

تأثیر مدل‌سازی تعرفه پاسخ بار پیک بحرانی بر بهینه‌سازی مصرف برق شهرستان

دورود

محمد حاجی‌وند^۱، رضا حاجی‌وند^۲، فرشته مقاتلی^۳ و محمد کرابی^۴

^۱ دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بروجرد، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، بروجرد، ایران، Mohamadhajivand@gmail.com

^۲ دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بروجرد، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، بروجرد، ایران، Rezahajivand@gmail.com

^۳ گروه برق، دانشگاه کاشان، ایران، F.moghateli@gmail.com

^۴ گروه برق، واحد تهران شرق، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران،

چکیده - در این مقاله یک مدل ریاضی برای پیش‌بینی رفتار مشترکین برق با در نظر گرفتن مقدار کشش قیمتی و کشش آب و هوا معرفی می‌شود. در این مدل از تابع تقاضای کاب-داگلاس استفاده شده است. همچنین پارامترهای این مدل برای شبیه‌سازی و تخمین رفتار مشترکین برق شهرستان دورود در پاسخ به روش پاسخ بار پیک بحرانی تنظیم شده است. برای این منظور از روش کمترین مربعات معمولی و به منظور سنجش مدل در شبیه‌سازی روش قیمتگذاری پیک بحرانی برای مشترکین مورد نظر، سناریوهای مختلف قیمتگذاری از دیدگاه فنی و اقتصادی شامل جابجایی بار، درصد کاهش پیک، مقدار بهبود ضریب بار، مقدار کاهش انرژی مصرفی روزانه مشترکین و مقدار کاهش صورتحساب قبض برق مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته‌اند. شبیه‌سازی در محیط نرم‌افزاری *MATLAB* و *Eviews* انجام گرفته است. کلیدواژه- پاسخ بار، تابع کاب-داگلاس، قیمتگذاری پیک بحرانی، مصرف انرژی الکتریکی.

تحلیل می‌کند، نیاز به احداث و بهره‌برداری از نیروگاه‌های گران قیمت نیست بلکه می‌توان با برنامه‌های مدیریت سمت مصرف آن قسمت بسیار گران‌بار را کاست و علاوه بر صرفه‌جویی در هزینه-ها، آلودگی‌های زیست‌محیطی را نیز کاهش داد. 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 دو دسته روش‌های قیمت-محور و تشویق-محور تقسیم می‌شوند (شکل ۱ را ببینید) [۱-۲].

۱- مقدمه

از جمله مشکلات و عدم مطلوبیت‌های صنعت برق برای بهره‌برداران و حاکمیت در ایران، تلفات بالای شبکه برق خصوصاً در شبکه توزیع، عدم همواری منحنی بار، داشتن پیک بار شدید، مشکلات زیست‌محیطی ناشی از سوختن سوخت‌های فسیلی و هدررفت منابع اولیه و سرمایه‌ها در اثر مصرف بالا و مدیریت نشده مشترکین است. این مصرف بالا در گذشته با احداث واحدهای نیروگاهی که عمدتاً از نوع حرارتی بودند پاسخ داده شده است، که علاوه بر صرف هزینه‌های بسیار بالا سبب آلودگی-های زیست‌محیطی نیز می‌شد. اما در کنار این راهکار، راهکار دیگری نیز در کشورهای توسعه یافته ارائه شد، که از آن تحت عنوان توان منفی نام برده شده است. این مفهوم بیان‌کننده این مطلب است که به منظور تامین بار خصوصاً آن قسمت از بار که تنها در زمان اندکی از سال وارد مدار شده و هزینه‌های بالایی را

در مرجع [۵] به بررسی قابلیت کاهش بار بیشینه در شبکه قدرت پرداخته شده است. در گزارش مذکور فرض بر وجود تمامی زیرساخت‌های لازم در شبکه قدرت به منظور اجرای برنامه‌های پاسخگویی بار توسط تمامی مصرف‌کنندگان است و بر این اساس تحلیل‌ها و نتایجی ارائه شده است.

مرجع [۶] در کنار تشریح مولفه‌های شبکه قدرت هوشمند، چگونگی مشارکت مصرف‌کنندگان را در برنامه‌های پاسخگویی بار و البته در سیستم قدرت هوشمند مورد بررسی دقیق قرار می‌دهد. در این مقاله چالش‌ها و فرصت‌های بکارگیری برنامه‌های پاسخگویی بار در یک شبکه هوشمند با در نظر گرفتن جنبه‌های فنی، اطلاعاتی و اقتصادی ترسیم شده است.

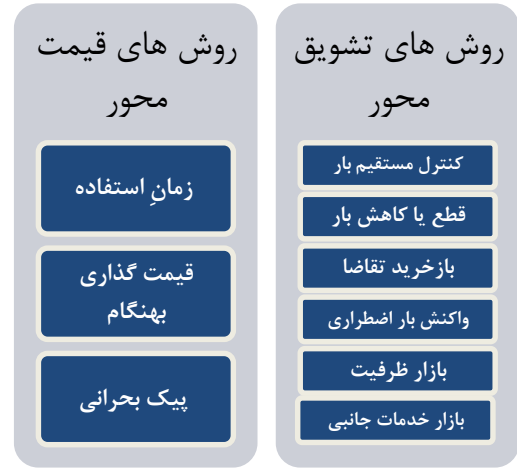
در مرجع [۷] با تمرکز بر برنامه‌های تشویق محوری همچون برنامه‌های بازار ظرفیت و برنامه‌های کاهش/قطع بار، با استفاده از یک مدل بار اقتصادی به تحلیل تاثیر اجرای برنامه‌های پاسخگویی بار و برخی پارامترهای شبکه قدرت پرداخته شده است. همچنین در مقاله مذکور سود و زیان مصرف‌کنندگان در پی اجرای برنامه‌های پاسخگویی بار تشویق محور مورد بررسی قرار گرفته است.

اولویت‌بندی اجرای برنامه‌های پاسخگویی بار بر اساس تصمیم‌گیری چند شاخصه در مرجع [۸] انجام شده که در آن نیز از مدل اقتصادی بار استفاده شده است.

در مرجع [۹] بر اساس تحلیل حساسیت و با استفاده از مدل اقتصادی بار به منظور مدل نمودن برنامه پاسخگویی بار، بارهای مناسب برای شرکت در برنامه پاسخگویی بار انتخاب شده است. در این مقاله ذخیره چرخان سیستم با استفاده از شاخص‌های احتمالاتی و در حضور برنامه‌های پاسخگویی بار تعیین می‌گردد.

ارزیابی تاثیر برنامه‌های پاسخگویی بار بر تراکم خطوط انتقال در مرجع [۱۰] صورت گرفته است و در آن سعی در کاهش هزینه‌های مدیریت تراکم خطوط انتقال با استفاده از برنامه‌های پاسخگویی بار شده است.

به منظور تعیین چگونگی تغییرات بار یک مشترک نوعی به تغییرات قیمت واحد انرژی الکتریکی و در بازار و همچنین مدلسازی برنامه پاسخگویی بار زمان واقعی با در نظر گرفتن عدم قطعیت قیمت‌ها، مرجع [۱۱] از یک مدل ساده خطی و روش



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

از طرف دیگر آژانس بین‌المللی انرژی (IEA) با توجه به تغییرات ساختاری بوجود آمده در صنعت برق یک استراتژی ۵ ساله ارائه داده است و در این طرح ضمن بازنگری در روش‌های مدیریت سمت تقاضا در سیستم سنتی، ۱۵ گلوگاه و پروژه مهم را معرفی نموده که با انجام تحقیقات بر روی هر کدام از محورهای مزبور بتوان برنامه‌های مدیریت مصرف را در بازارهای برق پیاده کرد. محور سیزدهم این برنامه به بررسی منابع پاسخگویی بار و لزوم استفاده از این منابع تاکید دارد [۳].

با حضور مصرف‌کنندگان در بازار برق، این مصرف‌کنندگان می‌توانند به عنوان منابعی جدید در سیستم قدرت در نظر گرفته شوند. حضور مصرف‌کننده‌ها در بازار موجب رقابتی‌تر شدن بازار و بهبود وضعیت اقتصادی بازار می‌شود.

تحقیقات متعددی در زمینه پاسخگویی بار و همچنین تاثیرات اقتصادی و فنی آن بر بازار و سیستم قدرت انجام شده است که از جمله آن‌ها می‌توان به گزارشات علمی کاربردی وزارت انرژی آمریکا و کمیته تنظیم انرژی آن (FERC) اشاره نمود. گزارشات مهم و تجربی اپراتورهای مستقل سیستم بازارهای آمریکا که به صورت ماهانه و سالانه برای کمیته تنظیم انرژی ارسال می‌شود حاوی تجربیات اجرایی برنامه‌های پاسخگویی بار در بازارهای مربوطه است [۴].

تاکنون تحقیقات قابل توجهی در جهت مدل‌سازی پاسخ بار و با فرض وابستگی بار الکتریکی به قیمت برق، صورت گرفته است.

برق بسیار بالا (به عنوان مثال گرمای بسیار شدید)، قابلیت اطمینان سیستم در خطر است (وقوع یک پیشامد اتفاقی) و یا قیمت بازار عمده فروشی بسیار بالا می باشد، استفاده از قیمتگذاری زمان بحرانی راه حل مناسبی به نظر می رسد. تعرفه-ی پیک بحرانی در واقع تعرفه ای است که در ساعات بحرانی به برنامه ی قیمتگذاری ثابت و یا زمان استفاده اضافه می شود. نمونه ای از این تعرفه در شکل ۲ نشان داده شده است. همان طور که در این شکل دیده می شود، این تعرفه به تعرفه ی زمان استفاده اضافه شده است. ساعات بحرانی تنها در چند روز از یک سال (زمانی که سیستم و یا بازار با بحران روبرو است) اتفاق خواهد افتاد. به طور معمول مصرف کنندگان از روز قبل، از این افزایش قیمت ها اطلاع پیدا می کنند. البته در برخی موارد به منظور تضمین کاهش بار از کنترل خودکار استفاده می شود. این روش به دلیل از پیش تعیین شدن قیمت ها، از مزایای اقتصادی کمتری نسبت به روش زمان واقعی برخوردار می باشد. اما از طرفی دیگر همین ویژگی این روش سبب جذاب شدن آن شده است. چراکه برخلاف زمان واقعی این روش خطر روبرو شدن با تغییرات قیمت ناگهانی شدید را ندارد. شرکت کنندگان در این برنامه در ساعات غیر از ساعات بحرانی از تخفیف در قیمت برق برخوردار خواهند شد. با وجود این که این برنامه مبتنی بر قیمت می باشند، این واقعیت که در زمان به خطر افتادن سیستم قابل استفاده می باشند، این برنامه ها را در دسته ی برنامه های مبتنی بر قابلیت اطمینان نیز قرار داده است. شواهد تجربی نشان می دهد که این برنامه ها می تواند سبب کاهش به مقدار کافی در بارها در ساعات بحرانی شود. به عنوان مثال در کالیفرنیا استفاده از تعرفه ی پیک بحرانی مقدار ۴۱ درصد کاهش در بارها را از مقدار عادی مصرفشان (مصرف بدون تعرفه ی پیک بحرانی) در طول ۲ ساعت که ناشی از گرمای شدید بود، نتیجه داده است [۱۷].

برنامه ریزی خطی به منظور حل مسئله بهینه سازی بهره گرفته است.

با استفاده از روش برنامه ریزی ترکیبی تصادفی اعداد صحیح، زمان بندی اجرای برنامه پاسخگویی بار در قالب یک مسئله برنامه ریزی مقید به امنیت مشارکت واحدها، در مرجع [۱۲] انجام گرفته است. همچنین در این مقاله چگونگی تاثیر برنامه های پاسخگویی بار بر تامین ذخیره بهره برداری مورد بررسی قرار گرفته است.

مرجع [۱۳] با معرفی یک تابع انعطاف پذیر برای الاستیسیته سود مشتری و تقاضا، به شبیه سازی بار پاسخگو پرداخته و الاستیسیته برنامه های پاسخگویی بار را قبل و بعد از اجرای آنها در بازار رقابتی مورد بررسی قرار داده است.

در مرجع [۱۴] با معرفی یک تابع ترکیبی تقاضا به مدلسازی بخش های مصرف کننده انرژی الکتریکی به منظور بکارگیری در یک برنامه پاسخگویی بار جامع مبتنی بر الاستیسیته پویا پرداخته شده است.

مدیریت قیمت های محلی حاشیه ای با استفاده از برنامه های پاسخگویی بار در مرجع [۱۵] ارائه شده است. در این مرجع برنامه های پاسخگویی بار بعنوان ابزاری قدرتمند و تاثیرگذار بر قیمت های سیستم قدرت تجدید ساختار یافته معرفی شده اند.

مهدی نیک زاد و همکارانش در [۱۶]، از یک مدل توانی و قیمتگذاری زمان واقعی و با لحاظ کردن سیاست تشویق و جریمه مدل سازی شده است. سناریوهای مختلف تشویق و جریمه از دیدگاه مختلف که عبارتند از: کاهش پیک، کاهش انرژی مصرفی، بهبود ضریب بار، بهبود هزینه بهره برداری و کاهش قیمت برق مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته شده است.

در ادامه در بخش ۲ روش پاسخ بار پیک بحرانی به اجمال معرفی شده و در بخش ۳ به مدل پیشنهادی پرداخته شده است. در بخش ۴ نتایج شبیه سازی و در بخش ۵ نتیجه گیری ارائه شده است.

۲- روش پاسخ بار پیک بحرانی

روبرو شدن بارها با قیمت واقعی بازار بالاخص در ساعات پیک بسیار با اهمیت می باشد. به منظور برآورده کردن نیاز به کاهش مصرف در ساعات بحرانی سال که در آن ساعات مصرف

۲۰۲۱ آبان ماه ۱۳۹۴ - دانشگاه آزاد اسلامی واحد صغمان (خوراسگان)

$$q_t = a + ep \cdot p_t + ew \cdot w_t + U_t \quad (2)$$

پارامترهای a ، ep و ew را با روش کمترین مربعات به گونه ای تخمین زد، که رابطه (۳) کمینه شود:

$$\phi(a, ep, ew) = \sum_{i=1}^T U_t^2 \sum_{i=1}^T [q_t - a - ep \cdot p_t - ew \cdot w_t]^2 \quad (3)$$

برای رسیدن به این منظور، با گرفتن مشتق نسبت به پارامترهای مذکور و مساوی صفر قرار دادن آن و پس از ساده سازی، دستگاه معادلات ارائه شده در رابطه (۴) حاصل می شود.

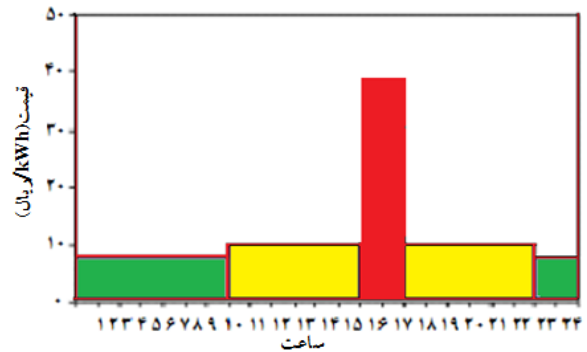
(۴)

$$\begin{aligned} T a + \left(\sum_{i=1}^T p_t\right) ep + \left(\sum_{i=1}^T w_t\right) ew &= \sum_{i=1}^T q_t \\ \left(\sum_{i=1}^T p_t\right) a + \left(\sum_{i=1}^T p_t^2\right) ep + \left(\sum_{i=1}^T w_t p_t\right) ew &= \sum_{i=1}^T q_t p_t \\ \left(\sum_{i=1}^T w_t\right) a + \left(\sum_{i=1}^T w_t p_t\right) ep + \left(\sum_{i=1}^T w_t^2\right) ew &= \sum_{i=1}^T w_t q_t \end{aligned}$$

در این راستا، برای تخمین مقادیر a ، ep و ew از اطلاعات آب و هوا ساعتی، قیمت تعرفه برق ساعتی و مقدار برق مصرفی ساعتی در روز ۱۳۹۳/۵/۱۰ در قالب جدول (۱) استفاده شده است [۲۰-۲۱].

جدول (۱): اطلاعات قیمت برق، آب و هوا و برق مصرفی (در تاریخ ۱۳۹۳/۵/۱۰) [۲۰-۲۱]

ساعت	قیمت برق (Rial)	درجه هوا (°C)	مصرفی برق (kWh)
۱	۳۹۲	۳۰/۶	۶۶۰۰
۲	۳۹۲	۲۸/۲	۶۶۰۰
۳	۳۹۲	۲۶/۸	۶۳۰۰
۴	۳۹۲	۲۴/۴	۶۳۰۰
۵	۳۹۲	۲۴	۴۲۰۰
۶	۳۹۲	۲۵/۶	۴۲۰۰
۷	۳۹۲	۲۳/۶	۴۰۰۰
۸	۳۹۲	۲۴/۸	۴۰۰۰
۹	۵۷۸	۲۶/۸	۵۰۰۰
۱۰	۵۷۸	۲۸/۲	۵۰۰۰
۱۱	۵۷۸	۳۲/۴	۶۱۰۰



شکل ۲: نمونه ای از برنامه پیک بحرانی

۳- مبانی مدل کاب-داگلاس

در بسیاری از رویکردها، مسأله پیش بینی شامل تخمین پارامترهای مجهول مدل مناسب سری-زمانی است و هنگامی که این پارامترها تخمین زده شدند، مقادیر آینده را می توان پیش بینی کرد. توابع تقاضای مختلفی توسط اقتصاددانان معرفی شده است که هر کدام ویژگی خاص خود را دارند، شناخت این ویژگی ها سرعت ما را در پاسخ با مسائلی که با آن مواجه می-شویم، افزایش خواهد داد [۱۸].

از نمونه مدل های تخمین که به صورت گسترده ای در مباحث اقتصادی برای بازنمایی ارتباط بین یک خروجی و چندین ورودی بکار گرفته شده، مدل کاب- داگلاس است. تابع تقاضا کاب- داگلاس، یکی از معروف ترین توابع در اقتصاد است. از نمونه کاربردهای این مدل می توان تخمین خروجی تولید یک محصول را با توجه به نیروی کار درگیر و حجم سرمایه گذاری عنوان کرد [۱۹].

در حالت کلی اگر تابع تقاضای کاب داگلاس تحت شرایطی که فقط دو عامل قیمت برق مصرفی و آب و هوا مطرح باشد، پیش بینی تقاضای برق مصرفی شهرستان دورود در زمان t چنین تعریف می شود:

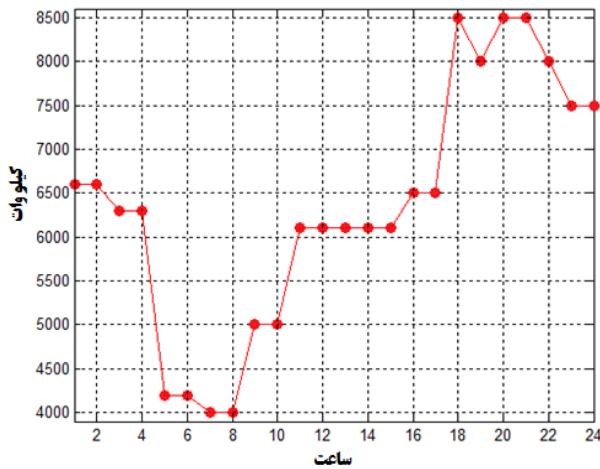
$$Q_t = A P_t^{ep} W_t^{ew} \quad t = 1, 2, 3, \dots, T \quad (1)$$

با گرفتن لگاریتم از طرفین رابطه ی (۱) و فرض

$$\ln W_t = w_t, \ln P_t = p_t, \ln A = a, \ln Q_t = q_t$$

افزودن خطای تصادفی U_t می توان نوشت:

۲۰۲۱ آبان ماه ۱۳۹۴ - دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)



شکل ۳: کیلووات مصرفی شبکه برق پست دورود یک، شهرستان دورود در روز ۱۰ مرداد ۹۳ [۲۱]

۶۱۰۰	۳۳/۸	۵۷۸	۱۲
۶۱۰۰	۳۵	۵۷۸	۱۳
۶۱۰۰	۳۶/۲	۵۷۸	۱۴
۶۱۰۰	۳۷	۵۷۸	۱۵
۶۵۰۰	۳۶/۶	۵۷۸	۱۶
۶۵۰۰	۳۷	۵۷۸	۱۷
۸۵۰۰	۳۶/۲	۵۷۸	۱۸
۸۰۰۰	۳۵,۶	۵۷۸	۱۹
۸۵۰۰	۳۳/۶	۵۷۸	۲۰
۸۵۰۰	۳۲/۴	۹۵۰	۲۱
۸۰۰۰	۳۱/۶	۹۵۰	۲۲
۷۵۰۰	۳۰	۹۵۰	۲۳
۷۵۰۰	۲۸/۸	۹۵۰	۲۴

زمان بندی برنامه زمان استفاده در ایران به دو بازه شش ماه اول و دوم سال تقسیم شده است که جزئیات آن در جدول ۲ آورده شده است [۱۴]. نکته این که در این دوره ها، ساعت های مربوط به بازه های پیک، میان بار و کم بار ثابت در نظر گرفته شده است. مطالعه این قسمت بر روی روز پیک سال که در نیمه اول سال می باشد، انجام شده است. با توجه به منحنی بار در شکل ۳ و مقایسه بار در ساعت های میان بار و پیک به نظر می رسد که زمان پیک به درستی تعیین نشده است و شاید تعیین فقط دو دوره شش ماهه برای زمان بندی از کفایت لازم برخوردار نیست.

جدول ۲: زمان بندی برنامه زمان استفاده در ایران [۲۲]

بازه	در شش ماه اول سال	در شش ماه دوم سال
میان بار	از ساعت ۸ تا ۲۰	از ساعت ۵ تا ۱۷
پیک	از ساعت ۲۰ تا ۲۴	از ساعت ۱۷ تا ۲۱
کم بار	از ساعت ۲۴ تا ۸	از ساعت ۲۱ تا ۵

در حال حاضر با استفاده از کنتورهای هوشمند و دیجیتالی که برخی از مشترکین به آنها مجهز می باشند، روش پاسخ بار زمان استفاده در شبکه ایران در حال اجراست. در این کنتورها برای ساعت های مختلف روز می توان تعرفه های متفاوتی تعریف نمود که قبض برق مصرفی مشترک بر اساس آن محاسبه گردد.

بدین ترتیب با استفاده از اطلاعات جدول ۱ و گرفتن لگاریتم از مقادیر P_t ، W_t و Q_t مقادیر w_t و q_t تعیین می شود. بردار پارامترهای مدل نیز به صورت (۵) توسط نرم افزار Eviews تخمین زده شده و بدست می آیند:

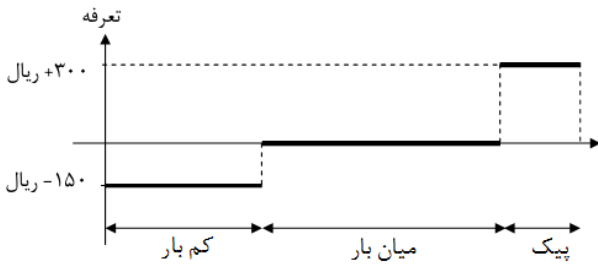
(۵)

$$X_F = \begin{pmatrix} a \\ ep \\ ew \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 6.4527 \\ -0.3083 \\ 1.2085 \end{pmatrix}$$

۴- نتایج شبیه سازی

در این قسمت از اطلاعات انرژی مصرفی برق پست ۶۳/۲۰ دورود یک (شهرستان دورود) استفاده شده است. برای این منظور روز دهم مرداد ۹۳ انتخاب گردیده است که منحنی مصرف مشترکین مذکور در شکل ۳ نمایش داده شده است. در این روز مصرف انرژی الکتریکی طبق اعلام برق منطقه ای در مقدار حداکثر و بحرانی خود بوده است [۲۱].

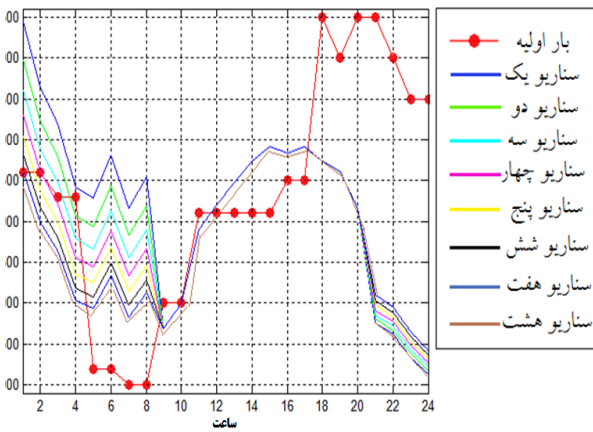
۲۰۲۱ آبان ماه ۱۳۹۴ - دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)



شکل ۴: مقادیر تعرفه روش زمان استفاده برحسب زمان روز در ایران [۲۲]

در ادامه الگوی پاسخ بار قیمتگذاری پیک بحرانی از طریق مدل کاب-داگلاس تنظیم و با اعمال ۸ گروه سناریو که با شرط برابری میزان جریمه و تشویق شبیه سازی شده و مورد اعمال قرار گرفته است.

شکل ۵، به خوبی نشان می دهد که با اعمال سیاست قیمتی قسمت قابل توجه بار در زمان پرباری به بازه های دیگر منتقل می شود. این شاخص جابجایی بار باعث می شود منحنی بار به سمت مسطح شدن میل می کند که مورد توجه بهره برداران قرار می گیرد.



شکل ۵: جابجایی بار با تعرفه روش پیک بحرانی برحسب زمان روز در دهم مرداد ۱۳۹۳

در شکل ۶، مقدار کاهش انرژی مصرفی روزانه مشترکین دیده می شود. همان گونه که مشخص است این مقادیر نشان دهنده این است که اجرای این روش در شهرستان دورود منجر به کاهش انرژی مصرفی روزانه می گردد که البته این مقدار در حداکثر کاهش خود، به ۱۳۶۹۱۰ کیلووات می رسد که مقدار قابل توجهی است.

در این مطالعه از تعرفه مربوط به مشترکین خانگی استفاده شده است که مطابق جدول ۳ شامل ۷ پله قیمتی می باشد.

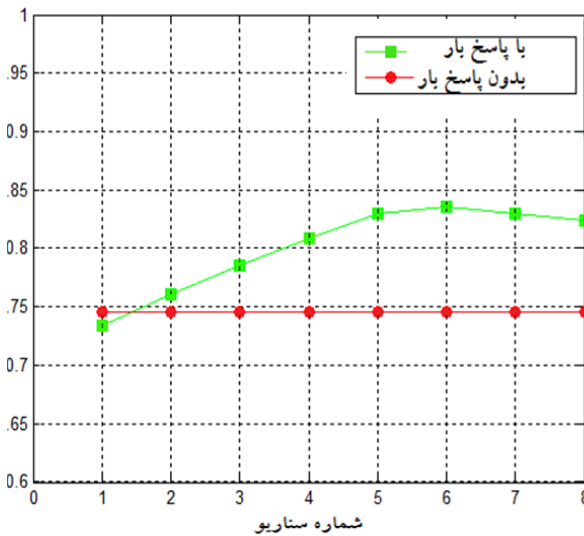
جدول ۳: نرخ پایه مشترکین خانگی بر حسب انرژی مصرفی ماهانه [۲۲]

قیمت برق (Rial)	پله انرژی مصرفی ماهانه (kWh)
۳۷۲	زیر ۱۰۰
۴۳۴	از ۱۰۰ تا ۲۰۰
۹۳۰	از ۲۰۰ تا ۳۰۰
۱۶۷۴	از ۳۰۰ تا ۴۰۰
۱۹۲۲	از ۴۰۰ تا ۵۰۰
۲۴۱۸	از ۵۰۰ تا ۶۰۰
۲۶۶۶	بالای ۶۰۰

روش محاسبه قبض برق این مشترکین به این شکل است که تعرفه میان باری با استفاده از پله های مصرفی مشترکین استخراج شده و بر اساس آن ها، مبلغ اولیه قبض برای کل مصرف محاسبه می گردد. سپس در ساعت پیک با نرخ ۳۰۰ ریال بر کیلووات ساعت مبلغ جریمه به مبلغ محاسبه شده اضافه و با نرخ ۱۵۰ ریال بر کیلووات ساعت در ساعات کم بار مبلغ تخفیف از مبلغ محاسبه شده کسر می گردد. یعنی در ساعتهای پیک ۳۰۰ ریال بر کیلووات ساعت به تعرفه میان بار اضافه شده و در ساعات کم باری ۱۵۰ ریال بر کیلووات ساعت از تعرفه میان بار کاسته می گردد. با توجه به اعلام وزارت نیرو مبنی بر اینکه متوسط مصرف مشترکین خانگی ۲۵۰ کیلووات ساعت می باشد در این مطالعه نرخ مربوط به پله آخر انرژی مصرفی ۲۵۰ کیلووات ساعت که برابر با ۵۷۸ ریال بر کیلووات ساعت است، به عنوان تعرفه میان باری در نظر گرفته شده است. محاسبات پله ای نرخها را می توان اعمال نمود، ولی این موضوع تأثیر قابل ملاحظه ای بر نتایج نخواهد داشت.

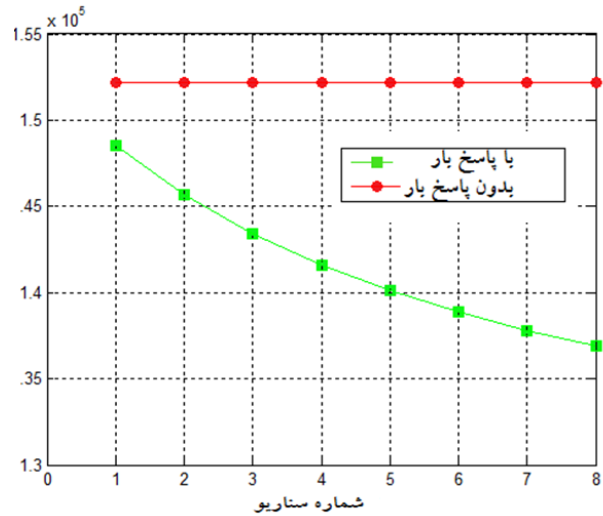
۲۰۲۱ آبان ماه ۱۳۹۴ - دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)

در شکل ۸، مقدار بهبود ضریب بار دیده می شود. پاسخ بار در سناریوهای مختلف موجب افزایش ضریب بار می گردد، به استثنای سناریوی شماره یک که موجب کاهش زیر ۰/۷۴ درصدی شده است. با اعمال سناریو های قیمت دهی، بار بیشتری از ساعت های پیک به سایر بازه ها انتقال می یابد و منحنی بار مسطح تر می گردد و در نتیجه ضریب بار افزایش می یابد. افزایش درصد بهبود ضریب بار باعث می شود که مورد توجه طراحان روش پاسخ بار پیک بحرانی باشد.



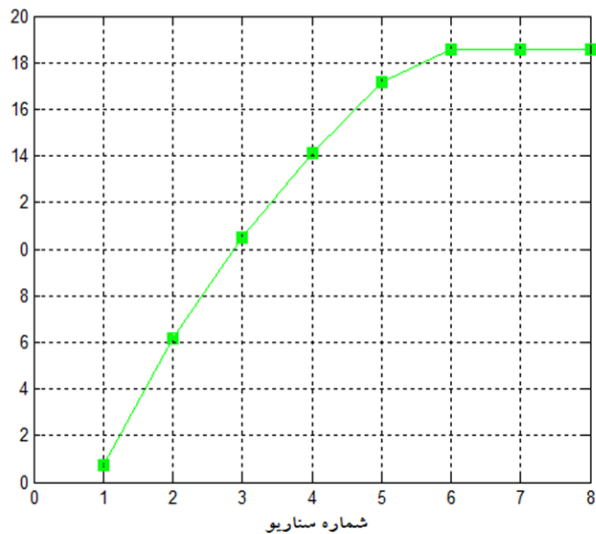
شکل ۸: مقدار بهبود ضریب بار با اجرای روش پاسخ بار پیک بحرانی در سناریو های مختلف

در شکل ۹، مقدار کاهش قبض مشترکین دیده می شود. همان گونه که مشخص است این مقادیر مثبت هستند که نشان دهنده این است که اجرای این روش در شهرستان دورود با این مقادیر تعرفه و زمان بندی، می تواند منجر به کاهش قبض مشترکین گردد که رضایتمندی مشترکین را در پی خواهد داشت و در دراز مدت منجر به افزایش مشارکت مشترکین در این روش خواهد شد.



شکل ۶: مقدار کاهش انرژی مصرفی روزانه مشترکین با اجرای روش پاسخ بار پیک بحرانی در سناریو های مختلف

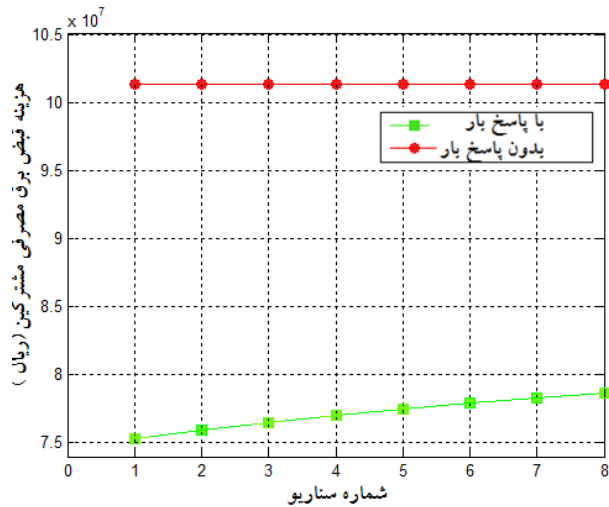
شکل ۷، درصد کاهش پیک روزانه را نشان می دهد. در این شکل مشخص است که اجرای این روش به درستی کمک به کاهش پیک می کند و این موضوع منجر به منافع زیادی برای بهره بردار خواهد شد، که این می تواند یکی از دلایل محرک برای اجرای این روش باشد. درصد کاهش پیک هماهنگی خوبی با کسش قیمتی دارد.



شکل ۷: مقدار درصد کاهش پیک روزانه با اجرای روش پاسخ بار پیک بحرانی در سناریو های مختلف

فهرست علائم

برق مورد تقاضا مشترکین، kWh	Q_t
ضریب ثابت ذاتی تابع	A
قیمت برق در زمان t ، Rial	P_t
آب و هوا در زمان t ، °C	W_t
کشش قیمتی تقاضا	ep
کشش آب و هوا	ew
ساعت مورد نظر بازه ۲۴ ساعته، t	t



شکل ۹: کاهش قبض برق مصرفی مشترکین با اجرای روش پاسخ بار

پیک بحرانی در سناریوهای مختلف

مراجع

- [1] M.H. Albadi, E.F. El-Saadany, November 2008. "A summary of demand response in electricity markets", Electric Power Systems Research, Volume 78, Issue 11.
- [2] IEA, "Strategic plan for the IEA demand side management program 2004-2009," Available at: <http://www.iea.org>.
- [3] Staff Report, 2006, "Assessment of demand response and advanced metering", <http://www.FERC.gov>
- [4] علمی، حبیب‌الله، مدل‌سازی پاسخگویی بار مبتنی بر ضرایب حساسیت قیمتی تقاضا، رساله دکتری، به راهنمایی دکتر پارسا مقدم، دانشگاه تربیت مدرس، بهار ۱۳۸۹.
- [5] F. E. R. Staff, "A national assessment of demand response potential," Prepared by the Brattle Group, Freeman, Sullivan and Co., and Global Energy Partners, 2009.
- [6] F. Rahimi and A. Ipakchi, "Demand response as a market resource under the smart grid paradigm," IEEE Transaction on Smart Grid, vol. 1, pp. 82-88, 2010.
- [7] H. A. Alami, M. Parsa Moghaddam, "Demand response modeling considering interruptible/curtailable loads and capacity market programs," Applied Energy, vol. 87, no. 1, pp. 243-250, 2010.
- [8] H. A. Alami, M. Parsa Moghaddam, "Modeling and prioritizing demand response programs in power markets," Electric Power System Research, vol. 80, no. 4, pp. 426-435, 2010.
- [9] E. Shayesteh, "A Probabilistic risk based approach for spinning reserve provision using day ahead demand response program," Energy, vol. 35, pp. 1908-1915, 2010.
- [10] E. Shayesteh, "A demand side approach for congestion management in competitive environment," European Transaction on Electrical Power, vol. 20, pp. 470-490, 2010.
- [11] A. J. Conejo, "Real time demand response model," IEEE Transaction on Smart Grid, vol. 1, pp. 236-242, 2010.
- [12] M. Parvania and M. Fotuhi-Firuzabad, "Demand response scheduling by stochastic SCUC," IEEE Transaction on Smart Grid, vol. 1, pp. 89-98, 2010.
- [13] M. Parsa Moghaddam, A. Abdollahi, "Flexible demand response programs modeling in competitive electricity markets," Applied Energy, vol. 88, no. 9, pp. 3257-3269, 2011.
- [14] S. Yousefi, "Optimal real time pricing in an agent based retail market using a comprehensive demand response model," Energy, 2011.
- [15] R. Aazami, "A demand response based solution for LMP management in power markets," International Journal of Electrical Power and Energy Systems, 2011.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله مدل کاب-داگلاس برای پیش بینی رفتار مشترکین برق شهرستان دورود با در نظر گرفتن کشش قیمتی و کشش آب و هوا معرفی شده است. مدل معرفی شده، برای شبیه‌سازی رفتار مشترکین برق در پاسخ به روش پاسخ بار پیک بحرانی به عنوان یکی از متداول ترین روش‌های پاسخ بار مکمل تنظیم شده است. در انتها، روش پاسخ بار پیک بحرانی برای مشترکین خانگی برق در شهرستان دورود، توسط مدل معرفی شده اجرا شده و از وجوه فنی و اقتصادی مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج شبیه‌سازی، نقاط قوت روش پاسخ بار پیک بحرانی اجرا شده در شهرستان دورود را نشان می‌دهند و در این راستا طراحان این روش می‌توانند از نتایج مربوطه نسبت به بهبود روش استفاده کنند. هم‌چنین بهره برداران شرکت‌های برق قادر خواهند بود تا رفتار مشترکین خود را نسبت به تعرفه‌های پیشنهادی به مشترکین و با در نظر گرفتن قیمت‌دهی رفتار آنها را پیش بینی نمایند.



چهارمین کنفرانس ملی ایده های نو در مهندسی برق



۲۰۱۳ و ۲۱ آبان ماه ۱۳۹۴ - دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)

- [16] Mehdi Nikzad, Babak Mozafari, Ali Mohammad Ranjbar, 2010, "Reliability Enhancement and Price Reduction of Restructured Power System with Probabilistic Day-Ahead Real. Time Pricing Contract", POWERCON conference.
- [17] A. Nguni, L. L. Tuan, 2006, "Interruptible Load and Demand Response ", Power Symposium, : Worldwide Picture and the Situation in Sweden, pp127-121.
- [18] F. Giordano, M. La Rocca, C. Perna; 2007, "Forecasting Nonlinear Time Series with Neural Network Sieve Bootstrap" Computational Statistics & Data Analysis, Vol. 51, pp 3871 – 3884.
- [19] W.A. Fuller, 1974, " Introduction to Statistical Time Series", John Wiley.
- [۲۰] سازمان آب و هوا شناسی، ۱۳۹۳، مرکز دورود.
- [۲۱] شرکت برق منطقه ای باختر <http://www.brec.ir>
- [۲۲] تعرفه های برق و شرایط عمومی آنها برای مشترکین تحت پوشش شرکت های برق منطقه ای و توزیع برق، ۱۳۹۳، وزارت نیرو.