

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی



مقاله نویسی علوم انسانی



اصول تنظیم قراردادها



آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقاله

تحلیل مسئله مدیریت مصرف انرژی مبتنی بر تعرفه در شبکه هوشمند برق با استفاده از الگوریتم اجتماع ذرات

احمد یعقوبی اول

عضو هیات علمی آموزشکده فنی و حرفه‌ای سما

دانشگاه آزاد اسلامی واحد گناباد

گناباد، ایران

yaghoobiaval@gonabad_samacollege.ir

مهرداد حجت

استادیار دانشکده برق دانشگاه آزاد اسلامی

دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود

شاهرود، ایران

mehrdad.hojat@gmail.com

سخت‌افزارها، نرم‌افزارهای گزارشی و مدیریتی است که یک ساختار ارتباطی هوشمند را شکل می‌دهد. وجود بستر ارتباط دوسویه برای مصرف‌کننده و تولیدکننده و توانایی مصرف‌کننده در مدیریت مصرف^۲ (DSM) و ذخیره‌سازی انرژی و سرمایه‌گذاری یکی از بارزترین خصوصیات شبکه هوشمند امکان مدیریت مصرف بهینه در سمت توزیع است.

از جمله مشکلات و چالش‌های صنعت برق برای بهره‌برداران، تلفات بالای شبکه برق خصوصاً در شبکه توزیع، عدم همواری منحنی بار، داشتن پیک‌بار شدید، مشکلات زیست‌محیطی ناشی از سوختن سوخت‌های فسیلی و هدر رفت منابع اولیه و سرمایه‌برای مصرف‌بلا و مدیریت نشده مشترکین است. این مصرف‌بلا در گذشته با احداث واحدهای نیروگاهی که عمدتاً از نوع حرارتی بودند پاسخ داده شده است که علاوه بر صرف هزینه‌های بسیار بالا، سبب آلودگی‌های زیست‌محیطی نیز شده است؛ راهکار دیگری در کشورهای توسعه‌یافته ارائه گردیده که از آن تحت عنوان توان منفی نام برده شده است. این مفهوم بیان‌کننده این مطلب است که به‌منظور تأمین بار خصوصاً آن قسمت از بار که تنها در زمان اندکی از سال وارد مدار شده و هزینه‌های بالایی را به سیستم تحمیل می‌کند، نیاز به احداث و بهره‌برداری از نیروگاه‌های گران‌قیمت نیست، بلکه می‌توان با برنامه‌های مدیریت سمت مصرف بخش بسیار گران‌بار را کاهش داد و این کار به‌نوبه خود سبب صرفه‌جویی در هزینه‌ها و کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی نیز می‌شود.

چکیده — یکی از بارزترین خصوصیات شبکه هوشمند برق این است که جریان الکتریسیته از تولیدکننده به سمت مصرف‌کننده یک جریان دوطرفه است و در آن مصرف‌کننده نیز ابزار مانیتورینگ و مدیریت مصرف را در اختیار دارد. در میحث مدیریت مصرف انرژی تعرفه محور، اطلاع درست از رفتار بارها در پاسخ‌دهی به تغییر قیمت‌ها که مستلزم وجود شبکه هوشمند برق است، می‌تواند در بلندمدت تأثیرات مثبتی بر بهره‌وری مصرف انرژی داشته باشد. در این مقاله با استفاده از یک مدل ریاضی به بررسی اثرات تعرفه در مسئله مدیریت مصرف انرژی از دیدگاه مصرف‌کننده و خرده‌فروش پرداخته شده است. نتایج شبیه‌سازی حاکی از این امر است که تعرفه اوج بحرانی با توجه به کشش خودی و متقابل خاص، نسبت به سایر تعرفه‌ها سود بیشتری برای خرده‌فروش و مصرف‌کننده و هدف جابجایی پیک‌بار را تأمین می‌نماید.

واژه‌های کلیدی — شبکه هوشمند برق؛ مدیریت مصرف انرژی؛

پاسخ‌گویی بار؛ مدل‌سازی اقتصادی بار؛ تعرفه انرژی؛

۱. مقدمه

بر اساس تعریف شبکه هوشمند برق (S.G)^۱ به‌صورت مجموعه‌ای از

^۲ Demand Side Management

^۱ Smart grid

در مرجع [۶] بهینه‌سازی برنامه قیمت‌گذاری زمان استفاده، مورد مطالعه قرار گرفته است. شبیه‌سازی‌های این مرجع نشان می‌دهد که برنامه زمان استفاده به خوبی پیک را کاهش داده و منحنی بار را هموارتر می‌کند.

مرجع [۷] با بررسی اثر برنامه زمان استفاده بر کاهش بار پیک، روش جدیدی ارائه کرده که در این روش تعیین مقادیر تعرفه‌ها و تقسیم‌بندی زمانی به صورت هم‌زمان انجام شده است. اهداف در نظر گرفته شده، حداقل کردن بار پیک و هزینه‌های مصرف‌کننده و همچنین بهبود امنیت سیستم بوده و برای حل این مسئله بهینه‌سازی، از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است.

در مرجع [۸]، از یک مدل توانی و قیمت‌گذاری زمان واقعی و با لحاظ کردن سیاست تشویق و جریمه استفاده شده است و سناریوهای مختلف تشویق و جریمه از دیدگاه‌های مختلف که عبارت‌اند از: کاهش پیک، کاهش انرژی مصرفی، بهبود ضریب بار، بهبود هزینه بهره‌برداری و کاهش قیمت برق مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته است.

هدف این مقاله بررسی روش‌های پاسخ بار مبتنی بر تعرفه برای داده‌های بازار عمده‌فروشی New England و تحلیل رفتار عناصر خرده‌فروش و مصرف‌کننده در این بازار در ساعات مختلف روز می‌باشد، لذا ادامه بحث در این پژوهش به این ترتیب است که در بخش دوم به بیان فرضیات مسئله خواهیم پرداخت، در بخش سوم فرمول‌بندی مسئله، نظر به سود مصرف‌کننده و خرده‌فروش ارائه می‌گردد. نتایج شبیه‌سازی مدل مورد نظر بر روی شبکه نمونه در بخش چهارم نشان داده شده است و در بخش پایانی به نتیجه‌گیری از نتایج حاصل از شبیه‌سازی پرداخته شده است.

۲. فرضیات مسئله

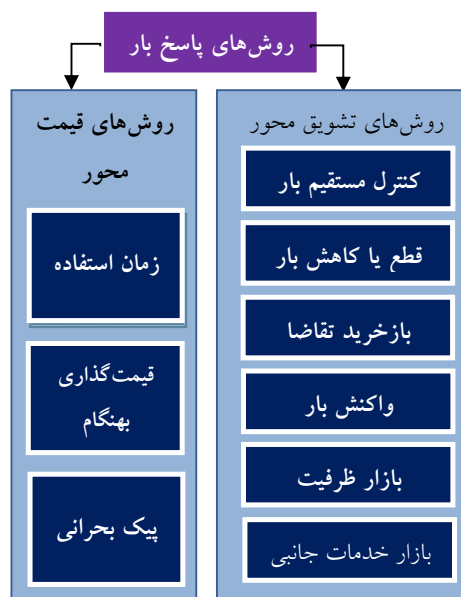
مصرف‌کنندگان به عقد قرارداد با خرده‌فروشی علاقه‌مندند که پیشنهادها و تعرفه‌های متنوع‌تری ارائه کنند. این پیشنهادها باید به گونه‌ای باشند که ضمن حفظ رفاه مصرف‌کننده، موجب کاهش قابل توجه در مصرف آن‌ها نیز باشند.

در همین راستا، خرده‌فروش می‌تواند با پرداخت‌های تشویقی و نرخ‌های متغیر در زمان، مصرف‌کنندگان را به کاهش مصرف آن‌ها در بازه‌های زمانی که قیمت بازار عمده‌فروشی بالا است و جابجایی مصرف به بازه‌های زمانی که قیمت بازار عمده‌فروشی پایین است، دعوت کند. در این صورت خرده‌فروش بهای کمتری برای خرید انرژی خواهد پرداخت.

از جمله روش‌های عقد قرارداد برای کاهش ریسک نوسان قیمت در بازار برق، قراردادهای دوطرفه است. یک خرده‌فروش می‌تواند برق مورد نیازش را به طور مستقیم از تولیدکنندگان انرژی الکتریکی تهیه کند. برخی

بدین ترتیب این برنامه‌ها توسعه و رشد یافتند و امروزه تحت عنوان برنامه‌های پاسخ بار معروف شده‌اند.

پاسخ بار به تغییر داوطلبانه الگوی مصرفی بار در پاسخ به سیاست‌های تشویقی و یا تغییر قیمت برق در زمان افزایش قیمت بازار عمده‌فروشی یا افزایش ریسک سیستم قدرت گفته می‌شود. مطابق گزارش وزارت انرژی آمریکا، روش‌های پاسخ بار به دودسته قیمت-محور و تشویق-محور تقسیم می‌شوند که در شکل ۱ این تقسیم‌بندی نشان داده شده است [۱-۲].



شکل ۱: دسته‌بندی روش‌های پاسخ بار [۱-۲]

در مرجع [۳] به بررسی اثرات به‌کارگیری دو نوع برنامه پاسخ بار در چند سناریوی مختلف پرداخته شده است. برای تحلیل و مقایسه نتایج شاخص‌هایی مانند پیک شبکه، انرژی مصرفی مشترکین، ضریب بار، فاصله پیک تا دره مورد توجه قرار گرفته است.

در مرجع [۴] با استفاده از ضرایب حساسیت قیمتی تقاضا و تابع سودمندی مشترکین، برنامه زمان استفاده مدل‌سازی شده است. در این مقاله، سناریوهای مختلف مانند قیمت‌گذاری‌های گوناگون، تغییر ساعات پیرودهای پیک، میان پیک و دره، تغییر میزان حساسیت مشترکین نسبت به تغییر قیمت‌ها و افزایش تعداد کنتورهای هوشمند شبیه‌سازی شده است. مدل مزبور بر روی منحنی بار شبکه سراسری کشور در سال ۸۶ اعمال و تغییرات منحنی بار بررسی گردیده است.

مرجع [۵] روشی برای کمی سازی تأثیر مشارکت بار در بازار برق پیشنهاد داده است. در این روش، رفتار مشتری در جابجایی مصرف خود، در فرایند تسویه بازار مدل‌سازی شده است. طبق نتایج، افزایش سطح شیف‌ت بار می‌تواند قیمت تسویه بازار را کاهش دهد.

است از طریق پاسخگویی بار یا به صورت تغییر در مصرف انرژی توسط مشترکین به واسطه تغییرات قیمت برق در طول زمان و یا پاسخ به پرداخت‌های تشویقی باهدف کاهش مصرف در پیک تعریف شده است. حذف این مقاله بررسی تأثیر تعرفه گذاری در روش مدیریت بار قیمت محور است لذا در ادامه به توضیح روش‌های تعرفه گذاری می‌پردازیم.

۱.۲. معرفی روش‌های مختلف تعرفه گذاری

۱.۱.۲: تعرفه زمان استفاده (TOU)

تعرفه زمان استفاده نوعی از تعرفه زمان محور است که در آن سه بازه زمانی پرباری، میان باری و کم باری تعریف می‌شود و نرخ برق برای هر یک از این بازه‌ها تعیین می‌گردد [۱۳].

۲.۱.۲: تعرفه ساعات اوج بحرانی (CPP)

این نوع تعرفه، بر اساس قیمت گذاری با تعرفه‌های چندین برابر نرخ عادی در ساعات خاصی از سال تعریف می‌شود. این ساعات خاص، زمان‌های محتمل برای بروز بحران در تولید یا بهره‌برداری سیستم قدرت هستند که متعاقب تغییرات قیمت، تقاضا، وقوع خطا و ... به وجود می‌آیند. بحران سیستم قدرت می‌تواند از کمبود تولید یا محدودیت ظرفیت شبکه و یا تغییرات جهشی قیمت انرژی در بازار رقابتی تولید، نشاءت بگیرد. در این تعرفه گذاری زمان مشخصی برای اطلاع‌رسانی در نظر گرفته می‌شود [۱۳].

۳.۱.۲: تعرفه به هنگام (RTP)

این تعرفه گذاری، ترکیبی از تعرفه ساعات بحرانی و زمان استفاده است. به این معنا که در ساعات بحرانی سال، نرخ برق با تعرفه بحرانی تعیین می‌شود اما در سایر ساعات از سه حالت کم باری، میان باری و پرباری استفاده می‌شود [۱۳].

۳. فرمول‌بندی مسئله

در مدل‌سازی مسئله بایستی اطلاعات قیمت و بار پیش‌بینی شده بهره‌بردار و نحوه عملکرد مشترکین در پاسخ به برنامه‌های مختلف پاسخگویی بار جهت نیل به اهداف کاهش بار پیک و افزایش سود خرده‌فروش و همچنین سود مصرف‌کننده در قبال ورود به برنامه پاسخگویی بار لحاظ گردد، لذا مدل‌سازی ریاضی، بر اساس روابط ۱ تا ۴ است. متغیرهای i و j دوره‌های در

مصرف‌کنندگان بزرگ نیز قراردادهای دوطرفه را ترجیح می‌دهند. در این مقاله فرض می‌شود که یک‌خرده فروش، صرفاً در بازار روز بعد، توان مشتریانش را تأمین می‌کند. سایر فرضیات مسئله به صورت ذیل می‌باشند [۹]:

۷ قیمت بازار برق در هر ساعت، بر اساس پیشنهادهای خرید و فروش سمت عرضه و تقاضا تعیین می‌شود. از آنجایی که مدت زمان برنامه‌ریزی کوتاه است، فرض می‌شود که خرده‌فروش با دقت خوبی بتواند قیمت‌های بازار عمده‌فروشی را پیش‌بینی کند. بنابراین قیمت‌های عمده‌فروشی $P_{wholesale}(i)$ در هر ساعت، ثابت فرض شده است.

۸ برای مصرف‌کننده، یک الگوی مصرف ۲۴ ساعته (منحنی بار اولیه) وجود دارد که به ازای نرخ‌های پایه در هر ساعت $P_0(i)$ ، توان مصرفی در هر ساعت را $d_0(i)$ مشخص می‌کند.

۹ هدف خرده‌فروش تعیین قیمت $P(i)$ است که باید برای هر ساعت روز بعد، برای مصرف‌کننده ارسال کند.

۱۰ میزان توان مصرف‌کننده در هر ساعت، تابعی از قیمت تعیین شده از سوی خرده‌فروش است.

۱۱ خرده‌فروش از برنامه‌های پاسخ بار که مصرف‌کننده را جریمه می‌کند، استفاده نمی‌کند و تنها از طریق تغییر قیمت، به دنبال مدیریت بار مصرف‌کننده است. این مدیریت بار، در راستای حداکثر کردن سود خرده‌فروش و کسب رضایت مصرف‌کننده است.

فعالیت اقتصادی خرده‌فروش، دربرگیرنده هزینه‌های مختلفی برای او می‌باشد. در این مقاله هزینه خرید انرژی از بازار، به عنوان هزینه عمده خرده‌فروش در نظر گرفته شده و سایر هزینه‌ها ناچیز فرض شده‌اند.

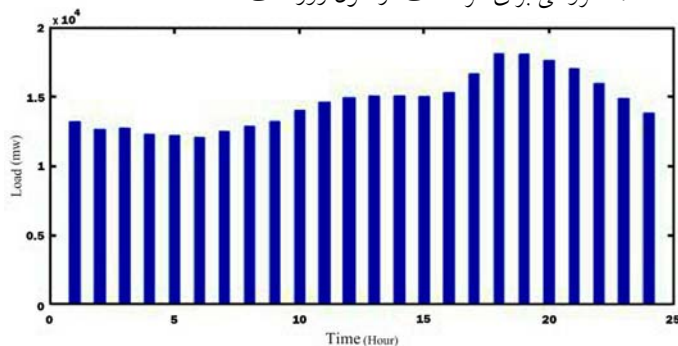
اساساً خرده‌فروش با مصرف‌کنندگانی سروکار دارد که آرامش ذهنی می‌خواهند و بالا و پایین شدن بیش از اندازه قیمت‌ها را نمی‌پسندند؛ بنابراین حداکثر قیمت پیشنهادی به مصرف‌کنندگان برابر قیمت بازار در هر ساعت بی‌باری و در حالت میان باری ۵ برابر و در اوج بار تا ۳ برابر قیمت بازار در آن ساعت فرض شده است.

معیار تعیین‌کننده حساسیت بار نسبت به تغییرات قیمت، کشش‌های تقاضای خودی در هر ساعت $E(i,i)$ و کشش‌های تقاضای متقابل بین ساعت‌های مختلف $E(i,j)$ است.

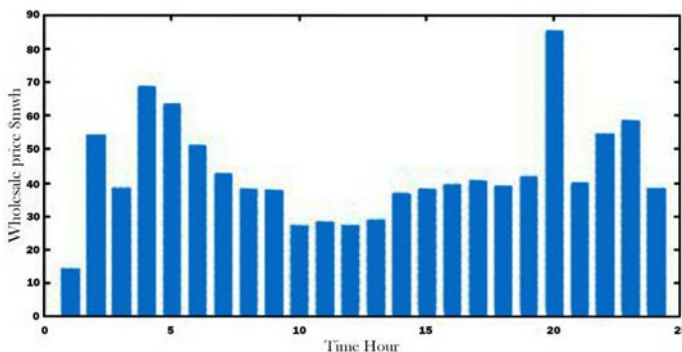
واحد متغیرهای $d_0(i)$ و $d(i)$ ، مگاوات بر ساعت و واحد متغیرهای $p_0(i)$ و $p(i)$ دلار بر مگاوات ساعت است.

مدیریت سمت تقاضا در واقع می‌تواند به عنوان روشی جهت کاهش مصرف پیک تلقی گردد که این امر همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده

عمده‌فروشی برای هر ساعت در طول روز است



شکل ۲: منحنی بار پیش‌بینی شده شبکه نمونه [۱۱]



شکل ۳: قیمت برق در بازار عمده‌فروشی

واضح است که تقریباً در بازه‌های زمانی پیک‌بار، قیمت بازار عمده‌فروشی بالاست و باید با اجرای یک تعرفه مناسب از روش‌های پاسخ بار مقدار توان مصرفی مصرف‌کننده در این بازه زمانی کاهش و به دوره‌های زمانی کم باری و میان باری انتقال یابد. کشش خودی و متقابل یک ماتریس ۲۴*۲۴ به صورت رابطه ۶ است.

$$\begin{pmatrix} E(1,1) & E(1,2) & E(1,3) & & E(1,24) \\ E(2,1) & E(2,2) & E(2,3) & \dots & E(2,24) \\ \dots & \dots & \dots & & \dots \\ E(23,1) & E(23,2) & E(23,3) & E(i,j) & E(23,24) \\ E(24,1) & E(24,2) & E(24,3) & & E(24,24) \end{pmatrix} \quad (6)$$

داده‌های این ماتریس به‌طور کامل برای هر دوره زمانی بی‌باری، میان باری و پرباری در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱: کشش‌های خودی و متقابل [۱۰]

دوره‌های زمانی	پرباری	میان باری	بی‌باری
پرباری	-۰/۱	۰/۰۱۶	۰/۰۱۲
میان باری	۰/۰۱۶	-۰/۱	۰/۰۱
بی‌باری	۰/۰۱۲	۰/۰۱	-۰/۱

نظر گرفته شده برای مصرف توان هستند که می‌توانند به صورت ساعتی از ۱ تا ۲۴ و یا سه تعرفه‌ای کم باری، میان باری و پرباری تعریف شوند [۹-۱۰].

$$\text{Max}_{p(i)} F = \sum_i [p(i) - p_{\text{wholesale}}(i)] d(i) \quad (1)$$

$$d(i) = d0(i) \left[1 + \sum_j E(i,j) \frac{p(i) - p0(j)}{p0(j)} \right] \quad (2)$$

$$\sum_i B(d(i)) - d(i)p(i) = \text{consumer benefit} \quad (3)$$

$$p_{\text{wholesale}}(i) \leq p(i) \leq k p_{\text{wholesale}}(i) \quad (4)$$

$$d0(i) \leq d(i) \leq a \cdot d0(i) \quad (5)$$

معادله ۱ تابع هدف که سود خرده‌فروش است که باید حداکثر شود و متغیرهای تصمیم‌گیری مقدار توان مصرفی و قیمت فروش برق به مصرف‌کننده که توسط خرده‌فروش اعلام می‌گردد، هستند.

از تابع هدف می‌توان استنباط نمود که سود خرده‌فروش برابر با پاسخ معادله ۱ است. معادله ۲ قید تساوی خطی بهینه‌سازی تعریف شده و مصرف بهینه‌شده مصرف‌کننده را که تابعی از متغیرهای بهینه‌سازی است، نشان می‌دهد و معادله ۳ بیانگر سود مصرف‌کننده است که در آن $B(d(i))$ مازاد ناخالص مصرف‌کننده بوده و از محاسبه سطح زیر منحنی تقاضای مصرف‌کننده به دست می‌آید و مقدار ثابت consumer benefit لحاظ شده است. معادله ۴ و ۵، قید کران‌دار مسئله بهینه‌سازی می‌باشد که معادله ۴ حدود بالا و پایین قیمت فروش برق به مصرف‌کننده است. k نیز برای بازه کم باری و میان باری ۱/۵ و بازه پرباری ۳ است. معادله ۵ حدود بالا و پایین توان مصرفی مصرف‌کننده را نشان می‌دهد که برای بازه‌های کم باری و میان باری a برابر ۳ است. مسئله بهینه‌سازی برای تعرفه زمان مصرف، تعرفه به هنگام و تعرفه اوج بحرانی حل شده و مشاهده می‌گردد که اجرای روش‌های پاسخ بار مبتنی بر تعرفه چه تأثیری بر منحنی بار اولیه سیستم و سود خرده‌فروش و مصرف‌کننده دارد. منحنی بار اولیه بازار موردنظر ما همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، در این شکل بازه‌های زمانی ساعت ۱۷ تا ۲۴ که سیستم بیشترین توان مصرفی را دوره پیک‌بار و بازه زمانی ۹ تا ۱۷ دوره میان باری و ساعات ۱ تا ۹ دوره بی‌باری یا کم باری سیستم در نظر گرفته می‌شود.

شکل ۲ منحنی بار اولیه سیستم را نشان می‌دهد و ما با اعمال روش‌های پاسخ بار می‌خواهیم علاوه بر اهداف مالی، پیک‌بار را کاهش دهیم. همچنین قیمت بازار عمده‌فروشی نیز به صورت شکل ۳ بوده که بیانگر قیمت بازار

بهینه‌سازی شده و شبیه‌سازی در محیط نرم‌افزاری MATLAB انجام شده و نتایج این مقایسه در جدول ۲ و شکل‌های ۴ و ۵ ارائه شده است.

۴. شبیه‌سازی

۴.۱. الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع ذرات (PSO)

روش بهینه‌سازی PSO که اولین بار توسط کندی و ابر هارت در سال ۱۹۹۵ معرفی شد، بر پایه شبیه‌سازی رفتار جمعی، گروهی از حشرات مانند زنبورها، مورچه هاو یا گروهی از حیوانات مثل ماهی‌ها شکل گرفت.

در این الگوریتم در واقع هر ذره بیانگر یک جواب ممکن است که به‌صورت تصادفی با موقعیت و سرعت اولیه تصادفی در فضای مسئله حرکت کرده و تغییر مکان هر ذره در فضای جستجو تحت تأثیر تجربه و دانش شخصی خود و دیگر ذرات یعنی همسایگان بوده و خصوصیت این روش تأثیرگذاری موقعیت سایر ذرات بر روی نحوه جستجوی ذره می باشد [۱۲].

عملکرد الگوریتم PSO بر این اصل استوار است که در هر لحظه هر ذره، مکان خود را در فضای جستجو با توجه بهترین مکان موجود در همسایگی‌اش تنظیم می نماید و موقعیت بعدی ذره و سرعت ذره با رابطه زیر معرفی شده است.

$$V_i(t+1) = \alpha V_i(t) + c_1 * R_1 * (P(t)_i - X(t)_i) + c_2 * R_2 * (G(t)_i - X(t)_i) \quad (7)$$

که در آن $v_i(t+1)$ سرعت ذره در لحظه بعدی، α ضریب اینرسی و بیانگر اثر سرعت قبلی بر سرعت فعلی، c_1 و c_2 ضرایب شتاب، R_1 و R_2 ضرایب تصادفی، $P(t)$ بهترین موقعیت کسب شده ذره تا به حال و $G(t)$ بهترین موقعیت کسب شده گروه تا به حال می باشد و به روزرسانی موقعیت ذره (پاسخ ممکن) از رابطه زیر امکان پذیر است:

$$X_i(t+1) = X_i(t) + \beta * V_i(t+1) \quad (8)$$

که در آن $X_i(t+1)$ موقعیت جدید ذره می باشد.

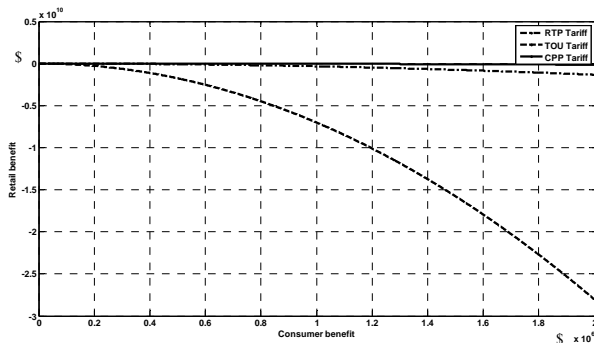
حل مسئله فوق با استفاده از نرم افزار MATLAB و با قرار دادن مشخصات $c_1 = c_2 = 2$ و مقدار α در ابتدای شبیه‌سازی ۰/۸ و کاهش آن به ۰/۳۵ تا انتهای شبیه‌سازی جهت همگرایی بهتر، در طی ۱۰۰ تکرار انجام شده است.

۴.۲. تحلیل مسئله بهینه‌سازی برای تعرفه‌گذاری‌های مختلف

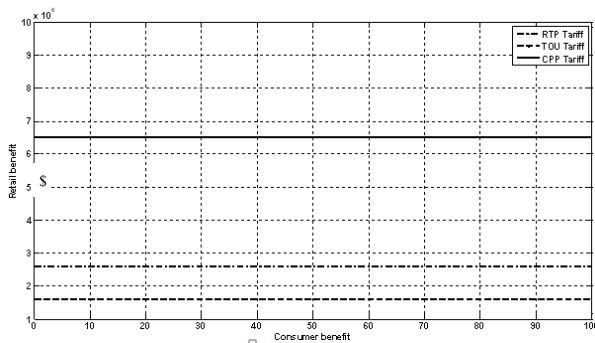
در این قسمت ابتدا با پیاده‌سازی تعرفه به هنگام، تعرفه زمان استفاده و تعرفه پیک بحرانی به حل مسئله بهینه‌سازی و سپس به مقایسه سود حاصله خرده‌فروش و مصرف‌کننده، از اعمال روش‌های پاسخ بار مبتنی بر تعرفه در این بازار خواهیم پرداخت. این مسئله غیرخطی توسط الگوریتم اجتماع ذرات

جدول ۲ محاسبه میزان سود خرده‌فروش در قبال میزان سود مصرف‌کننده

نوع تعرفه‌گذاری	سود مصرف‌کننده (دلار)	سود متناظر خرده‌فروش (دلار)
تعرفه به هنگام	صفر	۲/۶۰۰/۰۰۰
تعرفه زمان استفاده	۶۰/۰۰۰	۱/۴۰۰/۰۰۰
	صفر	۱/۶۰۰/۰۰۰
تعرفه اوج بحرانی	۱۰/۰۰۰	۹۰۰/۰۰۰
	صفر	۶/۵۰۰/۰۰۰
	۲۰۰/۰۰۰	۵/۰۰۰/۰۰۰



شکل ۴: مقایسه تغییرات میزان سود خرده‌فروش بر حسب مصرف‌کننده



شکل ۵: تغییرات میزان سود خرده‌فروش بر حسب سود مصرف‌کننده

جدول ۲ بیانگر میزان سود مصرف‌کننده در قبال سود متناظر خرده‌فروش به ازای شرکت مصرف‌کننده در هر یک از برنامه‌های مختلف پاسخ‌گویی بار است و همچنین با استفاده از درون‌یابی منحنی تغییرات سود مصرف‌کننده متناظر با تغییرات سود خرده‌فروش با استفاده از نتایج این جدول در شکل ۴ و ۵ نمایش داده شده است.

در جدول ۴ قیمت‌های اعمالی برای سه تعرفه روش‌های پاسخ بار مبتنی بر تعرفه در مقایسه باقیمت پایه ارائه گردیده است.

جدول ۴: مقایسه قیمت حاصل از روش‌های پاسخ بار مبتنی بر تعرفه

ساعت	تعرفه به هنگام (دلار بر مگوات ساعت)	تعرفه زمان استفاده (دلار بر مگوات ساعت)	تعرفه اوج بحرانی (دلار بر مگوات ساعت)	قیمت بازار عمده‌فروشی (دلار بر مگوات ساعت)	تعرفه ثابت (دلار بر مگوات ساعت)
۱	۴۲/۳۴	۴۱	۴۱/۵۸	۱۴/۲۳	۴۰/۹۹۱۳
۲	۳۹/۸۴	۴۱	۴۱/۵۸	۵۳/۸۷	۴۰/۹۹۱۳
۳	۳۹/۵۸	۴۱	۴۱/۵۸	۸۴/۶۵	۴۰/۹۹۱۳
۴	۳۹/۵۸	۴۱	۴۱/۵۸	۶۸/۴۸	۴۰/۹۹۱۳
۵	۳۹/۵۸	۴۱	۴۱/۵۸	۶۳/۳۵	۴۰/۹۹۱۳
۶	۳۹/۵۸	۴۱	۴۱/۵۸	۵۰/۹۹	۴۰/۹۹۱۳
۷	۲۵/۸۵	۴۱	۴۱/۵۸	۴۲/۲۷	۴۰/۹۹۱۳
۸	۳۹/۳۲	۴۱	۴۱/۵۸	۳۷/۸	۴۰/۹۹۱۳
۹	۳۴/۴۹	۴۱	۴۱/۶۴	۳۷/۴	۴۰/۹۹۱۳
۱۰	۳۲/۴	۴۱	۴۱/۶۴	۲۳/۰۲	۴۰/۹۹۱۳
۱۱	۳۳/۶	۴۱	۴۱/۶۴	۸/۰۸	۴۰/۹۹۱۳
۱۲	۳۳/۷	۴۱	۴۱/۶۴	۸/۰۵	۴۰/۹۹۱۳
۱۳	۳۴/۴	۴۱	۴۱/۶۴	۲۸/۷۵	۴۰/۹۹۱۳
۱۴	۳۴/۴	۴۱	۴۱/۶۴	۳۶/۸۳	۴۰/۹۹۱۳
۱۵	۳۴/۰۵	۴۱	۴۱/۶۴	۳۷/۶۵	۴۰/۹۹۱۳
۱۶	۳۴/۴	۴۱	۴۱/۶۴	۳۹/۳۸	۴۰/۹۹۱۳
۱۷	۸۸/۹۴	۴۲	۹۱/۹۹	۴۰/۳	۴۰/۹۹۱۳
۱۸	۹۰/۶	۴۲	۹۱/۹۹	۳۸/۷۱	۴۰/۹۹۱۳
۱۹	۹۰/۵	۴۲	۹۱/۹۹	۴۱/۶۷	۴۰/۹۹۱۳
۲۰	۹۴/۴	۴۲	۹۱/۹۹	۳۸/۲۲	۴۰/۹۹۱۳
۲۱	۹۰/۲	۴۲	۹۱/۹۹	۳۹/۵۵	۴۰/۹۹۱۳
۲۲	۸۹/۷	۴۲	۹۱/۹۹	۵۴/۱۳	۴۰/۹۹۱۳
۲۳	۸۹/۳	۴۲	۹۱/۹۹	۵۸/۱۲	۴۰/۹۹۱۳
۲۴	۹۰/۳	۴۲	۹۱/۹۹	۳۸/۱	۴۰/۹۹۱۳

۴,۳. تحلیل میزان تغییرات توان مشترکان با اجرای سه تعرفه گذاری مختلف

در گام بعد به بررسی و تحلیل تغییرات و جابه‌جایی بار مصرف‌کننده در بازه‌های زمانی پر باری و بازه‌های زمانی اوج بحرانی (که فقط در ساعاتی از سال اتفاق می‌افتد) به بازه‌های زمانی کم باری و میان باری می‌پردازیم که این نتایج به صورت کامل در جدول ۲ ارائه شده است. همان‌گونه که قیمت برق در بازار عمده‌فروشی برای ساعات مختلف روز متفاوت است، اگر خرده‌فروش بتواند این تغییرات را به مصرف‌کننده که نتیجه روش‌های پاسخ بار است، اعمال نماید، با در نظر گرفتن رضایتمندی مشترک به سودی حداکثری دست پیدا می‌نماید و پایداری سیستم قدرت را نیز در بازه‌های زمانی اوج بحرانی حفظ می‌نماید.

جدول ۳: مقایسه تغییرات توان مصرفی مشترکان با اجرای روش‌های پاسخ بار

ساعت	توان مصرفی پیش‌بینی‌شده (مصرف‌کننده (مگوات))	توان مصرفی با اعلام تعرفه به هنگام (مگوات)	توان مصرفی با اجرای تعرفه (زمان استفاده (مگوات))	توان مصرفی یا اجرای تعرفه اوج بحرانی (مگوات)
۱	۱۳۱۳۶/۱۳	۱۶۰۷۴/۶	۱۳۱۳۳/۵	۳۳۳۷۹
۲	۱۲۶۴۵/۵۶	۱۶۳۳۹/۶	۱۲۶۴۶	۳۲۱۳۳
۳	۱۲۶۷۰/۵۸	۱۶۶۶۴/۸	۱۲۶۷۱	۳۲۱۹۶
۴	۱۲۲۶۱/۱۴	۱۵۹۳۲/۷	۱۲۲۶۱	۳۱۱۵۶
۵	۱۲۲۰۶/۹۵	۱۵۸۶۲/۳	۱۲۲۰۲	۳۱۰۱۸
۶	۱۲۰۵۱/۲۸	۱۵۶۵۹/۹۸	۱۲۰۵۱	۳۰۶۲۳
۷	۱۲۴۹۴/۰۸	۱۴۹۶۷/۸	۱۲۴۹۳	۳۱۷۴۸
۸	۱۲۸۲۱/۷	۱۵۹۴۷/۶	۱۲۸۲۲	۳۲۵۸۰
۹	۱۳۱۸۶/۲۷	۱۶۸۳۱/۶	۱۳۱۸۳	۱۳۱۸۶
۱۰	۱۳۹۳۸/۲۸	۱۸۹۳۰/۵	۱۳۹۳۴	۱۳۹۳۸
۱۱	۱۴۵۳۹/۴۵	۱۹۷۴۶/۹	۱۴۵۳۴	۱۴۵۳۹
۱۲	۱۴۹۱۵/۷۸	۲۰۲۵۸/۱	۱۴۹۱۵	۱۴۹۱۵
۱۳	۱۵۰۲۴/۲۶	۱۹۰۲۲/۸	۱۵۰۲۲	۱۵۰۲۴
۱۴	۱۴۹۷۱/۸۴	۱۸۹۵۶/۴	۱۴۹۶۷	۱۴۹۷۱
۱۵	۱۴۹۸۲/۹۷	۱۹۱۳۱/۷	۱۴۹۷۸	۹۲۱۰
۱۶	۱۵۲۶۷/۵۸	۱۹۳۳۰/۷	۱۵۲۶۹	۹۳۸۵
۱۷	۱۶۶۲۰/۴۷	۷۲۹۱/۹	۱۶۶۱۴	۱۸۷
۱۸	۱۸۰۷۵/۸۱	۷۹۱۹/۶	۱۸۰۶۹	۸۵۶۴
۱۹	۱۸۰۱۳/۵۹	۷۹۰۲/۹	۱۸۰۰۵	۸۵۲۹
۲۰	۱۷۶۲۲/۷۷	۷۷۳۹/۴	۱۷۶۱۵	۸۳۱۶
۲۱	۱۷۰۰۶/۱۴	۷۴۷۳/۴	۱۶۹۷۷	۷۹۷۶
۲۲	۱۵۹۸۳/۹۲	۷۰۴۸/۶	۱۵۹۸۴	۷۴۶۶
۲۳	۱۴۸۵۹/۵۴	۶۵۸۰/۳	۱۴۸۵۴	۶۹۴۱
۲۴	۱۳۷۷۹/۲۲	۶۱۴۴/۹	۱۳۷۷۵	۶۴۳۶

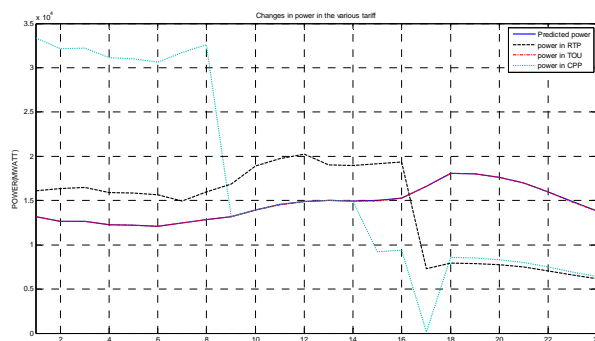
شکل ۶ مقایسه تغییرات میزان توان مصرفی مشترکین نسبت به توان مصرفی پیش‌بینی‌شده را در تعرفه گذاری‌های مختلف و شکل ۷ این مقایسه را در ساعات اوج مصرف بر اساس داده‌های جدول ۲ نشان می‌دهد.

است که انتخاب تعرفه گذاری بحرانی و به هنگام کمترین توان مصرفی را در ساعت اوج مصرف در پی داشته است. می‌دانیم که اعمال تعرفه به هنگام و تعرفه بحرانی در بستر شبکه‌های هوشمند برای حتی مصرف‌کنندگان کوچک امکان‌پذیر است و از آنجایی که در یک خرید، قدرت چانه‌زنی خریدار از فروشنده بیشتر است با اعمال روش‌های پاسخ بار مبتنی بر تعرفه، مصرف‌کننده تعرفه‌ای را که سود بیشتری به او برساند انتخاب می‌کند و با این انتخاب نه تنها مصرف‌کننده و خرده‌فروش به یک سود مناسب می‌رسند بلکه پیک‌بار سیستم قدرت نیز کاهش می‌یابد.

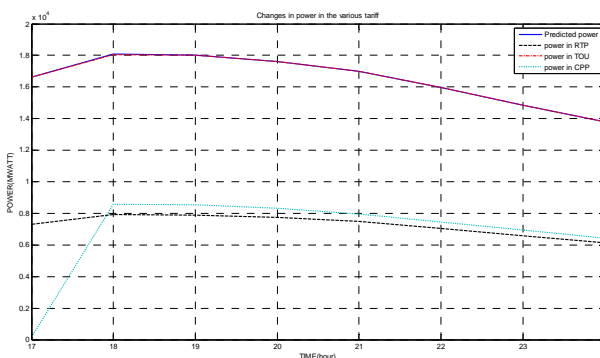
منابع

- [1] M.H.Albadi;E.F.El-saadany; "A summary of demand response in electricity markets", *Electric Power Systems Research*, Volume 78, Issue 11, 2008
- [2] Staff Report; "Assessment of demand response and advanced metering", <http://www.FERC.gov>, 2006
- [3] H.A. Aalami, M. Parsa Moghaddam, G.R. Yousefi; "Demand response modeling considering Interruptible/Curtailable loads and capacity market programs", *Applied Energy*, Volume 87, Issue 1, pp.741-752, 2010.
- [4] اعلی، حبیب‌الله؛ پارسا مقدم، محسن؛ یوسفی، غلامرضا؛ "ارزیابی اجرای برنامه TOU کشور و پیشنهاد برنامه بهینه با استفاده از مدل DR"، بیست و چهارمین فرمایشی بین‌المللی برق ایران، تهران، ۱۳۸۸.
- [5] حسینی منش، سید احسان؛ حسینی جاویدی، محمدحسین؛ شریفیان عطار، تکتیم؛ "مدل‌سازی تأثیر برنامه‌های پاسخگویی بار بر تعامل خرده‌فروش و مصرف‌کننده"، بیست و هشتمین فرمایشی بین‌المللی برق ایران، تهران، ۲۰۱۳.
- [6] Chua-Liang Su, Kirschen D; "Quantifying the Effect of Demand Response on Electricity Markets", *IEEE Transactions on Power Systems*, Volume 24, Issue 3, pp 1199 – 1207, 2009
- [7] Weihao Hu, Zhe Chen, Bak-Jensen B; "Optimal Load Response to Time-of-Use Power Price for Demand Side Management in Denmark", *Power and Energy Engineering Conference (APPEEC)*, pp 1-4, 2010.
- [8] شرکتی، غلامرضا؛ "ارائه راهکاری جدید برای مدیریت غیرمستقیم مصرف در محیط تجدید ساختار شده"، دانشگاه فردوسی مشهد، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، ۱۳۸۶.
- [9] Shaghayegh Yousefi, Mohsen Parsa Moghaddam, Vahid Johari Majid; "Optimal Real Time Pricing In An Agent-Based Retail Market Using a Comprehensive Demand Response model", *Energy*, 36, pp.5716-5727, 2011.
- [10] Almi HA, Parsa Moghaddam M, Yosefi GR; "Modeling And Prioritizing Demand Response Programs In Power Markets", *Electric Power Systems Research* 80, PP.426- 435, 2010.
- [11] Independent System Operator (ISO) New England. Hourly zonal information, available t: http://www.isone.com/markets/hstdata/znl_info.
- [12] Kennedy, J; "The Behavior of Particles", *Unit Overview. Fundamentally, chemistry is the science of interacting particles*. 1998.

[۱۳] سازمان بهره‌وری انرژی ایران، "تنوع‌بخشی به تعرفه‌های برق باهدف مدیریت بار الکتریکی"، تابستان ۱۳۹۳



شکل ۶: مقایسه توان مصرفی مشترکین در تعرفه گذاری های مختلف



شکل ۷: مقایسه توان مصرفی مشترکین در تعرفه گذاری های مختلف در

ساعات اوج مصرف

۵. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

هدف ما از اجرای روش‌های پاسخ بار مبتنی بر تعرفه، یافتن تعرفه‌ای که سود بیشتری به خرده‌فروش و مصرف‌کننده برساند و مقدار توان مصرفی اوج بار را کاهش دهد، بود. همان‌طور که در شکل ۵ و نتایج جداول ۳ و ۴ نشان داده شده است تعرفه گذاری بحرانی بیشترین سود را برای مصرف‌کننده و خرده‌فروش داشته و همچنین کمترین نوسانات تناسبی را در قبال افزایش سود مصرف‌کننده برای خرده‌فروش دارد و تعرفه گذاری به هنگام بیشترین کاهش مصرف را به دنبال داشته است.

همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، میزان مصرف مشترک در تعرفه گذاری زمان استفاده بسیار نزدیک به بار پیش‌بینی شده توسط بهره‌بردار بوده است و یکی از اهداف طرح مسئله یعنی جابجایی مصرف مشترک را برآورده نمی‌کند درحالی‌که حاکی از جابجایی بار مشترک از ساعات اوج بار به ساعات کم باری در انتخاب تعرفه گذاری بحرانی و همچنین جابجایی بار مشترک از ساعات اوج بار به ساعات کم باری و میان باری در تعرفه گذاری به هنگام می‌باشد. شکل ۷ بیانگر این نکته

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی



مقاله نویسی علوم انسانی



اصول تنظیم قراردادها



آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقاله