

## بهره‌برداری بهینه چندمنظوره ریزشبه در حضور پاسخ تقاضا

فاطمه یاراحمدی<sup>۱</sup>، افشین لشکرآرا<sup>۲</sup>، عبدالرضا ربیعی<sup>۳</sup>

۱. کارشناسی ارشد گروه برق، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، fatemeh\_yarahmadi2002@yahoo.com

۲. استادیار گروه برق، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول

۳. استادیار گروه برق، دانشگاه شهرکرد

تاریخ دریافت: ۹۲/۸/۸ تاریخ پذیرش: ۹۳/۵/۱

### چکیده

ریزشبکه‌ها به عنوان شبکه‌های به هم پیوسته‌ای از سیستم‌های انرژی پراکنده (منابع و بارها) می‌باشند که قادرند به صورت متصل و مجزا از شبکه‌های توزیع به فعالیت پردازند. با توجه به وجود بارهای مختلف از نظر اولویت تغذیه، مصرف‌کنندگان می‌توانند با ارائه میزان بار قابل قطع یا جابجایی خود در قیمت‌های مختلف، به مرکز کنترل ریزشبه در بهینه‌سازی بهره‌برداری از ریزشبه و تامین انرژی بارهای بحرانی کمک کنند. پاسخ تقاضا نقش مهمی در بازار برق برای تعادل بین عرضه و تقاضا ایفا می‌کند. قیمت‌دهی مصرف‌کننده می‌تواند در کاهش هزینه‌های بهره‌برداری، مخصوصاً زمانی که قیمت‌های بازار بالاست، بسیار مفید باشد. در ضمن با این روش مصرف‌کنندگان می‌توانند از پرداخت هزینه‌های زیاد برای بارهای کم اهمیت خود جلوگیری کنند. در این مقاله بهره‌برداری بهینه ریزشبه در حضور پاسخ تقاضا به منظور افزایش رفاه اجتماعی و مسطح نمودن منحنی بار در سطح قابل قبول خواهد شد. مسئله بهینه‌سازی چند منظوره به روش محدودیت (اپسیلون) و بصورت برنامه‌ریزی غیرخطی (NLP) و با استفاده از نرم افزار GAMS حل خواهد شد. الگوریتم پیشنهادی روی ریزشبه نمونه ۱۷ شینه‌ای پیاده‌سازی خواهد شد. نتایج حاصل نشان دهنده توانایی الگوریتم پیشنهادی در بهبود عملکرد ریزشبه می‌باشد.

### کلید واژه

ریزشبکه، پاسخ تقاضا، منحنی بار، بهینه‌سازی چندمنظوره

### مقدمه

جلوگیری از تغییرات سریع قیمت در بازار برق و افزایش بازده سیستم قدرت و بازار انرژی، مورد توجه قرار گرفته است. انجمن انرژی آمریکا، پاسخ تقاضا را بدین صورت تعریف کرده است: «تغییر در الگوی مصرف انرژی توسط مصرف‌کنندگان، در پاسخ به تغییر قیمت برق در طول زمان؛ یا برنامه‌های اقتصادی طراحی شده برای تشویق به استفاده نکردن برق در زمانی که قیمت بازار بالاست یا زمانی که قابلیت اطمینان شبکه به خطر افتاده است» [۱]. با توجه به این موضوع، تحقیق و مطالعه درباره یک برنامه جامع پاسخ تقاضا با توجه به پیشینه‌سازی سود بازیگران در بازارهای برق و همچنین قیمت‌دهی مناسب انرژی الکتریکی در ساعات اوج و غیراوج مصرف برق می‌تواند بسیار مفید باشد. در مرجع [۲] حالات مختلف مدیریت تقاضا (مدلسازی بازار روز بعد) در سطح ریزشبه با حضور قیمت‌دهی مصرف‌کننده برای اولویت‌های بحرانی و غیربحرانی بحث کرده است. در مرجع [۳] یک مکانیزم قیمت تسویه بازار متمرکز برای در نظر گرفتن رفتار

محدودیت منابع تولید انرژی و رشد فزاینده تقاضای انرژی الکتریکی به عنوان یک چالش اساسی برای کشورهای در حال توسعه مطرح است. تحت چنین شرایطی استفاده بهینه از منابع موجود انرژی، بسیار حائز اهمیت است. در روش معمولی (بدون در نظر گرفتن پاسخ تقاضا) بارها به هر مقدار و در هر زمانی بایستی تامین شوند؛ در حالیکه، در روش جدید بیان می‌شود که اگر نوسانات بار تا حد ممکن پایین نگه داشته شود، سیستم در بازده حداکثر خود قرار خواهد گرفت. از آنجایی که توسعه زیربنای سیستم قدرت به سرمایه بسیار زیادی نیاز دارد، پاسخ سمت تقاضا یکی از ارزانه‌ترین روش‌ها برای بهره‌برداری بهینه در ساختار جدید سیستم قدرت است. پس از تجدید ساختار صنعت برق، برنامه‌های پاسخ تقاضا به دلایل متعددی از جمله کاهش توان پیک،

1. Demand Response (DR)

حداقل کردن ظرفیت برنامه کلی پاسخ تقاضا پیشنهاد کرده‌اند. در مورد چنین اهدافی که از نظر ماهیتی در تناقض هستند الگوریتمی<sup>4</sup> (NSGA) برای بدست آوردن جوابهای بهینه پارتو استفاده شده است. در مرجع [۱۱] ارزیابی اثرات پاسخ تقاضا بر روی تغییرات سیستم مانند هزینه کلی انرژی و قیمت تسویه بازار با تدوین مسئله در مدار قرارگرفتن واحدها (UC<sup>5</sup>) صورت گرفته است. مرجع [۱۲] در مورد امکان‌پذیری قابلیت اطمینان براساس برنامه‌هایی به جز برنامه مبتنی بر قیمت DR بحث کرده‌اند. مرجع [۱۳] مسائل متعدد مرتبط با دو مدل از پاسخ تقاضا را مورد بررسی قرار داده‌اند که عبارتند از پاسخ تقاضای مبتنی بر قابلیت اطمینان و مبتنی بر قیمت. این مقاله می‌گوید که هیچ‌کدام از دو مورد نمی‌توانند به تنهایی مزایای DR را به حداکثر برسانند. مرجع [۱۴]، یک سری از اصول و مفاهیم مفید برای DR برای هر کدام از حوزه‌های مدیریت برق‌رسانی مشتری و انرژی را ارائه می‌دهد. در مرجع [۱۵] روشی برای حل مسئله حداقل‌سازی هزینه انرژی برای بدست‌آوردن سطح مصرف ساعتی بهینه تعدادی مشتری که با یک شبکه برق سرویس‌دهی و برق‌رسانی می‌شوند، پیشنهاد شده است. در روشهای دیگر، مسئله بهینه‌سازی بصورت مرکزی حل می‌شود و به همین ترتیب سطوح مصرف مشتریان بصورت مرکزی کنترل می‌شوند که نیاز به سطح بالای تبادل بین شرکت برق و مشتریان دارد. در اینجا نویسندگان یک برنامه‌ریز مصرف انرژی پیشنهاد می‌کنند که می‌تواند با اندازه‌گیری هوشمند در هر نقطه وصل شود تا مسئله بهینه‌سازی بصورت محلی و خودکار با استفاده از یک روش تئوری بازی، حل شود. مرجع [۱۶] روشی را پیشنهاد کرده است که پاسخ تقاضا با رویداد (اضطراری) خوانده می‌شود و در آن با داشتن نوع خاصی از احتمالات سیستم، به ویژه با بکارگیری کاهش‌هایی در بار و تابع هدف بازیابی ذخایر عملیاتی برای رسیدن به یک سطح مطلوب می‌باشد. نویسندگان در مرجع [۱۷] مدل‌سازی و شبیه‌سازی بارهای ساختمانی تجاری را بخصوص بارهای (سیستم‌های گرمایش تهویه هوای مطبوع پیشنهاد داده‌اند تا حاشیه برای کنترل بار معین، تخمین زده شود. این معماری شامل یک کنترل‌کننده مرکزی است که کنترل بهینه را مطابق با محدودیت‌ها محاسبه می‌کند و استراتژی‌های کنترل برنامه‌ریزی شده در کنترل‌کننده‌های محلی در سیستم مدیریت انرژی مربوط به هر ساختمان مصرف‌کننده را نیز محاسبه می‌کند. در شبکه توزیع کاهش تلفات با استفاده از پاسخ تقاضا با جابجایی بار در مرجع [۱۸] ارائه شده است. در مرجع [۱۹] به مدیریت ریزشبه با کنترل اشتراکی واسطه‌های الکترونیک قدرت می‌پردازد. در این روش واسطه‌ها قسمت اصلی ریزشبه را کنترل

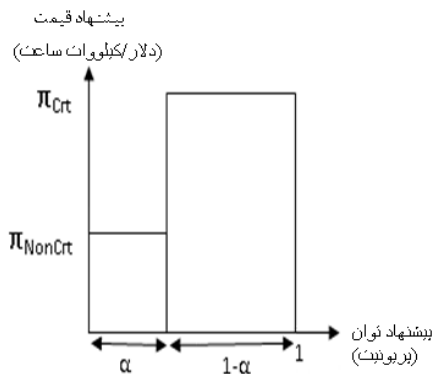
جابجایی بار مصرف‌کنندگان حساس به قیمت، توصیه شده است. مشارکت مصرف‌کننده پاسخگو به قیمت، علاوه بر اینکه موجب کاهش هزینه‌های تامین انرژی خودش می‌شود، به دلیل جابجایی بار از ساعات پرمصرف و گران‌قیمت به ساعات ارزان‌قیمت و در نتیجه کاهش قیمت تمام شده انرژی در این ساعات، موجب کاهش هزینه‌ها برای سایر مصرف‌کنندگان قیمت‌پذیر خواهد شد. در مرجع [۴] استفاده از قیمت‌گذاری برق در بخش داخلی در پشتیبانی از نفوذ تولید انرژی باد را مورد ارزیابی قرار داده‌اند. ایده اصلی مربوط به دوره‌های تولید کم باد است یعنی هنگامی که تنها تولید گرمایی موجود است و بار پیش‌بینی شده به ظرفیت تامین نزدیک باشد آنگاه سیگنال قیمت زمان حقیقی زیاد خواهد بود و بنابراین با DR برطرف می‌شود. مرجع [۵] یک الگوریتم، غیرساده برای حل مسئله بهینه‌سازی ارائه کرده است که در آن تابع هدف حداقل‌کردن هزینه تولید می‌باشد که یک ابتکار ذخیره‌سازی در سناریویی است که در آن قیمت برق در دوره‌های زمانی مختلف تغییر می‌کند نویسندگان در مرجع [۶] یک مدل بهینه‌سازی برای تنظیم ساعتی سطح بار یا مصرف‌کننده خاص در پاسخ به قیمت‌های ساعتی برق پیشنهاد داده‌اند. هدف بالابردن رفاه مصرف‌کننده با کاهش سطوح مصرف انرژی، محدودیت‌هایی بر روی سطوح بار ساعتی و محدودیت‌های خطی بر روی سطوح بار، می‌باشد. در مرجع [۷] که در آن پاسخ تقاضا از مدل قیمت‌گذاری زمان حقیقی استفاده می‌کند تابع هدف، حداقل‌سازی هزینه انرژی با مجموعه‌ای از محدودیت‌های خطی مانند مقدار انرژی الکتریکی مورد نیاز برای رسیدن به هدف تولید، محدودیت‌ها بر روی مصرف انرژی در یک ساعت، می‌باشد. نویسندگان در مرجع [۸] تحلیل ریاضیاتی آثار جانبی DR را جدا از نتیجه‌ی مطلوب کاهش قیمت محلی بازار برق، بر روی یک سیستم قدرت ۳ شینه انجام داده‌اند. اهمیت تولید همزمان نیروگاهی و برنامه‌ریزی کاهش تقاضا برای ایجاد یک بازار رقابتی در مرجع [۹] مورد تاکید قرار گرفته است. مسئله بهینه‌سازی بر اساس هزینه تولید برق تدوین می‌شود که شامل مجموع هزینه تولید و هزینه DR می‌باشد. محدودیت‌های مربوط به ظرفیت ژنراتورها و مقدار کاهش تقاضا، کاهش انرژی کلی در دست یک پیشنهادکننده سمت تقاضا و توازن بین عرضه و تقاضا برای هر دوره برنامه‌ریزی می‌باشند، اما این مقاله نتوانست محدودیت‌های عملکردی شبکه را حل کند. در مرجع [۱۰] نویسندگان روشی برای انتخاب مکان‌های بهینه DR همگام با ظرفیت‌های آنها برای رسیدن به اهدافی مانند حداکثرکردن ظرفیت انتقال موجود (ATC<sup>2</sup>)، حداقل‌کردن انرژی مورد انتظار تامین نشده (EENS<sup>3</sup>)، حداقل‌کردن تلفات توان اکتیو و

4. Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm  
5. Unit Commitment

2. Available Transfer Capacity  
3. Expected Energy Not Supplied

جبران کند. شرکت کردن در بازار روز بعد، به مصرف‌کنندگان فرصت تنظیم فعالیت‌های خود را می‌دهند.

برای در نظر گرفتن تاثیر قیمت‌دهی مصرف‌کننده، بایستی مازاد ناخالص مصرف‌کننده و رفاه اجتماعی کل در تابع هدف لحاظ شود. روش قیمت‌دهی مصرف‌کننده به صورت پیشنهاد قیمت - توان برای اولویت‌های مختلف بار می‌باشد. این روش در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱. قیمت‌دهی مصرف‌کننده برای اولویت‌های بحرانی و غیربحرانی

براساس شکل بالا مصرف‌کننده حاضر است به نسبت  $\alpha$  از بار کل خود را با قیمت  $\pi_{NonCrt}$  و یا کمتر مصرف کند و برای بخش بحرانی بار خود حاضر است تا حداکثر  $\pi_{Crt}$  به ازای هر کیلووات ساعت پرداخت کند [۳].

### تابع هدف اول: حداکثرسازی رفاه اجتماعی

مازاد ناخالص مصرف‌کننده و هزینه بهره‌برداری به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$GS^t = \sum_{b=1}^B \sum_{LoadType \in \{Crt, NonCrt\}} \pi_{LoadType}^b \cdot D_{LoadType}^{b,t} \quad (1)$$

$$OC^t = \sum_{g=1}^G C_g(P^{g,t}) \quad (2)$$

که در آن  $GS^t$ : مازاد ناخالص کل مصرف‌کننده در ساعت  $t$  از دوره بهره‌برداری

مصارف بار  $\pi_{LoadType}^b$ : قیمت پیشنهادی مصرف‌کننده برای هر یک از انواع

$OC^t$ : هزینه بهره‌برداری کل در ساعت  $t$

$C_g(\cdot)$ : تابع هزینه بهره‌برداری ژنراتور  $g$ ام می‌باشد.

بدین ترتیب می‌توان تابع هدف اول (F1) را که همان حداکثرسازی رفاه اجتماعی کل می‌باشد به صورت زیر بیان کرد.

$$F1 = \max SW = \sum_{t=1}^T (GS^t - OC^t) \quad (3)$$

و در بهره‌برداری توزیع توان اکتیو و راکتیو و همچنین بهبود بازده انرژی در حالت جزیره‌ای را انجام می‌دهند. در مرجع [۲۰] یک الگوریتم جدید قیمت‌گذاری جهت کاهش پیک به متوسط بار مورد تقاضا ارائه شده است.

با توجه به مروری بر منابع انجام شده برنامه پاسخ تقاضا با پیشینه نمودن رفاه اجتماعی حاصل گردیده و از طرف دیگر یکی از اهداف مهم بهره‌بردار مسطح نمودن منحنی بار می‌باشد لذا نوآوری‌های حاصل از این تحقیق بهینه‌سازی توأم رفاه اجتماعی و مسطح نمودن منحنی بار با حضور پاسخ تقاضا می‌باشد. مسئله بهینه‌سازی چند منظوره با استفاده از روش محدودیت (اپسیلون) و بصورت یک برنامه‌ریزی غیرخطی (NLP) پیشنهاد خواهد شد. الگوریتم پیشنهادی روی یک ریز شبکه نمونه ۱۷ شینه و در نرم افزار GAMS پیاده‌سازی خواهد شد.

سناریوهای مختلفی که در این مقاله مورد بررسی قرار می‌گیرند، عبارتند از:

- سناریوی اول: بهره‌برداری از ریز شبکه در حالت عادی بدون حضور پاسخ تقاضا
- سناریوی دوم: بهره‌برداری از ریز شبکه در حالت جزیره‌ای بدون حضور پاسخ تقاضا
- سناریوی سوم: بهره‌برداری از ریز شبکه در حالت جزیره‌ای با حضور پاسخ تقاضا

در این مقاله در بخش ۲ مدل‌سازی نحوه قیمت‌دهی مصرف‌کننده، سپس مدل براساس توابع هدف تکی حداکثرسازی رفاه اجتماعی و حداقل‌سازی انحراف بار روزانه از مقدار میانگین و در نهایت مدل چند هدفه در بستر یک ریز شبکه، در بخش ۳ سناریوهای مورد مطالعه ارائه شده و در نهایت نتایج مورد بررسی قرار می‌گیرد.

### مدل‌سازی بازار روز بعد با حضور بارهای بحرانی و غیربحرانی

بازار روز بعد شامل قیمت‌دهی‌های سمت تولید و مصرف بوده و هدف آن حداکثر کردن رفاه اجتماعی می‌باشد. اپراتور بازار باید یک بهینه‌سازی چند دوره‌ای برای مشخص کردن برنامه‌های تولید و مصرف بهینه و همچنین قیمت تسویه بازار  $\pi^t$  در هر دوره، را انجام دهد. فرض می‌شود که واحد تولیدکننده نهایی برای متعادل کردن بازار استفاده می‌شود. یک «پرداخت جانبی» به هزینه نهایی آن واحد تولیدکننده افزوده می‌شود تا قیمت تسویه بازار  $\pi^t$  مشخص گردد. این پرداخت جانبی به واحدهای تولیدکننده نهایی اجازه می‌دهد تا با هزینه بدون بار (یک هزینه ثابت که توسط واحدهای تولیدکننده بدون توجه به سطح تولید خود متحمل می‌شوند) و یک هزینه شروع به کار (یک هزینه ثابت که توسط واحد تولیدکننده هنگام همزمان شدن متحمل می‌شود)، را دوباره

$$D^t = \sum_{b=1}^B P_D^{b,t}, \forall t \quad (10)$$

$$0 \leq Dev_t^+ \leq y_t \cdot Dev_{up}, \forall t \quad (11)$$

$$0 \leq Dev_t^- \leq 1 - y_t \cdot Dev_{up}, \forall t \quad (12)$$

$$y_t \in \{0,1\}, \forall t \quad (13)$$

که در آن:

$Dev_t^+$ : مقدار انحراف بار از مقدار میانگین در جهت مثبت

$Dev_t^-$ : مقدار انحراف بار از مقدار میانگین در جهت منفی

$y_t$ : متغیر باینری برای تعیین جهت انحراف بار از مقدار میانگین

$Dev_{up}$ : یک کران بالا برای مقدار انحراف بار از میانگین

بدین ترتیب با افزوده شدن قیود بالا، مدل خطی می‌شود [۲۴].

### تابع هدف سوم: تابع چند هدفه

به طور کلی در حل مسایل بهینه‌سازی با تابع هدف چندمنظوره (F3)، جواب یکتایی وجود ندارد که همزمان تمامی توابع هدف را بهینه نماید و لذا در اینگونه مسایل معمولاً مجموعه‌ای از جواب‌ها برای مساله بدست می‌آید که به هر کدام از این جواب‌ها، جواب پارتو (جواب غیرغالب) گفته می‌شود. هریک از جواب‌های پارتو در واقع برای یکی از توابع هدف جواب بهینه می‌باشد، اما حداقل یکی از توابع هدف دیگر را از جواب بهینه دور می‌نماید.

برای حل مساله با روش محدودیت اِپسیلون<sup>۶</sup> یکی از توابع هدف به عنوان تابع هدف اصلی در نظر گرفته می‌شود و سایر توابع هدف به عنوان قید در مساله بهینه‌سازی در نظر گرفته می‌شود. برای بکار بردن روش محدودیت اِپسیلون باید بازه تغییرات توابع هدف  $F_2$  تا  $F_p$  را مشخص نمود و  $e_2$  تا  $e_p$  را در این بازه‌ها مقداردهی کرد. رایج‌ترین رهیافت برای محاسبه این بازه‌ها استفاده از جدول نتیجه‌نهایی<sup>۸</sup> می‌باشد که در ادامه شرح داده خواهد شد.

$$\begin{aligned} & \text{Minimize } F_1(x) \\ & \text{subject to } F_2(x) \leq e_2, F_3(x) \geq e_3, \dots, F_p(x) \leq e_p \end{aligned} \quad (14)$$

### معرفی ریزشکه مورد مطالعه

سیستم مورد بررسی، یک شبکه ولتاژ پایین می‌باشد که دارای ۳ فیدر جهت تغذیه بارهای خانگی، صنعتی و تجاری است [۲۵].

در این شبکه از انواع تولیدکننده‌های پراکنده از قبیل ۱ عدد توربین بادی، ۱ عدد میکروتوربین، ۱ عدد پیل سوختی و ۵ عدد سلول فتوولتاییک استفاده شده است. همچنین مقدار زیادی از بار مورد نیاز از شبکه بالادست که همان بازار انرژی الکتریکی است،

که قیود آن عبارتند از:

$$P_G^{b,t} - P_D^{b,t} = \sum_{b'=1}^B \theta_{bb'}^t B_{bb'} \quad (4)$$

$$\sum_{LoadType \in \{Crt, NonCrt\}} D_{LoadType}^{b,t} = P_D^{b,t} \quad (5)$$

$$u^{g,t} \cdot P_{\min}^g \leq P^{g,t} \leq u^{g,t} \cdot P_{\max}^g \quad (6)$$

که در آنها:

$P_G^{b,t}$ : توان تزریقی به باس  $b$ ام در زمان  $t$

$P_D^{b,t}$ : توان خالص مصرفی در باس  $b$ ام در زمان  $t$

$\theta_{bb'}^t$ : اختلاف زاویه بین باس  $b$  و  $b'$  در زمان  $t$

$B_{bb'}$ : ادمیتانس خط بین باس  $b$  و  $b'$

$P_D^{b,t}$ : توان تولیدی ژنراتور  $b$ ام در زمان  $t$

$u^{g,t}$ : متغیر باینری حالت روشن یا خاموش ب ژنراتور  $b$ ام در زمان  $t$  می‌باشد. [۲۲]، [۲۳]

قید (۴) بیانگر پخش بار سیستم، قید (۵) محاسبه میزان بار مصرفی در هر باس و در هر ساعت و قید (۶) نشان‌دهنده محدودیت تولید توان برای هر ژنراتور می‌باشد.

در سناریوهایی که مشارکت مصرف‌کننده در نظر گرفته نشده است، تابع هدف کمینه‌سازی هزینه بهره‌برداری کل است.

### تابع هدف دوم: مسطح کردن منحنی بار

منظور از این تابع هدف (F2)، کمینه نمودن فاصله منحنی بار روزانه از مقدار میانگین روزانه آن می‌باشد. یکی از مزایای پاسخ-تقاضا این است که می‌توان تا حد امکان منحنی تقاضای روزانه را مسطح کرد. اگر تابع هدف مساله به جای بیشینه‌کردن رفاه اجتماعی با تابع زیر که همان حداقل مجموع اختلاف با میانگین بار روزانه است، می‌توان به یک منحنی مسطح تر رسید. در حالت کلی این تابع را می‌توان به صورت زیر تعریف کرد:

$$F2 = \min \left[ \sum_{t=1}^T |D_t - D_{avg}| \right] \quad (7)$$

از آنجایی که در تعریف بالا، از تابع قدر مطلق استفاده شده است، مدل مورد نظر غیر خطی خواهد شد. برای خطی‌سازی این تابع، تابع هدف بالا به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\min \left[ \sum_{t=1}^T Dev_t^+ + Dev_t^- \right] \quad (8)$$

$$Dev_t^+ - Dev_t^- = D^t - D_{avg}, \forall t \quad (9)$$

6. Pareto optimal (Nondominated optimal)

7. -ε-constrain

8. Payoff Table

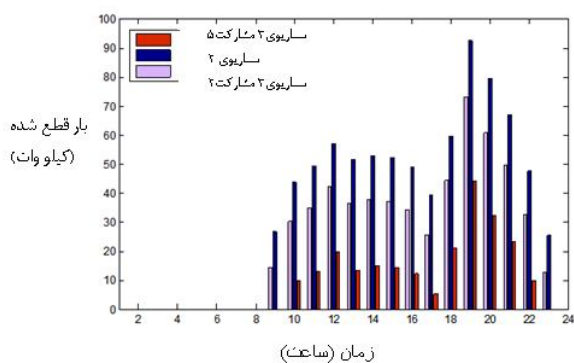
گرفته شده و ریزشیکه در کل دوره به صورت جزیره‌ای مدل شده است. یعنی در این حالت به ناچار مقداری از بار مصرف‌کننده به دلیل محدودیت تولیدکننده‌های محلی تامین نمی‌شود. در سناریوی سوم، تاثیر قیمت‌دهی مصرف‌کننده بر بهره‌برداری در حالت جزیره‌ای بررسی می‌شود. این سناریو به چند زیرسناریو تقسیم می‌شود. هر یک از زیرسناریوها نشان‌دهنده میزانی از مشارکت مصرف‌کننده در پاسخ‌تقاضا می‌باشد؛ به طوری که با افزایش زیرسناریوها، ضریب مشارکت مصرف‌کننده<sup>۹</sup> در میزان جابجایی یا قطع بار افزایش پیدا می‌کند.

جدول ۲. سناریوهای مختلف مورد مطالعه

توضیحات						سناریو	علامت اختصاری
متصل به شبکه بالادست بدون حضور پاسخ‌تقاضا						سناریوی ۱: حالت پایه	SCE1
بخش بحرانی و غیر بحرانی هر یک از انواع بارها						سناریوی ۳: برنامه‌ها حالت جزیره‌ای با حضور پاسخ تقاضا	برنامه‌ها
خانگی		صنعتی		تجاری			
$\alpha$	$1-\alpha$	$\alpha$	$1-\alpha$	A	$1-\alpha$		
۰/۰۵	۰/۹۵	۰/۰۲	۰/۹۸	۰/۰۵	۰/۹۵		
۰/۱۰	۰/۹۰	۰/۰۴	۰/۹۶	۰/۱۰	۰/۹۰		
۰/۱۵	۰/۸۵	۰/۰۶	۰/۹۴	۰/۱۵	۰/۸۵		
۰/۲۰	۰/۸۰	۰/۰۸	۰/۹۲	۰/۲۰	۰/۸۰		
۰/۲۵	۰/۷۵	۰/۱۰	۰/۹۰	۰/۲۵	۰/۷۵		
۰/۳۰	۰/۷۰	۰/۱۲	۰/۸۸	۰/۳۰	۰/۷۰		

### نتایج شبیه‌سازی

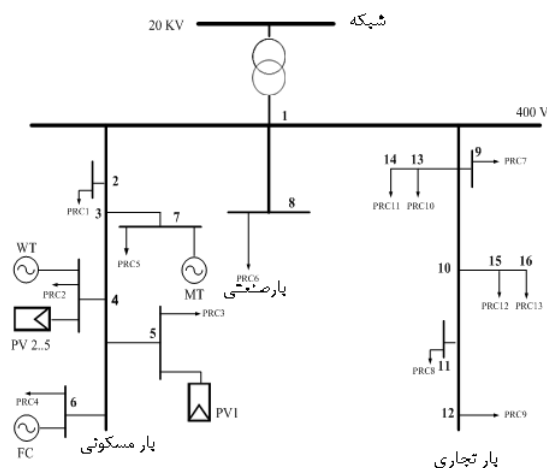
برای مطالعه تاثیر سناریوهای مختلف بر بهره‌برداری از ریزشیکه مورد نظر، نتایج حاصل بر چند دسته محدود می‌شود. این نتایج شامل میزان انرژی تامین نشده بحرانی در کل دوره، قطعی بار بحرانی در هر ساعت و هزینه متوسط تامین بار می‌باشد.



شکل ۳. بار قطع شده بحرانی در هر ساعت

### 9. Load Participation Factor (LPF)

خریداری می‌شود. فرض شده است که تمام DGها در ضریب قدرت یک کار کرده و هیچ توان راکتیو تولید و یا جذب نکنند. هزینه انرژی خریداری شده از واحدهای بادی و خورشیدی برابر با هزینه بهره‌برداری آنها و معادل صفر در نظر گرفته شده است [۲۶ و ۲۷]. سایر مشخصات واحدها به صورت پیوست است:



شکل ۲. ریزشیکه ولتاژ پایین مورد مطالعه [۲۵]

جدول ۱. مشخصات واحدهای تولیدکننده

شماره واحد	نام اختصاری	ظرفیت کمینه (kW)	ظرفیت بیشینه (kW)	قیمت (Ect/kWh)
۱	MT (میکروتوربین)	۶/۰۰	۶۰/۰۰	۴/۶۷
۲	FC (پیل سوختی)	۳/۰۰	۶۰/۰۰	۳/۴۰
۳	WT (توربین بادی)	-	۳۰/۰۰	۰/۰۰
۴	PV1 (فتوولتائیک)	-	۶/۰۰	۰/۰۰
۵-۸	PV5-8 (فتوولتائیک)	-	۵/۰۰	۰/۰۰

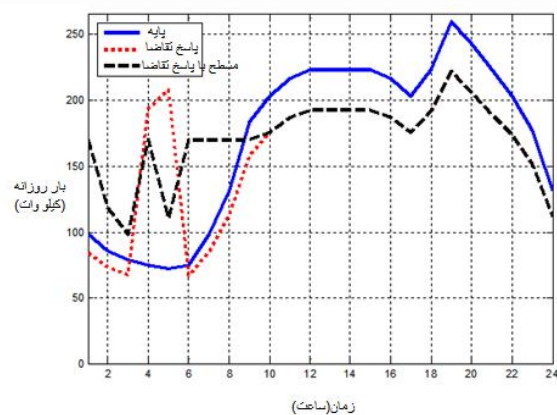
### سناریوهای مطالعه شده

سناریوی اول حالت پایه بهره‌برداری است. در این حالت تابع هدف، کمینه‌سازی هزینه تامین انرژی مورد نیاز می‌باشد. همچنین در این سناریو، قیمت‌دهی از طرف مصرف‌کننده انجام نشده و هزینه بهره‌برداری به وسیله تابع خطی هزینه تولید هر ژنراتور، محاسبه می‌شود.

در سناریوی دوم، فرض شده است که ریزشیکه به دلیل وقوع یک پیشامد، از شبکه بالادست جدا شده و به حالت جزیره‌ای به کار خود ادامه می‌دهد. مبنای زمانی وقوع رخداد ابتدای دوره در نظر

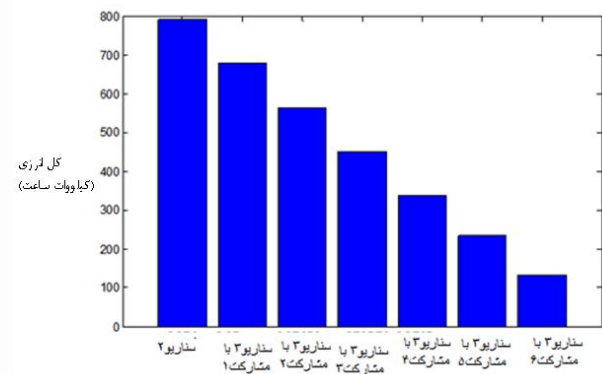
شکل ۵ هزینه متوسط تامین انرژی به ازای هر کیلووات ساعت در کل دوره را نشان می‌دهد. برای محاسبه این هزینه، تنها هزینه انرژی تامین شده برای مصرف‌کننده لحاظ شده است و هزینه انرژی تامین نشده منظور نشده است. هزینه متوسط تامین انرژی با وقوع رخداد جزیره‌ای شدن و افزایش مشارکت مصرف‌کننده افزایش می‌یابد. دلیل افزایش هزینه متوسط با افزایش درصد مشارکت مصرف‌کننده، بالا رفتن میزان تامین انرژی بحرانی و کاهش تامین انرژی غیربحرانی است. به بیان دیگر، از آنجایی که با افزایش مشارکت مصرف‌کننده، بخشی از بارهای غیربحرانی که هزینه تامین کمتری دارند، قطع شده و به جای آن بارهای بحرانی با هزینه تامین بالاتر جایگزین می‌شوند، هزینه متوسط تامین انرژی کل افزایش می‌یابد.

در شکل ۶ میزان بار مصرفی روزانه در سه حالت پایه، استفاده از پاسخ تقاضا و پاسخ تقاضا با لحاظ نمودن تابع هدف به صورت مسطح‌سازی منحنی بار مشاهده می‌شود. همانگونه که در این شکل پیداست، تفاوت بین منحنی بار پایه با منحنی‌های دیگر در برخی ساعات به صورت کاهش بار و در برخی دیگر به صورت افزایش بار است. از آنجایی که در ساعات اوج مصرف میان‌روز و ساعات اوج مصرف شب، قیمت انرژی بالاست، مدل تصمیم به کاهش مصرف در این ساعات می‌کند که این موضوع در هر دو شکل مربوط به منحنی پاسخ تقاضا و منحنی مسطح‌سازی قابل مشاهده است. با اینکه کاهش بار در این دو منحنی به صورت مشابه رخ داده و این دو منحنی در ساعات میان‌روز و شب، بر یکدیگر منطبق شده‌اند، اما در این دو منحنی نحوه جابجایی بار به گونه‌ای متفاوت از یکدیگر رقم خورده است. دلیل این موضوع به ماهیت توابع هدف متناظر با این دو منحنی برمی‌گردد. در منحنی پاسخ تقاضا (منحنی نقطه‌چین) هدف حداکثرسازی رفاه اجتماعی کل است که با حداقل‌سازی هزینه ارتباط مستقیم دارد.



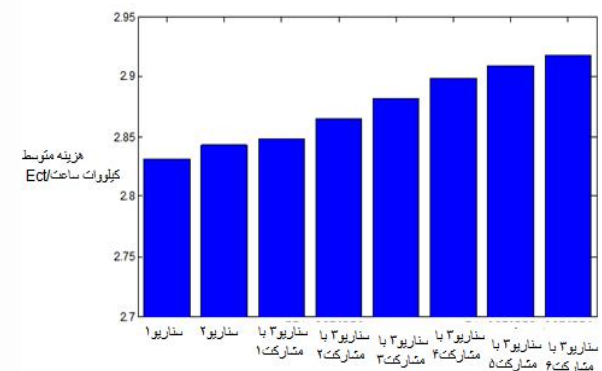
شکل ۶. مقایسه منحنی بار روزانه بین تابع هدف مسطح‌سازی و رفاه اجتماعی

در شکل ۳ میزان بار بحرانی قطع شده در هر ساعت در سناریوهای حالت جزیره‌ای بدون پاسخ تقاضا و سناریوی حالت جزیره‌ای با مشارکت مصرف‌کننده در پاسخ تقاضا نشان داده شده است، میزان بار قطع شده در ساعات ابتدایی دوره صفر است که ناشی از کم بودن کل بار درخواستی در این ساعات است. اما در طول زمان‌های پرمصرف، بار قطع شده افزایش می‌یابد؛ به طوری که این مقدار تا ۵۰ درصد کل بار درخواستی در ساعات پرمصرف بالا می‌رود. مشارکت مصرف‌کننده در پاسخ تقاضا و جابجایی یا قطع بارهای غیربحرانی موجب کاهش شدید قطع بارهای بحرانی شده است.



شکل ۴. انرژی تامین نشده بحرانی در کل دوره در هر سناریو

شکل ۴ نشان‌دهنده میزان انرژی بحرانی تامین نشده بر حسب کیلووات ساعت در هر سناریو است. در سناریوی ۲ به دلیل عدم وجود مشارکت مصرف‌کننده در پاسخ تقاضا، انرژی بحرانی تامین نشده بسیار بالاست؛ در حالی که با افزایش مشارکت مصرف‌کننده در پاسخ تقاضا، این مقدار کاهش شدیدی دارد. در واقع با افزایش پاسخ تقاضا، مصرف‌کنندگان اجازه جابجایی یا قطع شدن بار غیربحرانی خود را به بهره‌بردار شبکه داده و در نتیجه بهره‌بردار شبکه می‌تواند میزان بیشتری از بار بحرانی را تغذیه نماید.



شکل ۵. هزینه متوسط تامین بار در هر سناریو

اجتماعی کل بسیار کم بوده و در حدود ۲ درصد آن است. از طرف دیگر این کاهش ۲ درصدی در میزان رفاه اجتماعی، موجب بهبود ۴۴/۶ درصدی انحراف بار از مقدار میانگین می‌شود. با توجه به این تاثیر قابل ملاحظه، می‌توان نتیجه گرفت که بهره‌برداری با لحاظ نمودن تابع هدف پاسخ تقاضا همراه با مسطح‌سازی نسبت به تابع هدف پاسخ تقاضا کارایی بسیار بالاتری دارد.

### نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این مقاله نشان داد که مشارکت مصرف‌کننده پاسخگو به قیمت علاوه بر اینکه موجب کاهش هزینه‌های تامین انرژی برای خودش می‌شود؛ به دلیل جایجایی بار از ساعات پرمصرف و گران‌قیمت به ساعات ارزان‌قیمت و در نتیجه کاهش قیمت تمام شده انرژی در این ساعات، موجب کاهش هزینه‌ها برای سایر مصرف‌کنندگان قیمت‌پذیر نیز می‌شود. در این مقاله سناریوهای مختلف شامل جزیره شدن با و بدون حضور پاسخ تقاضا مورد مطالعه قرار گرفت.

با تعریف قیمت‌دهی مصرف‌کننده برای اولویت‌های مختلف بار، شیوه جدیدی از مدیریت بار توسط مصرف‌کننده در این مقاله ارائه شد. اولویت‌های مختلف بار به هر تعداد و با هر قیمت می‌توانند تعریف شوند. همچنین روش‌های مدل‌سازی انواع اولویت‌های مختلف برای انواع مصرف‌کننده‌ها می‌تواند متفاوت باشد. افزایش مشارکت مصرف‌کننده موجب کاهش قطع بارهای بحرانی و در عین حال موجب افزایش قیمت متوسط تامین انرژی شد.

بصورت کلی پاسخ تقاضا موجب ارتقاء بازده بازار و قابلیت اطمینان عملیاتی می‌شود. در صورت اجرای صحیح، مواجهه بازار برق با کمبود انرژی را محدود می‌کند و قابلیت اطمینان عملیاتی را با فراوانی تولید متغیر بهبود می‌بخشد. طراحی برنامه‌های پاسخ تقاضا به شرایط حاکم بر بازار یک منطقه خاص بستگی دارد. می‌توان نتیجه گرفت که بهره‌برداری با لحاظ نمودن تابع هدف پاسخ تقاضا همراه با مسطح‌سازی نسبت به تابع هدف پاسخ تقاضا کارایی بسیار بالاتری دارد.

به بیان دیگر در این حالت، مدل به دنبال کمتر کردن هزینه بوده و از آنجایی که قیمت انرژی در ساعات ۴ و ۵ صبح حداقل مقدار خود را دارد، همه کاهش‌های بار به جهت پاسخ تقاضا به این دو ساعت جابجا شده و بار در این دو ساعت به شدت افزایش پیدا کرده است؛ به‌گونه‌ای که موجب ایجاد یک پیک نیمه‌شب شده است. بایستی توجه شود که چون سیستم مورد مطالعه ریزشبه متصل به شبکه بالادست بوده و اندازه آن نسبت به شبکه بالادست بسیار کوچک است، در نتیجه افزایش شدید بار در این دو ساعت تاثیری بر قیمت شبکه بالادست نداشته و عملاً ریزشبه همچنان قیمت‌پذیر است.

از نظر بهره‌برداری، با اینکه در این حالت هزینه‌ها کاهش پیدا کرده و رفاه اجتماعی افزایش می‌یابد، اما به دلیل نیاز به حجم زیادی از انرژی به صورت ناگهانی و شیب بسیار زیاد افزایش انرژی مصرفی در این ساعات، این حالت مطلوب نمی‌باشد. این مشکل را می‌توان با تعریف تابع هدف به صورت مسطح‌سازی منحنی بار تا حدودی مرتفع کرد. همانگونه که در منحنی سوم (منحنی خط‌چین) مشاهده می‌شود، جایجایی بار از ساعات گران‌قیمت انرژی به تعداد ساعات بیشتری از روز که در آنها قیمت انرژی پایین‌تر است، انجام شده است. به طوری که در این حالت، در تعدادی از ساعات (۶ تا ۱۰)، منحنی بار به مقدار میانگین خود منطبق شده و همچنین در برخی از ساعات دیگر (۱ تا ۶)، فاصله بین منحنی بار و مقدار میانگین کاهش پیدا کرده است. مزیت این حالت نسبت به قبل در کاهش فاصله بین دره و قله منحنی بار و کمتر نمودن شیب افزایش بار به دلیل پاسخ‌تقاضا، به وضوح قابل مشاهده است. البته طبیعتاً در این حالت هزینه تامین انرژی به دلیل استفاده نکردن از تمام ظرفیت مصرفی در ارزان‌ترین ساعات، نسبت به حالت قبل قدری افزایش می‌یابد.

جدول ۳. مقادیر توابع هدف در بهینه‌سازی

بهینه‌سازی به صورت تابع هدف تک منظوره		
رفاه اجتماعی کل (F <sub>1</sub> )	F1* = ۱۴۸۱۸/۶۵۳	۱۴۵۳۵/۴۴۰
انحراف بار از مقدار میانگین (F <sub>2</sub> )	۹۴۵/۲۳۲	F2* = ۵۲۳/۰۵۱

در جدول ۳، مقادیر توابع هدف در بهینه‌سازی به صورت تابع هدف تک منظوره مشاهده می‌شود. در حالت بیشینه‌سازی رفاه اجتماعی، میزان تابع هدف ۱۴۸۱۸/۶۵۳ می‌باشد که هنگام کمینه‌سازی تابع هدف دوم، به عدد ۱۴۵۳۵/۴۴۰ کاهش می‌یابد. به بیان دیگر مسطح کردن منحنی بار و کاهش انحراف بار از مقدار میانگین به اندازه ۴۲۲/۱۸۱ کیلووات‌ساعت، به میزان ۲۸۳/۲۱۳ سنت دلار هزینه در بر دارد. با یک محاسبه ساده می‌توان نتیجه گرفت که هزینه مسطح‌سازی منحنی بار نسبت به میزان رفاه

۴/۵۸	۷	PRC8
۴/۸۴	۷	PRC9
۰/۹۲	۷	PRC10
۲/۴۹	۷	PRC11
۱/۷۹	۷	PRC12
۴/۵۰	۷	PRC13

جدول ۱. نرخ توان تولیدی واحد خورشیدی در طول روز

ساعت	توان (kW/Inst. kW)	ساعت	توان (kW/Inst. kW)	ساعت	توان (kW/Inst. kW)	ساعت	توان (kW/Inst. kW)
۱	۰/۰۰۰	۷	۰/۰۰۲	۱۳	۰/۳۱۸	۱۹	۰/۱۳۳
۲	۰/۰۰۰	۸	۰/۰۰۸	۱۴	۰/۴۳۳	۲۰	۰/۰۴۳
۳	۰/۰۰۰	۹	۰/۰۳۵	۱۵	۰/۳۷۰	۲۱	۰/۰۰۴
۴	۰/۰۰۰	۱۰	۰/۱۰۰	۱۶	۰/۴۰۳	۲۲	۰/۰۰۰
۵	۰/۰۰۰	۱۱	۰/۲۳۰	۱۷	۰/۳۳۰	۲۳	۰/۰۰۰
۶	۰/۰۰۰	۱۲	۰/۲۳۳	۱۸	۰/۲۳۸	۲۴	۰/۰۰۰

جدول ۵. توان درخواستی انواع مصرف‌کنندگان در هر ساعت

ساعت	بار تجاری (kW)	بار صنعتی (kW)	بار خانگی (kW)	بار کل (kW)
۱	۲۲/۹۲	۲۸/۶۵	۳۴/۳۷	۸۵/۹۴
۲	۱۷/۲۷	۲۶/۳۶	۳۰/۹۴	۷۴/۵۷
۳	۲۰/۶۳	۱۹/۴۸	۲۸/۶۵	۶۸/۷۶
۴	۱۹/۴۸	۱۸/۳۴	۲۷/۵۰	۶۵/۳۲
۵	۱۸/۳۴	۱۸/۳۴	۲۶/۳۶	۶۳/۰۴
۶	۱۸/۳۴	۲۰/۶۳	۲۶/۳۶	۶۵/۳۳
۷	۲۰/۶۳	۳۶/۶۷	۲۸/۶۵	۸۵/۹۵
۸	۳۰/۹۴	۴۳/۵۴	۴۰/۱۰	۱۱۴/۵۸
۹	۴۵/۸۳	۵۷/۲۹	۵۷/۲۹	۱۶۰/۴۱
۱۰	۵۱/۵۶	۷۱/۰۴	۵۵/۰۰	۱۷۷/۶۰
۱۱	۵۹/۵۸	۷۴/۴۷	۵۵/۰۰	۱۸۹/۰۵
۱۲	۵۷/۲۹	۷۷/۹۱	۵۹/۵۸	۱۹۴/۷۸
۱۳	۶۳/۰۲	۶۸/۷۴	۶۳/۰۲	۱۹۴/۷۸
۱۴	۶۳/۰۲	۷۲/۱۸	۵۹/۵۸	۱۹۴/۷۸
۱۵	۶۵/۳۱	۷۲/۱۸	۵۷/۲۹	۱۹۴/۷۸
۱۶	۶۳/۰۲	۷۱/۰۴	۵۵/۰۰	۱۸۹/۰۶
۱۷	۵۳/۸۵	۶۸/۷۴	۵۵/۰۰	۱۷۷/۵۹
۱۸	۵۷/۲۹	۶۸/۷۴	۶۸/۷۴	۱۹۴/۷۷
۱۹	۸۰/۲۰	۵۵/۰۰	۹۱/۶۶	۲۲۶/۸۶
۲۰	۶۳/۰۲	۳۷/۸۱	۱۱۱/۱۳	۲۱۱/۹۶
۲۱	۴۶/۹۸	۳۵/۵۲	۱۱۲/۲۸	۱۹۴/۷۸
۲۲	۴۱/۲۵	۴۴/۶۹	۹۱/۶۶	۱۷۷/۶۰
۲۳	۴۰/۱۰	۴۵/۸۳	۶۸/۷۴	۱۵۴/۶۷
۲۴	۲۸/۶۵	۲۴/۰۶	۶۱/۸۷	۱۱۴/۵۸

جدول ۲. نرخ توان تولیدی واحد بادی در طول روز

ساعت	توان (kW/Inst. kW)	ساعت	توان (kW/Inst. kW)	ساعت	توان (kW/Inst. kW)	ساعت	توان (kW/Inst. kW)
۱	۰/۳۶۴	۷	۰/۴۶۶	۱۳	۰/۴۹۴	۱۹	۰/۳۶۴
۲	۰/۲۶۷	۸	۰/۴۷۷	۱۴	۰/۳۵۵	۲۰	۰/۳۷۳
۳	۰/۲۶۷	۹	۰/۴۲۴	۱۵	۰/۴۳۳	۲۱	۰/۲۶۰
۴	۰/۲۳۴	۱۰	۰/۳۸۱	۱۶	۰/۳۲۱	۲۲	۰/۲۳۸
۵	۰/۳۱۲	۱۱	۰/۴۵۹	۱۷	۰/۳۲۹	۲۳	۰/۳۱۲
۶	۰/۳۲۹	۱۲	۰/۳۹۰	۱۸	۰/۳۰۳	۲۴	۰/۳۴۶

جدول ۳. قیمت برق خریداری شده از شبکه بالادست

ساعت	قیمت (c\$/kWh)	ساعت	قیمت (c\$/kWh)	ساعت	قیمت (c\$/kWh)	ساعت	قیمت (c\$/kWh)
۱	۲/۱	۷	۱/۷	۱۳	۳/۹	۱۹	۵/۳
۲	۱/۷	۸	۲/۴	۱۴	۳/۸	۲۰	۴/۱
۳	۱/۷	۹	۳/۸	۱۵	۳/۳	۲۱	۳/۵
۴	۱/۶	۱۰	۴/۰	۱۶	۳/۲	۲۲	۲/۹
۵	۱/۶	۱۱	۴/۳	۱۷	۳/۳	۲۳	۲/۴
۶	۱/۶۵	۱۲	۴/۵	۱۸	۵/۹	۲۴	۲/۲

جدول ۴. قیمت پیشنهادی مصرف‌کنندگان برای اولویت‌های مختلف

مصرف‌کننده پاسخگو به قیمت ۱۰	پیشنهاد قیمت مصرف‌کننده (c\$/kWh)	
	غیر بحرانی	بحرانی
PRC1	۷	۵/۴۸
PRC2	۷	۰/۸۹
PRC3	۷	۲/۷۱
PRC4	۷	۱/۰۳
PRC5	۷	۵/۳۰
PRC6	۷	۰/۵۲
PRC7	۷	۴/۳۷

10. Price Responsive Consumer (PRC)

- [1] US Department of Energy, February 2006, "Benefits of Demand Response in Electricity Markets and Recommendations for Achieving them, Report to the United States Congress," available online: <http://eetd.lbl.gov>
- [2] Tsikalakis and Hatziaargyriou, 2011, "Operation of Microgrids with Demand Side Bidding and Continuity of Supply for Critical Loads," Euro.Trans.Electr.Power, vol. 21, pp. 1238-1254.
- [3] Chua-Liang Su and Daniel Kirschen, Aug 2009, "Quantifying the effect of demand response on electricity markets," IEEE Trans. on Power Syst., vol. 24, no. 3, pp. 1199-1207
- [4] Roscoe .A.J and Cult.G, July 2010 " Supporting high penetrations of renewable generation via implementation of real-time electricity pricing and demand response," IET Renewable Power Generation, vol.4, no.4, pp.369-382.
- [5] Daryanian.B, R.E. Bohn and R.D.Tabors, Aug.1989, "Optimal demand-side response to electricity spot prices for storage-type customers," IEEE Trans. on Power Syst., vol. 4, no. 3, pp. 897-903.
- [6] Conejo.A.J, Morales.J.M and Baringo.L, Dec.2010, "Real-time demand response model," IEEE Trans. on Smart Grid, vol. 1, no. 3, pp.236-242.
- [7] Roos. J.G and Lane.I.E Feb. 1999 , "Industrial power demand response analysis for one part real-time pricing," IEEE Trans. on Power Syst., vol. 13, no. 1, pp. 159- 164 .
- [8] Yang .D and Chen.Y, 2009, "Demand response and market performance in power economics:," in Proc. of IEEE Power and Energy Society General Meeting, pp.1-6.
- [9] Strbac.G, Farmer.E.D and Cory.B.J, May 1996, "Framework for the incorporation of demand-side in a competitive electricity market," in Proc. of IEEE Generation Transmission and Distribution, vol. 143, no. 3, pp. 232-237.
- [10] Nguyen.T.T and Yousefi.A, ,2011, "Multi-objective demand response allocation in restructured en market in Proc. of IEEE Innovative Smart Grid Technologies(ISGT), pp.1-8
- [11] Behrangrad. M, Sugihara.H and Funaki.T, 2010 "Analysing the system effects of optimal demand response utilization for reserve procurement and peak clipping," in Proc. of IEEE Power and Energy Society General Meeting, pp.1-7.
- [12] Yoo.T.H, Hun-Gyu Kwon, Lee.H.C., Rhee.C.H. Yoon.Y.T and Park.J.K ,2011 "Development of reliability based demand response program in Korea.," in Proc of IEEE Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), pp. 1-6
- [13] Nguyen.D.T , 2010 "Demand Response for Domestic and Small Business Consumers A New Challenge," in Proc. of IEEE Transmission Distribution Conference and Exposition, pp. 1-7
- [14] Wacks.K, Spring 2010, "Open Energy Managemen Architecture", iHomes & Buildings CABA, pp. 16-19
- [15] Mohesenian Rad. A.H Vincent Wong.W.S Jatskevich. J, Schober.R, , and Leon-Garcia.A, Dec.2010 "Autonomous demand-side management based on game theoretic energy consumption scheduling for the future smart grid," IEEE Trans on SmartGrid, vol. 1,no.3 ,pp. 320-331
- [16] Wang.Y, Pordanjani .I.R and Xu.W , "An event-driven demand response scheme for power system security enhancement," IEEE Tran on Smart Grid, vol. 2, no. 1, pp. 23-29, Mar. 2011.
- [17] Nguyen.D.T , 2010 "Demand Response for Domestic and Small Business Consumers A New Challenge," in Proc. of IEEE Transmission Distribution Conference and Exposition, pp. 1-7
- [18] Shawa.R, Attreea.M, Jacksonb.T, M. Kay, August 2009 "The value of reducing distribution losses by domesti load-shifting: a network perspective," Energy Policy, Elsevier, Volume 37, Issue 8, pp.3159-3167
- [19] Tenti, P.; Caldognetto, T.; Costabeber, A.; Mattavelli, P, Microgrids operation based on master-slave cooperative control ,Industrial Electronics Society, IECON 2013 - 39th Annual Conference of the IEEE, Page: 7623 - 7628
- [20] Samadi, P.; Mohsenian-Rad, H. ; Wong, V.W.S.; Schober, R, Real-Time Pricing for Demand Response Based on Stochastic Approximation, Smart Grid, IEEE Transactions on (Volume:5, Issue:2, March 2014 ,Page 789 - 798
- [21] G. Barbose, et al., "A Survey of Utility Experience with Real Time Pricing," Lawrence Berkeley National Laboratory Report, No. LBNL-54238, December 2004.
- [22] S. J. Rassenti, et al., "Controlling Market Power and Price Spikes in Electricity Networks: Demand-

side Bidding," Proc. Nat. Acad. Sci. , vol. 100, pp. 2998-3003, May 2003.

[23] R. L. Earle, "Demand Elasticity in the California Power Exchange day-ahead market," Elect. J., vol. 13, pp. 59-65, 2000.

[24] A. K .Basu, A. Bhattacharya, S. Chowdhury, S.P.Chowdhury, "Planned Scheduling for Economic Power Sharing in a CHP-Based Micro-Grid optimizing microgrids operation,"in Power and Energy Society General Meeting, 2011 IEEE, pp.1-8

[25] Papathanassiou.S, et al., "A benchmark LVmicrogrid for steady state and transient analysis,"

presented at the Cigre Symposium on Power Systems with Dispersed Generation, Athens, 17–20, April 2005

[26] Tsikalakis. A.G and Hatziargyriou .N.D, 2011 "Operation of Microgrids with DemandSide Bidding and Continuity of Supply for Critical Loads,"Euro. Trans. Electr. Power, vol21, pp. 1238-1254

[27] Tsikalakis. A.Gand Hatziargyriou. N.D 2011 "Centralized control for IEEE Generation Transmission and Distribution, vol. 143, no. 3, pp. 232-23