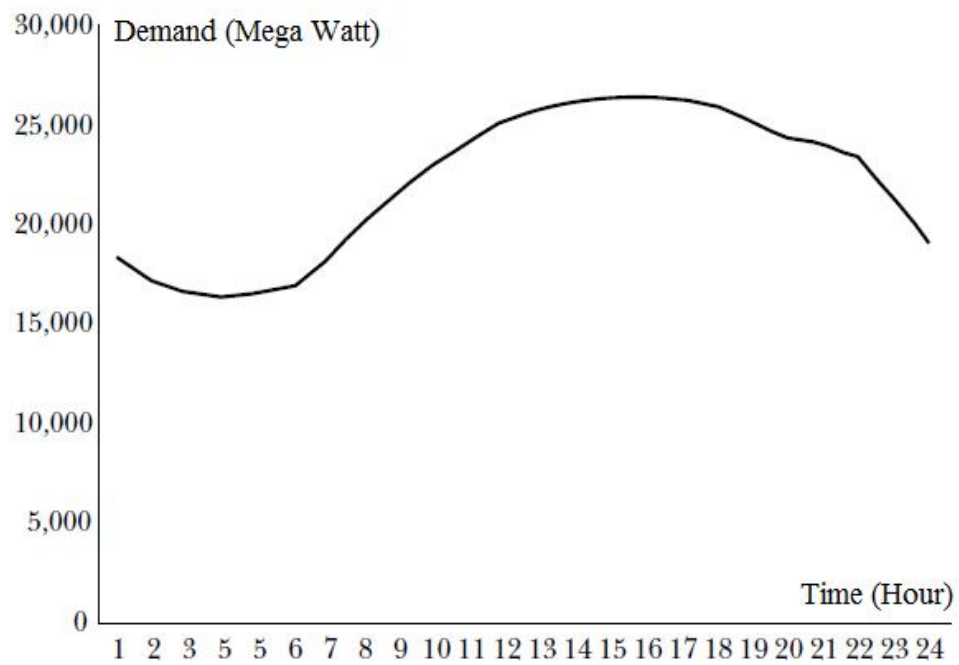
Updated: 07/19/2013 10:25 AM

FIVE-MINUTE REAL-TIME LMP GRAPH

Date: 07/18/2013 ▼



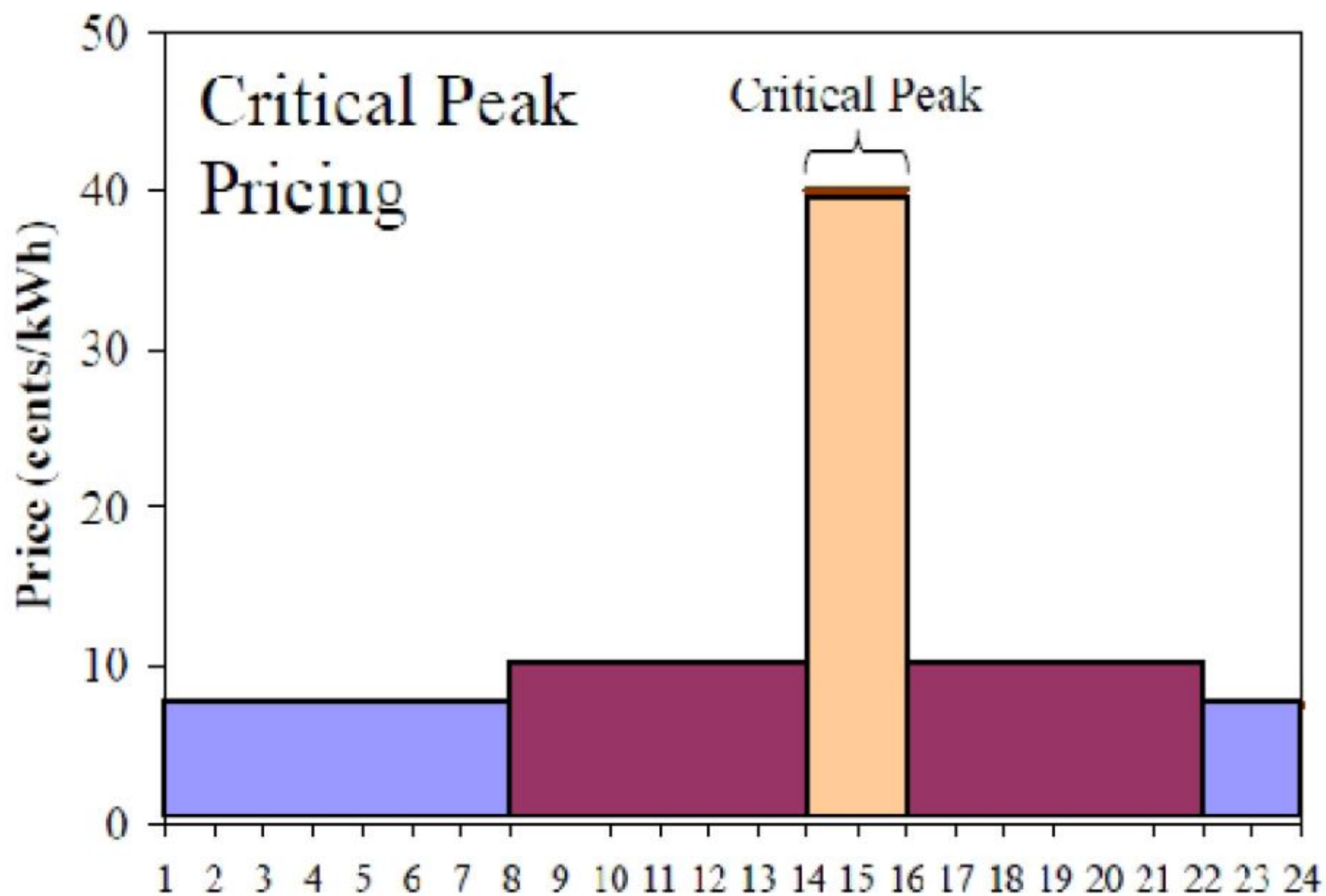
Updated: 07/19/2013 10:28 AM



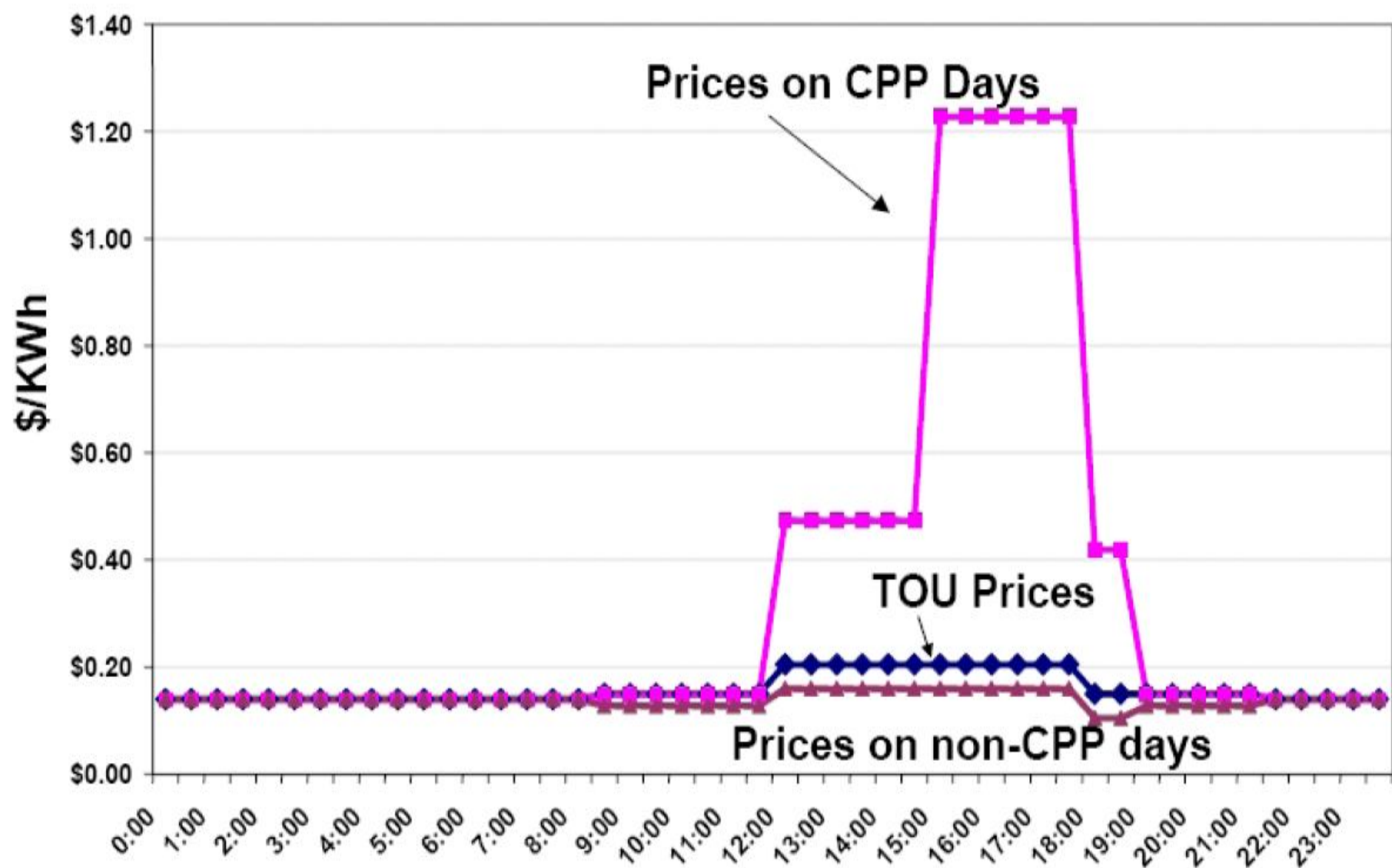
3- قیمت گذاری زمان پیک بحرانی (CPP):

به منظور برآورده کردن نیاز به کاهش مصرف در ساعات بحرانی سال که در آن ساعات مصرف برق بسیار بالا (به عنوان مثال بخاطر گرمای بسیار شدید) و یا قابلیت اطمینان سیستم در خطر است (وقوع یک پیشامد اتفاقی)، استفاده از قیمت گذاری زمان بحرانی راه حل مناسبی به نظر میرسد. به طور معمول مصرف کنندگان از روز قبل، از این افزایش قیمت ها اطلاع پیدا می کنند.

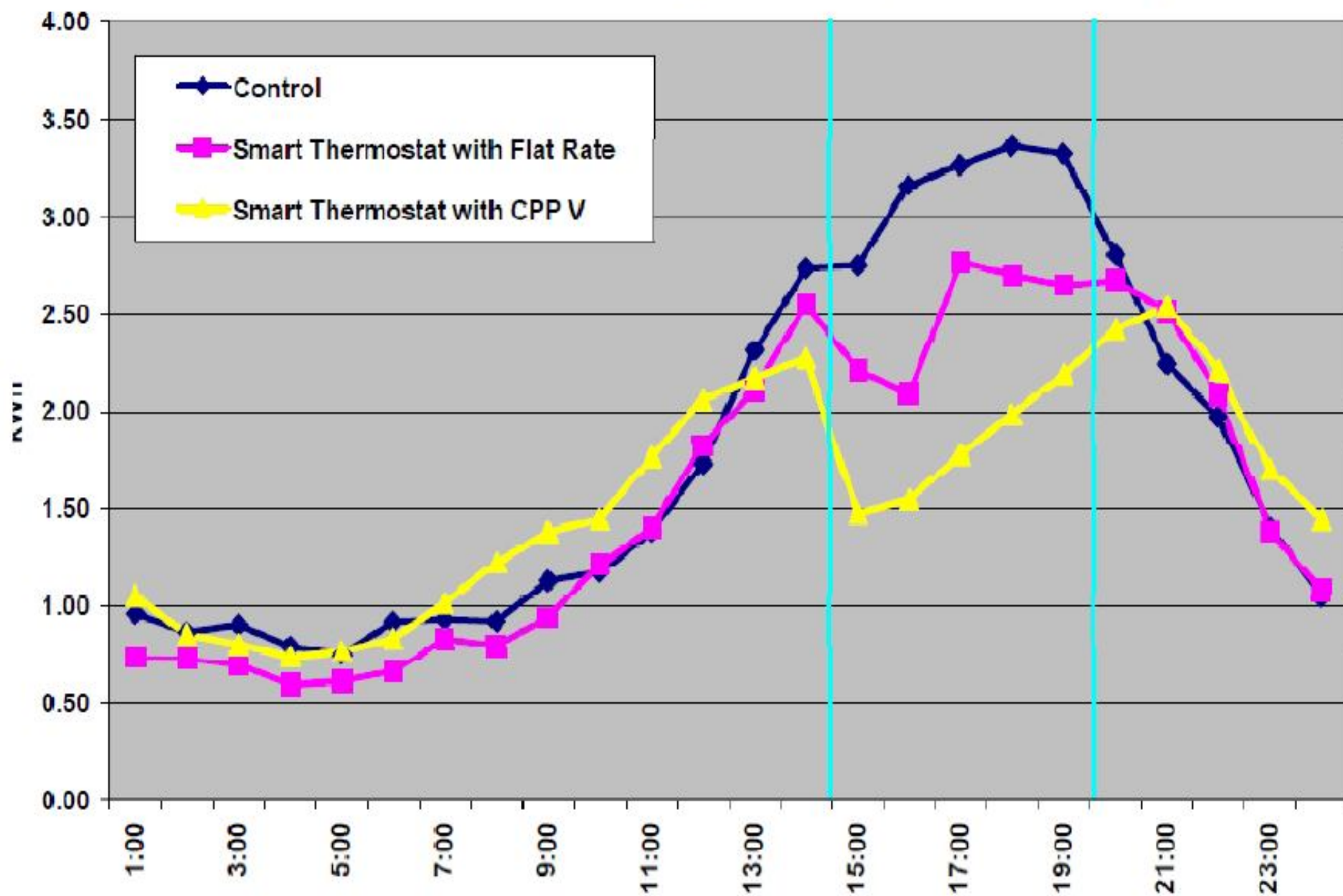
در حالت اول که بیشتر متوجه مصرف کنندگان مسکونی می باشد، تعرفه برق برای برخی ساعات دوره اوج بار بیشتر در نظر گرفته می شود. این افزایش قیمت و ساعات مدنظر از روز قبل به اطلاع تمام مشتریان خواهد رسید. این قیمت که چندبرابر قیمت برق در روزهای عادی می باشد، متناسب با میزان نیاز به کاهش مصرف تعیین می شود. برای مثال فرض نمایید در یک روز گرم تابستان که مصرف برق در بیشترین میزان خود است، یکی از واحدهای نیروگاهی دچار مشکل شود. در این شرایط نیاز به کاهش مصرف برق برای برقراری تعادل بین تولید و مصرف خواهد بود. لذا با توجه به آگاهی از وضعیت شبکه و مشتریان، برای ساعات اوج تعرفه بالایی تعیین می شود تا مصرف کنندگان در آن ساعات مصرف خود را کاهش دهند. در حالت دوم، قراردادهای با برخی از مصرف کنندگان متوسط و بزرگ برای شرکت در برنامه **CPP** بسته خواهد شد. لذا پرداخت ها به صورت تخفیف و متناسب با میزان کاهش در مصرف انرژی الکتریکی در آن ساعات به آنها پرداخت خواهد شد.



مقایسه برنامه TOU و CPP از دیدگاه قیمت پرداختی مشتری



مقایسه برنامه TOU و CPP از دیدگاه مصرف



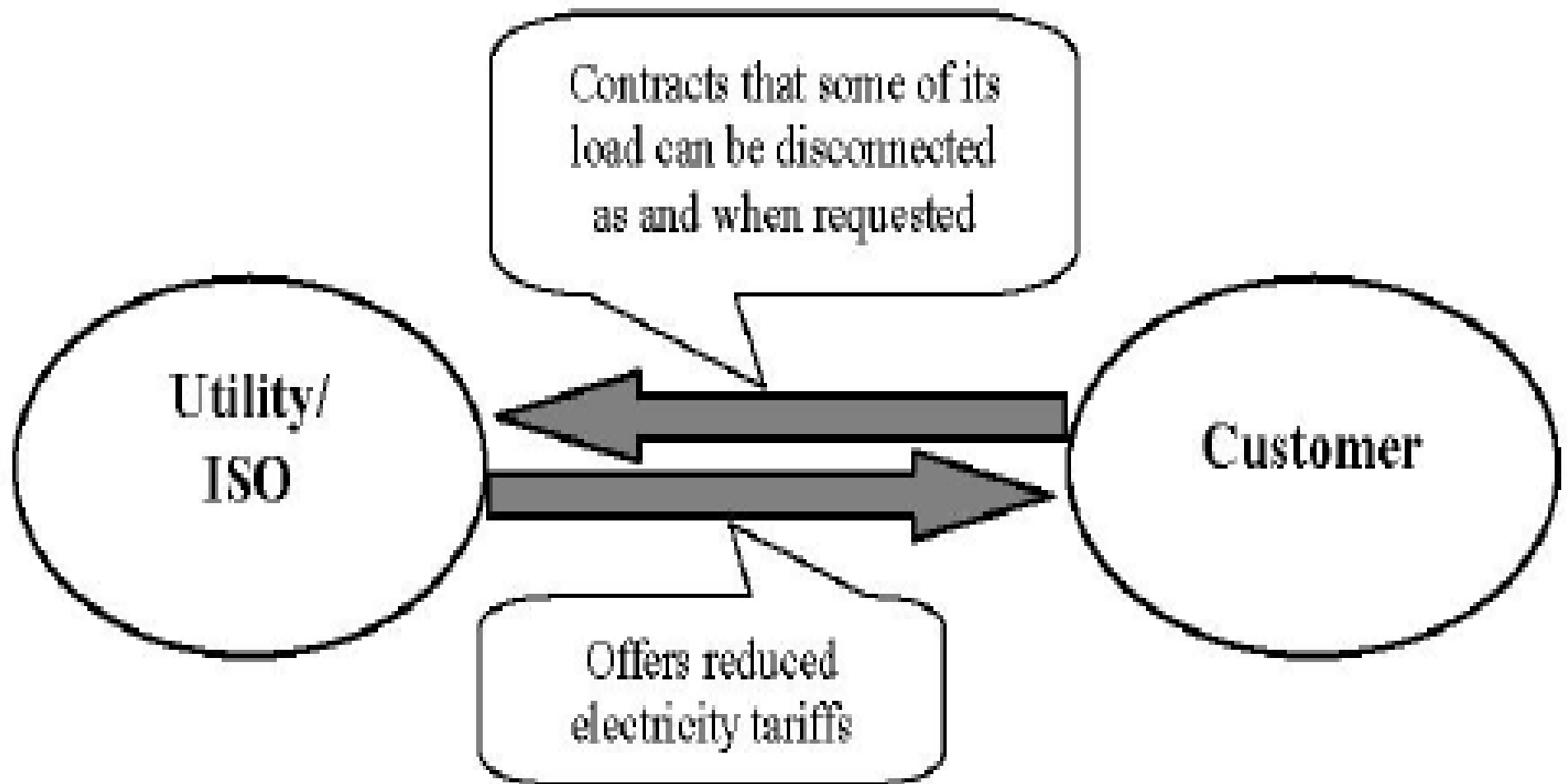
4- قطع و یا کاهش بار (Load shedding/Reduction):

در این روش مصرف کنندگان با شرکت برق و یا بهره بردار قرارداد می بندد که هر زمان که بخواهد، مصرف برق شان را کم و یا قطع کنند. به عبارتی دیگر بدین طریق مصرف کنندگان نوعی ذخیره ی چرخان برای سیستم فراهم می کنند. مشتریانی که در این برنامه شرکت می کنند به ازای کاهش مصرفی که در زمان وقوع حوادث می دهند اعتبار مصرف برق و یا تخفیف دریافت میکنند و شرکت کنندگانی که در موقع لزوم، مصرف خود را کاهش ندهند، جریمه می شوند.

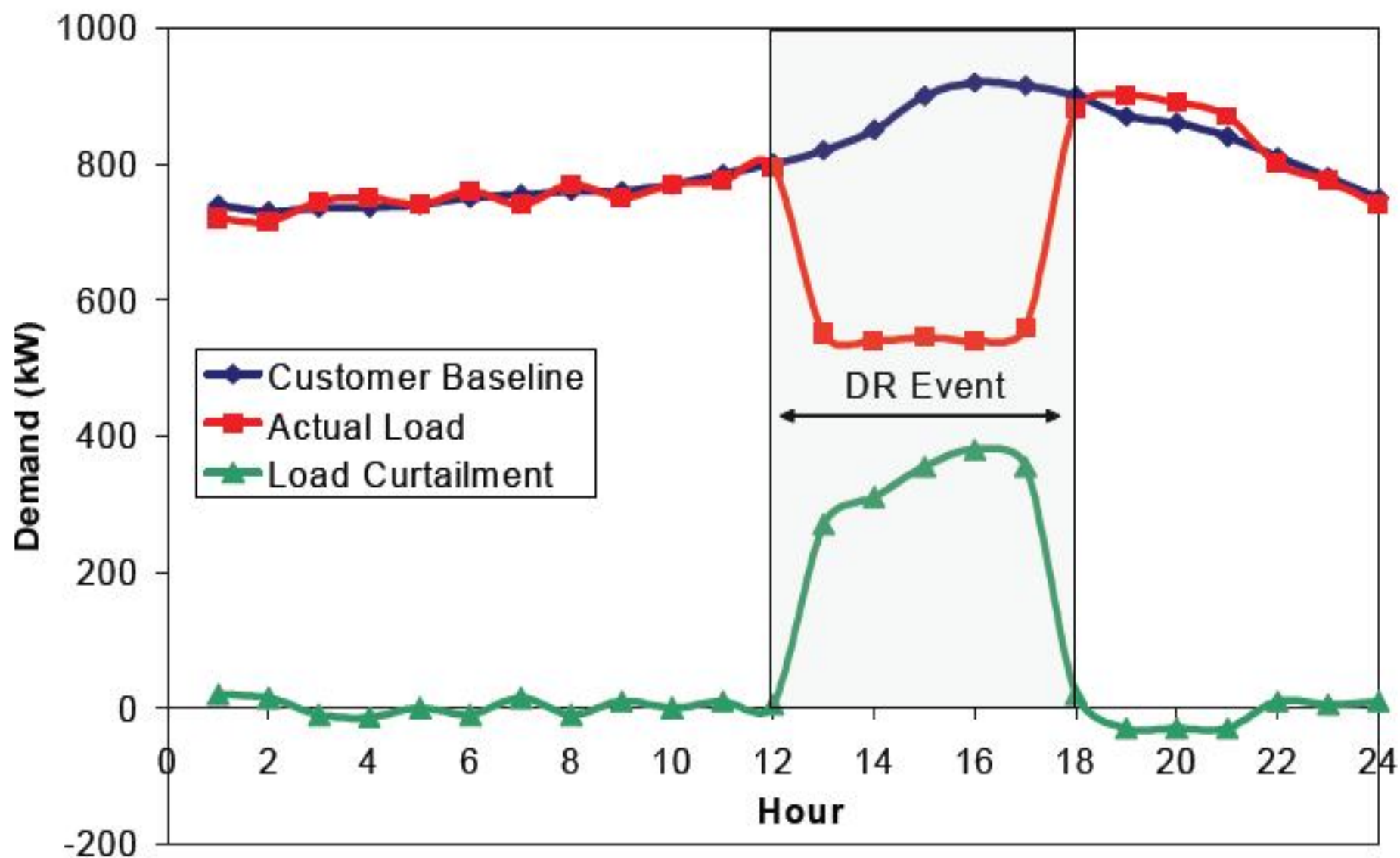
این برنامه پاسخگویی در دو مدل می تواند اجرا شود. قطع و یا کاهش توسط خود مشتری و یا قطع توسط شرکت برق. در حالت اول شرکت برق در موقع نیاز، سیگنال هشداري را از طریق سیستم AMI به مشترکانی که از قبل رضایت خود را برای شرکت در این طرح اعلام نموده اند، می فرستد. مشترک باید پس از دریافت سیگنال، مصرف خود را به میزان متعهد شده در قرار داد کاهش دهد. در غیر این صورت مطابق با مفاد قرارداد جریمه خواهند شد. در حالت دوم با توجه به گزینه قطع از را دور، شبکه هوشمند بطور مستقیم برق مشترك مورد نظر را قطع خواهد کرد. البته از قبل سیگنال هشداري مبنی بر زمان و دوره قطع برق به مشتری اعلام می دارد. حالت دوم دارای قابلیت اطمینان بالاتری برای شبکه هوشمند می باشد، زیرا از میزان دقیق بار کاهش یافته اطلاع خواهد داشت.

شرکت کنندگان در این برنامه باید قابلیت کاهش مصرفشان را ظرف مدت زمان مشخصی مثلا 30 الی 60 دقیقه بعد از اطلاع از سمت شرکت برق، داشته باشند.

نحوه ي قرارداد کاهش بار



تأثير برنامج كاهش بار بر منحنى مصرف مشطري



5- فروش دیماندا/بازخريد (Demand sale/Redemption):

در اين روش مشترکين عمده، مقدار بار قابل کاهش را همراه با قيمت به بهره بردار شبکه پيشنهاد می دهند و پس از اجراي عمليات بازار چنانچه پيشنهاد پذيرفته شود، مشتري موظف به اجراي قرارداد ميباشد، در غير اينصورت با جریمه روبرو خواهد شد. به عبارت ديگر مصرف کنندگان می توانند برق خريداري شده را با قيمت بالاتر به فروش برسانند.

6- پاسخگویی بار اضطراري

: (EDRP: Emergency Demand Response Program)

در شرایط اضطراري شبکه هوشمند با ارسال آلام های مشترکين را دعوت به کاهش و يا قطع مصرف می کند. عموماً شرکت در اين برنامه براي مشترکين اختياري بوده و در صورت کم نکردن مصرف جریمه نخواهند شد. شرکت کنندگانی که مصرف خود را به درخواست شرکت برق کاهش می دهند، مورد تشويق قرار می گیرند.

7- بازار ظرفیت (Capacity Market):

بهره بردار همواره باید مقداری از ظرفیت تولید خود را به عنوان ذخیره نگه دارد تا در صورت بروز یک پیشامد در سیستم (نظیر عیب در یک نیروگاه)، بتواند کمبود توان را جبران نماید. ذخیره سیستم میتواند از سمت مصرف نیز ارائه گردد. یعنی شبکه هوشمند با بارهایی که تمایل به شرکت در این برنامه ها را دارند از پیش قرارداد بسته و آنها متعهد می شوند در صورت بروز یک پیشامد در شبکه، میزان توان تعیین شده در قرار داد را کاهش دهند. همانند بیمه، ممکن است عملاً نیازی به کاهش این بارها پیدا نشود اما مبلغ تشویقی به خاطر آمادگی برای قطع، همواره پرداخت خواهد شد. در این برنامه اگر مشترکین در موقع خواسته شده مصرف خود را کاهش ندهند، جریمه خواهند شد.

8- برنامه های جانبی (Peripheral Programs):

در این برنامه مشترکین، قطع و یا کاهش بار خود را بصورت ذخیره ی بهره برداری در بازار به شبکه هوشمند پیشنهاد می دهند. اگر پیشنهاد آنان قبول شود، قیمت تسویه بازار (Market Clearing Price) را بابت آماده نگه داشتن قطع بارشان دریافت می کنند. همچنین اگر به کاهش بار این مشترکین نیاز باشد، شرکت کنندگان توسط شبکه هوشمند فراخوانی خواهند شد. در اینصورت به آنها قیمت بازار لحظه ای انرژی نیز پرداخت میشود. این نوع بارها باید سرعت پاسخگویی شان زیاد باشد تا در هنگام وقوع پیشامد بتوانند به سرعت عمل کنند. شرکت کنندگان این برنامه می توانند مصرف کنندگان صنعتی (که مصرف برقشان خیلی سریع و بدون اینکه به تجهیزات آسیبی برسد پائین می آید)، می باشند. این بارها می توانند پمپ های بزرگ آبرسانی، کوره های قوس الکتریک، کمپرسورهای هوا باشند.

پایان فصل سوم