



مطالعه تاثیر اجرای برنامه‌های پاسخگویی بار صنایع در کاهش پیک شبکه

داشته باشند. طبیعتاً به‌کارگیری واحدهای تولید اضافی وابسته به فصل و ... منجر به هزینه‌های متفاوتی خواهد بود. به‌علاوه سیستم باید برای حداقل نمودن تغییرات بار و حداکثر نمودن ضریب بار تمهیداتی به‌کار گیرد.

در سال‌های اخیر به جهت کمبود نقدینگی در اجرای زیرساخت‌های صنعت برق و رشد حدود ۷ درصدی پیک بار سالیانه و پیش‌بینی ادامه این روند در سال‌های آتی، نگرانی‌های جدی برای صنعت برق به‌وجود آمده است. امروزه در محیط تجدید ساختار یافته تولید، انتقال و توزیع انرژی الکتریکی، شرکت توانیر به‌عنوان یک بنگاه اقتصادی مستقل، بایستی در میان راهکارهای مختلف مدیریت پیک بار شبکه نظیر افزایش ظرفیت شبکه، راهکاری را انتخاب نماید که با کمترین هزینه، نتیجه مشابه و یا مطلوب‌تر دریافت نماید. در این خصوص با انجام مطالعات گسترده، اجرای طرح تعطیلات و تعمیرات تابستانی و طرح ذخیره عملیاتی صنایع را به‌عنوان راهکارهای اصلی، مهم و مطرح برای کنترل و کاهش پیک بار در دستور کار صنعت برق قرار داده تا با استفاده از این راهکارها و با انجام هزینه‌هایی کمتر، از تحمیل هزینه‌های سنگین سرمایه‌گذاری بابت افزایش ظرفیت تولید و انتقال شبکه قدرت جلوگیری نماید.

به‌وضوح روشن است که استفاده بهتر از امکانات نصب شده با بارگذاری بیشتر نسبت به ساختن واحدهای تولید جدید چه از دیدگاه فنی و چه از دیدگاه اقتصادی مقرون به‌صرفه‌تر است. هم‌چنین صرفه‌جویی در انرژی برای کاستن از هزینه‌های سوخت و حداقل نمودن مسایل آلودگی محیط به‌صورت عواملی مضاعف برای بهبود روند مصرف برق و افزایش ضریب بار تبدیل شده‌اند.

در این مقاله پس از مقدمه، در بخش دوم طرح‌های تعطیلات و تعمیرات تابستانی و ذخیره عملیاتی به‌طور مختصر معرفی می‌گردد. در بخش سوم نتایج حاصل از اجرای طرح‌های مذکور در مقایسه با افزایش ظرفیت شبکه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و در بخش چهارم

مجید ارس‌نژاد
مصطفی رجبی‌مشهدی
مصطفی لگزبان
شرکت برق منطقه‌ای خراسان

آگاهی از پاسخگویی بار یکی از اصلی‌ترین ابزارهای مدیریت سمت تقاضاست. برنامه‌های پاسخگویی بار صنایع شامل طرح تعطیلات و تعمیرات تابستانی و طرح ذخیره عملیاتی، با استفاده از پتانسیل مشارکت صنایع، به‌عنوان راهکارهایی اجرایی و موثر برای کاهش پیک شبکه در مجموعه صنعت برق کشور مورد استفاده می‌باشد. با اجرای موفق این برنامه‌ها، اپراتور سیستم از مزایای کاهش پیک و صنایع همکار، از منافع اقتصادی بهره‌مند خواهند شد. در این مقاله، اجرای برنامه‌های پاسخگویی بار صنایع از دیدگاه شرکت توانیر، برای کاهش مصرف در پیک شبکه، با استفاده از اطلاعات سال ۱۳۹۳ در شبکه سراسری و برق خراسان مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی: پاسخگویی بار؛ پیک‌سازی؛ طرح تعطیلات و تعمیرات تابستانی؛ طرح ذخیره عملیاتی؛ مدیریت سمت تقاضا.

۱- مقدمه

یکی از اساسی‌ترین مفاهیم و اصول حاکم بر سیستم‌های قدرت تامین نیاز مصرف مشتریان به هر میزان، در هر زمان و با بهترین کیفیت می‌باشد. در عمل هر گروه از مشتریان دارای الگویی متفاوت از نظر مقدار و زمان مصرف می‌باشند. به‌منظور تامین بار پیش‌بینی شده، سیستم‌های قدرت باید دارای یک‌سری از توانایی‌های تولید باشند تا با کاربرد توأم و ترکیب متفاوت توجیه اقتصادی لازم را

راهکارهای کاربردی به منظور کارآمدتر شدن طرح‌های پاسخگویی بار صنایع ارایه می‌شود. نتیجه‌گیری در بخش پنجم، پایان بخش این نوشتار می‌باشد.

۲- معرفی برنامه‌های پاسخگویی بار صنایع

طرح تعطیلات و تعمیرات تابستانی و طرح ذخیره عملیاتی صنایع در زمره برنامه‌های پاسخگویی بار قرار می‌گیرد. تاثیرات پاسخگویی بار از دیرباز برای کاهش پیک مصرف، یکی از اصلی‌ترین دغدغه‌های مدیریت شبکه در سراسر جهان است [۱] و تا به امروز نیز محققان و سیاست‌گذاران حوزه انرژی در جهان، توجه ویژه‌ای به راهکارهای کاهش پیک بار دارند [۲] و [۳]. کاهش پیک مصرف سالانه، به معنی کاهش نیاز شبکه به احداث واحدهای نیروگاهی جدید و تقویت شبکه‌های انتقال و توزیع است که خود با توجه به هزینه‌های سنگین احداث واحدهای جدید، به معنی صرفه‌جویی عظیم ارزی می‌باشد. در این بخش طرح تعطیلات و تعمیرات سالانه و طرح ذخیره عملیاتی صنایع به همراه نحوه مشارکت صنایع معرفی می‌گردد.

۱-۲. طرح تعطیلات و تعمیرات سالانه صنایع

صنایع، معمولاً دوره‌ی زمانی کوتاهی از هر سال، حدود ۱۰ روز در سال را به تعطیلات و تعمیرات (Annual Overhaul) خود اختصاص می‌دهند، طبیعتاً در این مدت به دلیل خارج از سرویس بودن اکثر تجهیزات، مصرف انرژی الکتریکی آن‌ها به شدت کاهش پیدا می‌کند. انتخاب این دوره که تعمیرات سالانه در چه ماهی از سال قرار بگیرد می‌تواند متاثر از عوامل مختلفی از جمله شرایط جغرافیایی و فرهنگی باشد و لیکن معیار دقیق و محرز برای آن وجود ندارد. از طرف دیگر شبکه برق سراسری دارای یک دوره پیک بار سالانه است که معمولاً در اواسط تابستان قرار دارد، و پاسخگویی به این پیک بار نیازمند نصب جدید ظرفیت‌های نیروگاهی و شبکه‌ای به انضمام تحمل تلفات دوچندان شبکه در این ایام است که در دیگر اوقات سال بلااستفاده می‌باشد. در این راستا یکی از ابتکارات مدیریت مصرف که در بسیاری از کشورها جهت پیک‌سای (Shaving Peak) منحنی بار سالانه صورت می‌گیرد، انطباق دوره تعطیلات سالانه صنایع با دوره زمانی پیک سالانه شبکه است.

طرح تعطیلات و تعمیرات تابستانی صنایع با بیش از یک دهه اجرا، یکی از راهکارهای اجرایی و موثر برای کاهش پیک مصرف سالانه شبکه در مجموعه صنعت برق کشور می‌باشد. طرح تعطیلات و تعمیرات تابستانی صنایع برای نخستین بار در نوزدهمین کنفرانس بین‌المللی برق مطرح گردید [۴]. نویسندگان تاثیر و موفقیت این

برنامه را در پیک‌سای و مدیریت مصرف مطالعه نمودند. نویسندگان [۵] به منظور اجرای کارآمد و موثر طرح برای گذر از پیک با توجه به اطلاعات سال ۱۳۹۱ و دستورالعمل ابلاغی شرکت توانیر، راهکارهای کاربردی را ارایه نمودند. این طرح با هدف کنترل و کاهش پیک سالانه شبکه سراسری، در دستور کار تمامی شرکت‌های وابسته به شرکت توانیر قرار گرفته و صنایع تحت شرایط زیر با شرکت‌های برق منطقه‌ای و توزیع نیروی برق همکاری می‌نمایند:

- انجام تعطیلات و تعمیرات سالانه در محدوده زمانی اجرای طرح، حداقل به مدت ۵ روز مستمر.
- جابجایی بار از ساعت اوج بار به ساعت کم‌باری در محدوده زمانی اجرای طرح، حداقل به مدت ۵ روز مستمر.
- جابجایی تعطیلات هفتگی از روز جمعه به یکی از روزهای هفته، حداقل ۵ روز یکسان هفته (شنبه تا چهارشنبه) در ۵ هفته متوالی.

۱-۲-۱: نحوه محاسبه تخفیفات در طرح تعطیلات و تعمیرات سالانه

تخفیفات صنایع همکار با توجه به دیماندا کاهش یافته و انرژی صرفه‌جویی شده در طرح تعطیلات و تعمیرات سالانه صنایع، براساس روابط زیر محاسبه می‌گردد. طریقه محاسبه مقدار کاهش قدرت به شرح زیر است:

$$K = \text{Day}_e \times (D_p/30) \times (D_d/D_h) \quad (1)$$

که در آن:

K = مقدار کاهش قدرت

Day_e = تعداد روز همکاری

D_p = قدرت مصرفی دوره

D_d = دیماندا کاهش یافته

D_h = متوسط قدرت مصرفی در سه ماه گذشته

هم‌چنین انرژی صرفه‌جویی شده به روش زیر محاسبه می‌شود.

$$E_d = (\text{Day}_e \times E_h/30) - (\text{Day}_e \times E_c/\text{Day}_e) \quad (2)$$

که در آن:

E_d = انرژی کاهش یافته

E_h = متوسط مصرف انرژی در دوره سه ماهه قبل

E_c = متوسط مصرف انرژی در طول مدت همکاری

با توجه به روابط (۱) و (۲) میزان کاهش قدرت و انرژی صرفه‌جویی شده توسط صنعت همکار محاسبه می‌شود. مقادیر فوق با در نظر گرفتن زمان اجرای طرح، مشمول ضرایبی خواهد شد که نهایتاً تخفیفات بهای قدرت و انرژی به شرح جدول ۱ تعیین می‌گردد.

جدول ۱: موارد مشمول تخفیفات بهای قدرت و انرژی در زمان اجرای طرح

محدوده زمانی اجرای برنامه همکاری	کاهش قدرت نسبت به متوسط قدرت مصرفی سه ماه قبل	تخفیف بهای انرژی (ریال)	تخفیف بهای قدرت (ریال)
خرداد و شهرپور و ۱۵-۱ تیر	۱۰ تا ۴۰ درصد	بهای انرژی ساعت اوج مشترک × مقدار صرفه‌جویی انرژی	$1/3 \times$ بهای قدرت × مقدار کاهش قدرت
	۴۱ تا ۷۰ درصد		$1/4 \times$ بهای قدرت × مقدار کاهش قدرت
	۷۰ تا ۱۰۰ درصد		$1/5 \times$ بهای قدرت × مقدار کاهش قدرت
۱۶ تیر تا آخر مرداد	۱۰ تا ۴۰ درصد		$1/5 \times$ بهای قدرت × مقدار کاهش قدرت
	۴۱ تا ۷۰ درصد		$1/8 \times$ بهای قدرت × مقدار کاهش قدرت
	۷۰ تا ۱۰۰ درصد		$2 \times$ بهای قدرت × مقدار کاهش قدرت

۲-۲. معرفی طرح ذخیره عملیاتی صنایع

آژانس بین‌المللی انرژی با توجه به تغییرات ساختاری به وجود آمده در صنعت برق یک طرح استراتژی بلند مدت ارائه داده است و در این طرح ضمن بازنگری روش‌های مدیریت سمت تقاضا در سیستم سنتی روش‌های مدرن پاسخگویی بار را معرفی نموده است که یکی از این روش‌ها طرح ذخیره عملیاتی صنایع می‌باشد.

در زمان پیک شبکه، استفاده از قابلیت همکاری مشترکین خانگی که بیش از ۳۰ درصد میزان مصرف را به خود اختصاص می‌دهند دیگر نمی‌تواند محتمل باشد، اگر بتوان با لحاظ اتخاذ سیاست‌هایی در زمان پیک شبکه (پیک لحظه‌ای) از قابلیت حذف بار مشترکین عمده صنعتی استفاده نمود، می‌توان از ساعت‌های پرهزینه پیک سراسری به سادگی عبور کرد. تعداد محدود و مصرف بالای این گروه از صنایع، امکان کاهش بار در زمان نیاز شبکه توسط آن‌ها تسهیل می‌نماید. به همین منظور طرح ذخیره عملیاتی صنایع در کشورهای جهان توسعه یافته و به عنوان نیروگاه‌های مجازی در زمان نیاز شبکه به مدیریت بار استفاده می‌شود.

طرح ذخیره عملیاتی با هدف کنترل و کاهش پیک بار از ابتدای تیرماه سال ۱۳۹۳ طی مدت دو ماه، با هدف کنترل و کاهش پیک سالانه شبکه سراسری، در دستور کار تمامی زیر مجموعه‌های شرکت توانیر قرار گرفته [۶] و مشترکین با دیماندر بالاتر از ۱ مگاوات تحت شرایط زیر با شرکت‌های برق منطقه‌ای و توزیع نیروی برق همکاری می‌نمایند [۷]:

- بازه زمانی اجرای طرح از ساعت ۱۰ تا ۲۲ می‌باشد.
- حداکثر مدت همکاری هر مشترک برای کاهش بار در بازه زمانی طرح ۲۰۰ ساعت است.
- درخواست کاهش بار برای واحدهای صنعتی حداکثر تا ساعت ۱۴ روز قبل انجام می‌گیرد.
- مدت زمان درخواست حداقل برای ۴ ساعت و حداکثر برای ۸ ساعت در هر مورد درخواست کاهش بار است
- حداقل میزان کاهش معادل ۲۵٪ درصد میانگین حداکثر دیماندر مصرفی طی روزهای کاری ۱۵ اردیبهشت تا ۱۵ خرداد سال

جدول ۵: موارد مشمول در محاسبه تخفیفات صنایع همکار در زمان اجرای طرح

محدوده زمانی اجرای برنامه همکاری	تیر و مرداد
با اعلام مشارکت در طرح ذخیره عملیاتی (مبادله توافق‌نامه)	مشترک از اولویت قطع برنامه‌های برق خارج می‌شود.
پاداش آمادگی	با امضای توافق‌نامه، مشترک مشمول تخفیف خواهد بود، حتی اگر هیچ درخواستی برای کاهش مصرف از سوی دیسپاچینگ درخواست نگردد.
تخفیفات کاهش مصرف	هزینه انرژی مشترک در تمام ساعت‌های روزی که با درخواست شرکت برق، مشترک بار خود را کاهش داده است، با تعرفه کم‌باری محاسبه خواهد گردید.
	با درخواست امور دیسپاچینگ شرکت برق، مشترک موظف است که مصرف خود را کاهش دهد. در چنین شرایطی:
	به منظور حفظ سطح تولید، به مشترک همکار اجازه داده می‌شود در روز مشارکت، در ساعت‌های کم‌باری، از دیماندر قراردادی خود تجاوز نماید. سقف تجاوز از دیماندر قراردادی با توجه به محدودیت‌های شبکه به مشترک همکار اطلاع داده خواهد شد.

اجرای طرح می‌باشد

۲-۱: نحوه محاسبه تخفیفات در طرح ذخیره عملیاتی

تخفیفات صنایع همکار با توجه به اعلام آمادگی و اعلام همکاری در طرح ذخیره عملیاتی، براساس گزینه انتخابی مشترک مطابق جدول ۲ الی ۴،

جدول ۲: نرخ تخفیف انرژی ساعت‌های پیک دو ماهه اجرای طرح

گزینه مشترک	گزینه ۱	گزینه ۲	گزینه ۳
نرخ تخفیف	۲۵۳	۲۹۰٫۵	۳۲۰٫۵

جدول ۳: نرخ تخفیف انرژی ساعت‌های پیک روزهای همکاری با طرح

گزینه مشترک	گزینه ۱	گزینه ۲	گزینه ۳
نرخ تخفیف	۵۰۶	۵۸۱	۶۴۱

جدول ۴: نرخ تخفیف انرژی ساعت‌های میان‌باری روزهای همکاری با طرح

گزینه مشترک	گزینه ۱	گزینه ۲	گزینه ۳
نرخ تخفیف	۲۵۳	۲۹۰٫۵	۳۲۰٫۵

و روابط زیر محاسبه می‌گردد:

$$C_p = E_{rp} \times R_{rp} \quad (3)$$

E_{rp} = مجموع انرژی مصرفی ساعت‌های پیک در روزهای اجرای طرح

R_{rp} = نرخ تخفیف انرژی مصرفی ساعت‌های پیک

C_p = مشوق اعلام آمادگی

$$C_c = E_{cp} \times R_{cp} + E_{cm} \times R_{cm} \quad (4)$$

E_{cp} = مجموع انرژی مصرفی ساعت‌های پیک روزهای همکاری

E_{cm} = مجموع انرژی مصرفی ساعت‌های میان‌باری روزهای همکاری

R_{cp} = نرخ تخفیف انرژی مصرفی ساعت‌های پیک روزهای همکاری

R_{cm} = نرخ تخفیف انرژی مصرفی ساعت‌های میان‌باری روزهای همکاری

C_c = مشوق همکاری

با توجه به روابط (۳) و (۴) میزان آمادگی و انرژی صرفه‌جویی شده توسط صنعت همکار محاسبه می‌شود. مقادیر فوق با در نظر گرفتن زمان اجرای طرح، مشمول مواردی خواهد شد که نهایتاً تخفیفات بهای قدرت و انرژی به شرح جدول ۵ تعیین می‌گردد.

۳- ارزیابی حاصل از اجرای برنامه‌های پاسخگویی با صنایع

در این بخش ابتدا مطالبی جهت آشنایی مختصر با شبکه برق خراسان و کشور آورده شده و سپس تاثیر اجرای طرح تعطیلات و تعمیرات سالانه و ذخیره عملیاتی صنایع بر کاهش پیک بار در شبکه سراسری و شبکه برق خراسان به همراه منافع اقتصادی آن مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است.

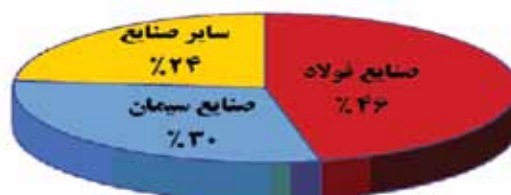
۳-۱ آشنایی با شبکه برق خراسان و کشور

شبکه برق خراسان، یکی از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان و هم‌چنین، مصرف‌کنندگان انرژی الکتریکی در شبکه سراسری می‌باشد. در سال ۱۳۹۳ میزان تولید انرژی حوزه برق خراسان معادل ۲۲۷۰۳ گیگاوات ساعت بوده و در این بازه میزان ۱۷۴۲۶ گیگاوات ساعت فروش انرژی به کل مشترکین تحت پوشش استان‌های خراسان رضوی، شمالی و جنوبی صورت پذیرفته است. این در حالی است که سهم انرژی تولید شده و مصرف انرژی، به میزان ۸/۶ درصد از تولید و مصرف کشور را تشکیل می‌دهند [۸] و [۹]. در جدول ۶، درصد مصرف انرژی به تفکیک بخش‌های مختلف، آورده شده است.

جدول ۶: درصد مصرف انرژی به تفکیک بخش‌های مختلف

سهم مصرف	خراسان %	کشور %
بخش خانگی	۲۶	۳۱
بخش عمومی	۶	۹
بخش کشاورزی	۳۲	۱۶
بخش صنعتی	۲۷	۳۵
بخش تجاری	۷	۷
معابر	۲	۲

همان‌گونه که در جدول بالا مشخص است، بخش صنعتی با بیشترین سهم مصرف از مهم‌ترین مصرف‌کنندگان انرژی در شبکه برق محسوب می‌شود و پتانسیل بالایی در زمینه مدیریت مصرف دارند. شبکه فوق توزیع برق منطقه خراسان دارای ۲۰ مشترک صنعتی بزرگ می‌باشد که با دیماندا قراردادی ۵۵۹ مگاوات شامل؛ صنایع فولادی، صنایع سیمانی و سایر صنایع بخش عمده مصرف صنعتی شبکه خراسان را تشکیل می‌دهند. در صورتی که تغییری در مصرف این تعداد محدود مشترک ایجاد شود، تغییر محسوسی در منحنی بار شبکه خراسان مشاهده می‌گردد. بررسی‌ها نشان می‌دهد صنایع سیمان به دلیل تاثیر مستقیم و قابل ملاحظه انرژی در قیمت تمام شده محصولات، توجه ویژه‌ای به کاهش مصرف انرژی در ساعات‌های اوج بار دارند، اما صنایع فولاد و سایر صنایع تقریباً از الگوی یکنواختی پیروی می‌نمایند. در شکل ۱ میزان مصرف صنایع فولاد و سیمان و سایر صنایع، جهت روشن شدن اهمیت این بخش از مشترکین در زمینه مدیریت مصرف آورده شده است.



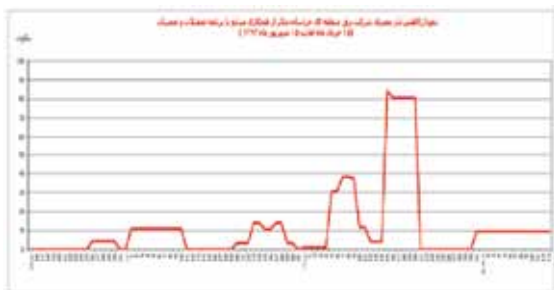
شکل ۱: میزان سهم مصرف صنایع فولاد و سیمان و سایر صنایع

همان‌گونه که در شکل ۱ مشخص است؛ صنایع فولاد و سیمان بیشترین سهم مصرف را به خود اختصاص داده‌اند.

۳-۲ ارزیابی اجرای طرح تعطیلات و تعمیرات سالانه صنایع بر منحنی بار شبکه

بخشنامه مربوط به تخفیف صنایع همکار با طرح تعطیلات و تعمیرات سالانه صنایع، براساس دستورالعمل اجرایی بند (ح) ماده ۱۳۳ و ۱۳۴ قانون برنامه پنجم توسعه جمهوری اسلامی ایران و تفاهم‌نامه‌های فی مابین وزارت خانه‌های نیرو و صنعت و معدن و تجارت به شماره ۶۰/۶۷۲۰۹ مورخ ۸۹/۰۳/۱۶ و هم‌چنین تفاهم‌نامه شماره ۶۰/۹۴۳۸۲ مورخ ۸۹/۰۸/۲۳ پس از بازنگری مجدد توسط مقام عالی وزارت نیرو به شماره ۹۳/۱۵۹۲۱/۳۰/۱۰۰ مورخ ۹۳/۰۳/۰۳ مبنی بر چگونگی محاسبه و اعمال تخفیف در بهای انرژی و بهای دیماندا در مورد صنایع همکار در طول بازه همکاری ابلاغ و اجرایی گردیده است.

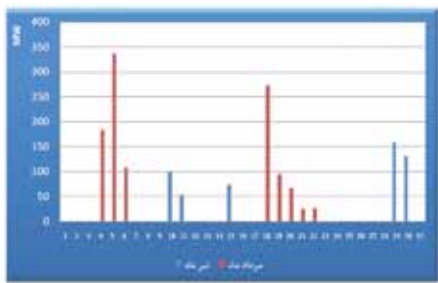
از مجموع ۲۰ مشترک در شبکه برق خراسان با دیماندا قراردادی ۵۵۹ مگاوات، تعداد ۱۸ مشترک با مجموع دیماندا قراردادی ۵۱۳ مگاوات، مشمول طرح تعطیلات و تعمیرات تابستانی صنایع در سال ۹۳ بوده‌اند که از این تعداد، ۱۰ مشترک با مجموع دیماندا قراردادی ۳۲۳/۵ مگاوات در بازه سه ماهه توافقنامه فی مابین را امضا نمودند و حاضر به همکاری شدند. دیماندا مصرفی در سه ماهه قبل از اجرای طرح توسط این مشترکین براساس نوع همکاری به میزان ۲۴۰ مگاوات بوده است که حدود ۷۴ درصد دیماندا قراردادی را شامل می‌شود. کاهش نیاز مصرف در شبکه برق خراسان متأثر از همکاری صنایع در طرح تعطیلات و تعمیرات (۱۵ خرداد لغایت ۱۵ شهریور ۱۳۹۳) مطابق شکل ۲ می‌باشد.



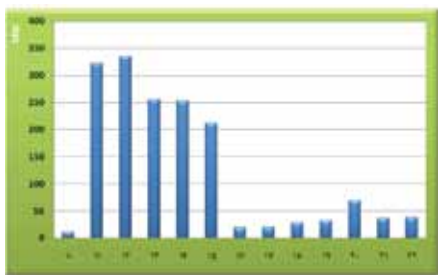
شکل ۲: نمودار کاهش نیاز مصرف در شبکه برق خراسان متأثر از همکاری صنایع در طرح تعطیلات و تعمیرات (۱۵ خرداد لغایت ۱۵ شهریور ۱۳۹۳)

بررسی‌ها نشان می‌دهد کاهش نیاز مصرف برق متأثر از اجرای طرح تعطیلات و تعمیرات سالانه صنایع (میزان تقلیل قدرت هماهنگ شده) توسط صنایع همکار در شبکه برق خراسان، در کل بازه طرح از ۱۵ خرداد تا ۱۵ شهریور ۱۳۹۳ به میزان ۱۵۷/۶ مگاوات بوده است. با اجرای طرح تعطیلات و تعمیرات سالانه در کل کشور، کاهش نیاز مصرف شبکه سراسری برق متأثر از اجرای برنامه مذکور هم‌زمان با روز پیک سالانه شبکه سراسری (شنبه مورخ ۴ مرداد ماه ۱۳۹۳)، معادل ۵۵۴ مگاوات بوده که ۷۸ مگاوات از این میزان توسط صنایع همکار در شبکه برق خراسان اقدام گردیده است [۱۰]. در شبکه برق خراسان نیز میزان کاهش مصرف در روز پیک استان (مورخ ۵ مرداد ماه سال ۱۳۹۳) معادل ۷۸ مگاوات می‌باشد [۱۱]. میزان تخفیفات پرداخت شده به صنایع همکار با برنامه تعطیلات و تعمیرات سالانه بابت بهای دیماندا کاهش یافته و انرژی صرفه‌جویی شده در مدت زمان همکاری با برنامه، در شبکه سراسری در مجموع

طی دوره اجرای طرح در شکل ۴ و ساعت‌های همکاری (ساعت ۱۰ الی ۲۲) در شکل ۵ آورده شده است.



شکل ۴: میزان کاهش بار شبکه برق خراسان طی دوره اجرای طرح



شکل ۵: میزان کاهش بار شبکه برق خراسان طی ساعات‌های ۱۰ الی ۲۲

همان‌طور که در شکل ۵ ملاحظه می‌شود بیش‌ترین کاهش بار در ساعات‌های پیک روز (خصوصاً ساعت ۱۲) بوده است. میزان تخفیفات پرداخت شده به صنایع همکار با طرح ذخیره عملیاتی بابت بهای دیماند کاهش یافته و آمادگی صنایع در مدت زمان همکاری با برنامه، در شبکه سراسری در مجموع بالغ بر ۸۸،۴۰۸،۵۲۴ هزار ریال بوده است که از این میزان به صنایع همکار در شبکه برق خراسان معادل ۴،۳۴۶،۸۶۹ هزار ریال پرداخت گردیده است.

۳-۴. ارزیابی اقتصادی اجرای برنامه‌های پاسخگویی بار

ارزیابی اقتصادی هر طرح از اساسی‌ترین مراحل برای تصمیم‌گیری پیاده‌سازی و یا عدم پیاده‌سازی آن می‌باشد. ابعاد گسترده تبعات اقتصادی طرح‌های مدیریت سمت مصرف و عدم قطعیت‌های موجود در این میان به دلیل دخیل بودن رفتار مصرف‌کنندگان این امر را پیچیده‌تر می‌سازد.

در بخش‌های قبل، پتانسیل بالای صنایع بزرگ در اجرای برنامه‌های پاسخگویی بار نشان داده شده است. در ادامه، با مقایسه انواع راهکارهای موجود جهت تامین بار پیک، به ارزیابی اقتصادی اجرای برنامه‌های پاسخگویی بار توسط صنایع بزرگ به منظور تامین بار پیک می‌پردازیم. بدین منظور، راهکارهایی نظیر احداث یک واحد نیروگاهی و بهره‌گیری از برنامه‌های مدیریت سمت مصرف نظیر طرح تعطیلات و تعمیرات سالانه صنایع، طرح ذخیره عملیاتی صنایع جهت تامین بار در ساعات‌های اوج مصرف از منظر اقتصادی با هم مقایسه می‌گردند.

۳-۴-۱. احداث یک واحد نیروگاهی برای تامین بار در ساعات اوج مصرف با اجرای برنامه‌های پاسخگویی بار توسط صنایع در سال ۱۳۹۳، به میزان قابل توجهی از پیک شبکه کاسته شده است، برای پوشش و تامین این میزان توان و انرژی، شبکه نیازمند به احداث و راه‌اندازی یک واحد نیروگاهی برای تامین بار در لحظه پیک می‌باشد تا بتواند پاسخگوی حجم نیاز مصرف کاهش یافته در این زمان باشد. بدین منظور محاسبه هزینه طول عمر احداث یک واحد نیروگاهی در رابطه زیر آورده شده است.

بالغ بر ۴۰۴،۰۵۲،۷۲۸ هزار ریال بوده است که از این میزان به صنایع همکار در شبکه برق خراسان معادل ۲۰،۱۹۳،۴۸۸ هزار ریال پرداخت گردیده است.

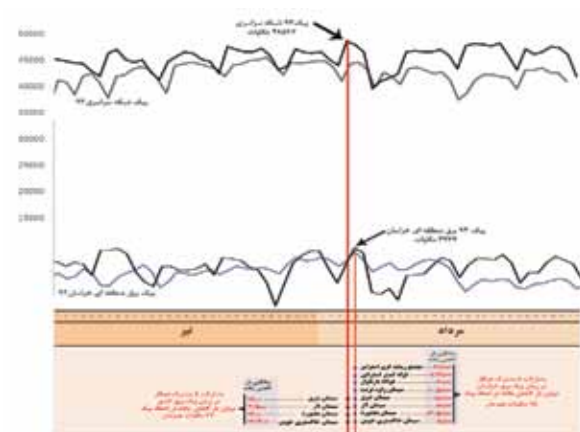
۳-۲. ارزیابی اجرای طرح ذخیره عملیاتی صنایع بر منحنی بار شبکه

بخشنامه مربوط به اجرای طرح ذخیره عملیاتی صنایع توسط مقام عالی وزارت نیرو تحت شماره ۹۳/۴۸۳۹۵/۳۰/۱۰۰ مورخ ۹۳/۱۱/۳۰ به تصویب رسید، و در این خصوص نظام‌نامه مربوطه طی نامه شماره ۱۱/۱۳۰۷ مورخ ۹۳/۰۳/۲۰ ابلاغ و اجرایی شد.

در نخستین سال اجرای طرح ذخیره عملیاتی، پس از تصویب طرح ذخیره عملیاتی صنایع توسط مقام عالی وزارت نیرو، بخشنامه طرح تحت شماره ۹۳/۴۸۳۹۵/۳۰/۱۰۰ مورخ ۹۳/۱۱/۳۰ و نظام‌نامه مربوطه طی نامه شماره ۱۱/۱۳۰۷ مورخ ۹۳/۰۳/۲۰ جهت اجرا ابلاغ شد.

پس از ابلاغ طرح از سوی شرکت توانیر، تعداد ۱۵ مشترک مشمول همکاری شناخته شدند که از این تعداد، ۱۲ مشترک توافق‌نامه فی‌مابین را امضا نمودند و ۸ مشترک با مجموع دیماند قراردادی ۲۱۵ مگاوات در بازه دو ماهه حاضر به همکاری شدند. دیماند مصرفی در دو ماهه قبل از اجرای طرح توسط این مشترکین براساس نوع همکاری به میزان ۱۶۱ مگاوات بوده است که حدود ۷۴ درصد دیماند قراردادی را شامل می‌شود.

بررسی‌ها نشان می‌دهد کاهش نیاز مصرف برق متأثر از اجرای طرح ذخیره عملیاتی در ۱۳ روز همکاری در بازه تیر الی مرداد ماه سال ۱۳۹۳ توسط صنایع همکار در شبکه برق خراسان، به میزان ۹۹/۵ مگاوات بوده است و میزان تخفیفات پرداختی مبلغ ۴،۳۴۶،۸۶۹،۰۰۰ ریال می‌باشد. با اجرای طرح ذخیره عملیاتی صنایع در کل کشور، کاهش نیاز مصرف شبکه سراسری برق متأثر از اجرای برنامه مذکور هم‌زمان با روز پیک سالانه شبکه سراسری (شنبه مورخ ۴ مرداد ماه سال ۱۳۹۳)، معادل ۲۶۷ مگاوات بوده که ۳۳ مگاوات از این میزان توسط صنایع همکار در شبکه برق خراسان اقدام گردیده است [۱۰]. در شبکه برق خراسان نیز میزان کاهش مصرف در روز پیک استان (مورخ ۵ مرداد ماه سال ۱۳۹۳) معادل ۶۴ مگاوات می‌باشد [۱۱]. در شکل ۳ میزان کاهش توان در پیک شبکه سراسری و پیک شبکه خراسان حاصل از اجرای طرح ذخیره عملیاتی صنایع آورده شده است.



شکل ۳: میزان کاهش توان در پیک شبکه سراسری و پیک شبکه خراسان

میزان بار کاهش یافته در شبکه برق خراسان توسط صنایع همکار

$$LTC_{pu} = IC_{pu} + OMC_{pu} + IEC_{pu} + OGC_{pu} + RC_{pu}$$

$$= ۱۴,۸۸۰ \text{ هزار ریال} \quad (۱۱)$$

$$LTC = LTC_{pu} \times (\text{مگاوات}) \quad (۱۲)$$

$$AC = LTC/LT \quad (۱۳)$$

۳-۴-۲. بهره‌گیری از اجرای طرح تعطیلات و تعمیرات سالانه صنایع
با توجه به این که همواره پیک شبکه سراسری در ماه‌های تیر و مرداد اتفاق افتاده، اجرای برنامه تعطیلات و تعمیرات در سه ماه از ۱۵ خرداد ماه تا ۱۵ شهریور ماه اجرا گردید. در شکل ۶ مشخص است که دوره همکاری صنایع، کاملاً منطبق بر زمان اوج بار شبکه سراسری برق کشور می‌باشد.



شکل ۶: نمودار مصرف شبکه سراسری برق طی یازده ماهه ابتدای سال ۱۳۹۳

با اجرای طرح تعطیلات و تعمیرات تابستانی صنایع در کل کشور، کاهش نیاز مصرف شبکه سراسری برق متاثر از اجرای برنامه بیان شده هم‌زمان با روز پیک سالانه شبکه سراسری (شنبه مورخ ۴ مرداد ماه سال ۱۳۹۳)، معادل ۵۵۴ مگاوات بوده است. در صورت عدم اجرای طرح برای پوشش و تامین این میزان توان و انرژی، شبکه نیاز به احداث و راه‌اندازی یک واحد نیروگاه گازی ۵۵۴ مگاواتی می‌باشد، تا بتواند پاسخگوی حجم نیاز مصرف کاهش یافته در ساعت‌های اوج مصرف باشد. هزینه سالانه احداث نیروگاه فوق به شرح زیر خواهد بود.
 $LTC = ۱۴,۸۸۰ \times ۵۵۴ = ۸,۲۴۳,۵۲۰,۰۰۰$ هزار ریال
 $AC = LTC/۲ = ۴,۱۲۱,۷۶۰,۰۰۰$ هزار ریال

تخفیف پرداخت شده به صنایع همکار با برنامه تعطیلات و تعمیرات سالانه بابت بهای دیماندا کاهش یافته و انرژی صرفه‌جویی شده، در مدت زمان همکاری با برنامه، در مجموع بالغ بر ۴۰۴۰۵۲,۷۲۸ هزار ریال بوده است که با توجه به مجموع انرژی صرفه‌جویی شده، منافع حاصل از اجرای طرح مذکور توسط صنایع همکار برای سال ۱۳۹۳، حدود ۱/۰۲ برابر سرمایه‌گذاری بوده است.

۳-۴-۳. بهره‌گیری از اجرای ذخیره عملیاتی صنایع

کاهش نیاز مصرف شبکه سراسری برق متاثر از اجرای برنامه طرح ذخیره عملیاتی صنایع هم‌زمان با روز پیک سالانه (شنبه مورخ ۴ مرداد ماه سال ۱۳۹۳)، معادل ۲۶۷ مگاوات بوده است. در صورت عدم اجرای طرح برای پوشش و تامین این میزان توان و انرژی، شبکه نیاز به احداث و راه‌اندازی یک واحد نیروگاه گازی ۲۶۷ مگاواتی می‌باشد، تا بتواند پاسخگوی حجم نیاز مصرف کاهش یافته در ساعت‌های اوج مصرف باشد. هزینه سالانه احداث نیروگاه فوق به شرح زیر خواهد بود.

$$LTC = ۱۴,۸۸۰ \times ۲۶۷ = ۳,۹۷۲,۹۶۰,۰۰۰ \text{ هزار ریال}$$

$$AC = LTC/۲ = ۱,۹۸۶,۴۸۰,۰۰۰ \text{ هزار ریال}$$

تخفیف پرداخت شده به صنایع همکار با برنامه طرح ذخیره عملیاتی صنایع بابت بهای دیماندا کاهش یافته و آمادگی صنایع در مدت زمان همکاری با برنامه، در مجموع بالغ بر ۸۸,۴۰۸,۵۲۴ هزار ریال بوده

$$LTC' = IC' + OMC' + IEC' + OGC' + RC' \quad (۵)$$

که در آن:

LTC= هزینه طول عمر

IC= هزینه نصب و راه‌اندازی

OMC= هزینه بهره‌برداری و نگهداری

IEC= هزینه انرژی ورودی

OGC= هزینه انرژی خروجی

RC= هزینه برچیدن

هم‌چنین هزینه سالانه احداث نیروگاه از تقسیم LTC به طول عمر نیروگاه محاسبه می‌شود:

$$AC = LTC/LT \quad (۶)$$

که در آن:

AC= هزینه سالانه

LT= طول عمر نیروگاه

مفروضات به کار رفته در این تحلیل اقتصادی به شرح زیر می‌باشند. بدیهی است که این ارقام تغییر پذیر بوده و با تغییر، در روند محاسبه می‌توانند منظور شوند.

- جهت تامین یک کیلووات قدرت، با احتساب مصرف داخلی، ذخیره تولید و تلفات انتقال و توزیع لازم است معادل ۱/۲ کیلووات، سرمایه‌گذاری گردد [۱۰].

- هزینه تامین هر کیلووات انرژی الکتریکی توسط نیروگاه گازی ۴۰۰ یورو در نظر گرفته شده است [۱۲].

- طول عمر مفید نیروگاه گازی، ۲۰ سال و دوره ساخت ۲ سال در نظر گرفته شده است [۱۲].

$$LT = ۲۰ \text{ سال} \quad (۷)$$

- ارز مبادلاتی هر یورو، معادل ۳۱۰۰۰ ریال برآورد شده است [۱۰]. ملاحظات به کار گرفته شده در این تحلیل اقتصادی به شرح زیر می‌باشند.

- سود یا زیان حاصل از فروش انرژی در ساعت‌های پیک، در صورتی که احداث واحدهای جدید بابت تامین توان مورد نیاز در پیک شبکه در دستور کار قرار گیرد، به واسطه کوتاه بودن زمان مورد نیاز جهت استفاده از این واحدها، صرف نظر شده است.

- از آنجایی که با توجه به افزایش نرخ برق بر اثر تورم، مبلغ مشوق‌های پرداختی به مشترکین، سالانه افزایش می‌یابد، در محاسبات هزینه سرمایه‌گذاری نرخ تنزیل، منظور نگردیده است (تاثیرگذاری نرخ تورم در هر دو بخش تخفیفات و سرمایه‌گذاری).

- هزینه بهره‌برداری و نگهداری، انرژی ورودی و انرژی تولیدی با توجه به ساعت‌های کاری محدود نیروگاه‌های پیک زن، هم‌چنین هزینه برچیدن در این مطالعه صفر در نظر گرفته شده است. در عمل نیز با توجه به این که در ایران، معمولاً هزینه فروش برق نزدیک به مجموع هزینه انرژی ورودی و نگهداری انتخاب می‌گردد.

$$OMC + IEC + OGC = ۰ \quad (۸)$$

$$RC = ۰ \quad (۹)$$

با توجه به روابط (۵)، (۸) و (۹) و مفروضات و ملاحظات اشاره شده، تامین هر کیلووات توان الکتریکی، به شرح زیر برآورد می‌شود.

$$IC = ۱/۲ \times ۴۰۰ \times ۳۱۰۰۰ = ۱۴,۸۸۰ \text{ هزار ریال} \quad (۱۰)$$

با توجه به کاهش پیک شبکه سراسری، به واسطه اجرای برنامه‌های پاسخگویی بار صنایع، فرض می‌کنیم این توان به وسیله احداث نیروگاه تامین شود. لذا بایستی هزینه سالانه (AC) راهکارهای مذکور محاسبه شود.

Life Time Cost	۱	Input Energy Cost	۵
Install Cost	۲	Output Generation Cost	۶
Operation & Maintenance Cost	۳	Removal Cost	۷

است، که منافع حاصله از اجرای طرح مذکور توسط صنایع همکار برای سال ۱۳۹۳، حدود ۲/۲۵ برابر سرمایه‌گذاری بوده است.

۳-۴. مقایسه راهکارها و امکان‌سنجی بهره‌گیری از مشارکت صنایع در برنامه‌های پاسخگویی بار

در این بخش، اجرای برنامه‌های پاسخگویی بار صنایع برای تامین توان مورد نیاز در ساعت‌های اوج مصرف به‌خصوص در لحظه پیک شبکه سراسری با یکدیگر مقایسه می‌گردند. خلاصه‌ای از این مقایسه در جدول ۷ نشان داده شده است.

همان‌گونه که در جدول نیز مشاهده می‌شود، در شرایط موجود با توجه به این که گزینه اول یعنی احداث نیروگاه جدید نیاز به هزینه سرمایه‌گذاری بالایی دارد، محدودیت‌ها و مشکلاتی برای انتخاب این راهکار وجود دارد. با مقایسه راهکارها مشخص می‌شود که هزینه سرمایه‌گذاری برای تامین بار در ساعت‌های اوج مصرف در تمامی راهکارهای ارائه شده کمتر از احداث نیروگاهی جدید می‌باشد هرچند توجه به این نکته ضروری است که از توسعه تولید و فراهم آوردن زیرساخت لازم برای تولید در شبکه نباید غافل شد.

جدول ۷: مقایسه راهکارهای تامین بار در ساعت‌های اوج مصرف

راهکارهای تامین بار در ساعت‌های اوج مصرف	هزینه سرمایه‌گذاری برای هر مگاوات توان الکتریکی	نیاز به سرمایه‌گذاری اولیه	نیاز به اعمال خاموشی یا جایجایی بار	نیاز به زمان جهت دستیابی به راهکار
احداث نیروگاه جدید	۷۴۴,۰۰۰ هزار ریال	دارد	ندارد	دارد
طرح تعطیلات و تعمیرات سالانه صنایع	۷۲۹,۳۳۷ هزار ریال	ندارد	دارد	ندارد
طرح ذخیره عملیاتی صنایع	۳۳۱,۱۱۸ هزار ریال	ندارد	دارد	ندارد

۴. راهکارهای کاربردی به منظور کارآمدتر شدن طرح‌های پاسخگویی بار صنایع

تکنیک‌های مختلف پاسخگویی بار، امروزه جزء اولویت‌های تمامی شبکه‌های قدرت می‌باشند [۱۳-۱۵]. برهیچ کس پوشیده نیست که با گسترش روزافزون توجه به مدیریت مصرف انرژی در جهان، طرح‌هایی نظیر طرح تعطیلات و تعمیرات سالانه و ذخیره عملیاتی صنایع، در کشورهای مختلف مورد توجه قرار گرفته و تلاش‌های گسترده‌ای در خصوص کاهش پیک شبکه و افزایش ضریب بار در نقاط مختلف صورت پذیرفته است.

در شرایط کنونی، با توجه به نظر مقام معظم رهبری مبنی بر حرکت به سمت اقتصاد مقاومتی و محدودیت‌های اقتصادی و سیاسی، به نظر؛ اجرای برنامه‌های پاسخگویی بار صنایع می‌بایست در اولویت نسبت به سرمایه‌گذاری‌های کلان قرار گیرد. در این راستا به منظور اجرای کارآمدتر طرح‌های مذکور راهکارهای زیر پیشنهاد می‌شود:

- تامین خدماتی جهت افزایش سطح آگاهی صنایع بزرگ، از دیدگاه کاهش مصرف انرژی و مسایل زیست‌محیطی
- پیشنهاد تعرفه‌های خرید انرژی جذاب‌تر در ساعت‌های اوج مصرف از مشترکین بزرگ صنعتی
- حل مشکلات و فراهم نمودن زمینه مشارکت موثر صنایع در ساعت‌های اوج مصرف
- پیش‌بینی برنامه محدودیت بار صنایع در طول دوره اجرای برنامه‌های پاسخگویی بار برای کل کشور و به تفکیک مناطق مختلف
- توجه به دیدگاه فنی در کنار موارد اقتصادی به منظور تصمیم‌سازی‌های مرتبط با برنامه‌های پاسخگویی بار صنایع
- اجرای برنامه‌های پاسخگویی بار در مناطق مختلف کشور متناسب با

۵. اهمیت رفع مشکل پیک در آن منطقه

اهمیت و راهبردی بودن مقوله تامین انرژی به صورت پایدار و مطمئن با توجه به رشد روز افزون نیازها و تهدیدات فراوری تامین انرژی در کنار کاهش ذخایر فسیلی و افزایش تهدیدات زیست‌محیطی و عوامل اقتصادی که تلاش برای بهینه‌سازی هزینه تولید و توسعه را امری اجباری، و به‌کارگیری پتانسیل بالای صنایع بزرگ را در اجرای برنامه‌های سمت تقاضا امری ضروری نموده است.

نتایج نشان می‌دهد کاهش نیاز مصرف شبکه سراسری برق متاثر از اجرای طرح‌های تعطیلات و تعمیرات سالانه و ذخیره عملیاتی صنایع هم‌زمان با روز پیک سالانه شبکه سراسری در سال ۱۳۹۳، معادل ۸۲۱ مگاوات و در شبکه برق خراسان ۱۱۱ مگاوات و منافع حاصل از اجرای طرح‌های مذکور توسط صنایع همکار در کل کشور، حدود ۱/۲۴ برابر نسبت به افزایش ظرفیت تولید، از دیدگاه اقتصادی مقرون به صرفه‌تر بوده است.

منابع

- [1] "European arrangement for peak shaving plant", Cryogenics, Vol.7, December 1967.
- [2] Lukas Sigrist, Enrique Lobato, and Luis Rouco, "Energy storage systems providing primary reserve and peak shaving in small isolated power systems: An economic assessment," International Journal of Electrical power & Energy systems, vol.53, pp.675-683, December 2013.
- [3] Ahmad Y. Hasan, A.A.M. Saayigh, "Electricity Load Peak Shaving Using Photovoltaic Central Plant for Kuwait" Solar World Congress, pp.467-472, 1992.
- [4] علیرضا احمد یزدی، هومن اندامی، عبدالحمید حسن‌زاده، «مطالعه تاثیر و میزان موفقیت برنامه تعطیلات و تعمیرات تابستانی صنایع بزرگ ایران در پیک سالی شبکه و مدیریت مصرف برق»، نوزدهمین کنفرانس بین‌المللی برق ۲۰۰۴PSC، تهران، ایران، ۱۳۸۳.
- [5] انیمه فخرشاملو، مصطفی لگزبان، مجتبی کاظمی، مصطفی رجبی مشهدی، «ارایه راهکارهای کاربردی به منظور اجرای کارآمد و موثر طرح تعطیلات و تعمیرات تابستانی صنایع برای گذر از پیک سال ۹۳، مطالعه موردی در برق منطقه‌ای خراسان» بیست و هشتمین کنفرانس بین‌المللی برق ۲۰۱۳PSC، تهران، ایران، ۱۳۹۲.
- [6] محمد حسن متولی‌زاده، مصطفی رجبی مشهدی، مصطفی لگزبان، «گذر از پیک سال ۹۳ با اجرای طرح ملی ذخیره عملیاتی، تحولی در مشارکت صنایع در مدیریت بار»، عصر برق، فصلنامه علمی، آموزشی، پژوهشی، انجمن مهندسی برق و الکترونیک ایران، شاخه خراسان، سال نخست، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۳.
- [7] مجید ارس‌نژاد، مصطفی رجبی مشهدی، حمدی عبدی، «مطالعه تاثیر اجرای طرح ذخیره عملیاتی صنایع در کاهش پیک شبکه و آرایه راهکارهای کاربردی به‌منظور اجرای کارآمدتر طرح»، دومین کنفرانس انجمن علمی انرژی ایران، تهران، سال ۱۳۹۴.
- [8] «آمار تفصیلی صنعت برق خراسان»، سال ۱۳۹۳.
- [9] «آمار تفصیلی صنعت برق ایران»، سال ۱۳۹۳.
- [10] دفتر مدیریت مصرف شرکت توانیر، «گزارش عملکرد برنامه پاسخگویی بار صنایع»، بهمن ماه سال ۱۳۹۳.
- [11] «گزارش راهبری و پایش شبکه برق خراسان، امور دیسپاچینگ و مخابرات شمال شرق کشور»، وضعیت پیک سال ۱۳۹۳.
- [12] معاونت برنامه‌ریزی و توسعه شبکه شرکت توانیر، «برنامه توسعه ظرفیت نیروگاه‌های کشور، برنامه پنج ساله ششم (۱۳۹۵ الی ۱۳۹۹)»، تیر ماه، سال ۱۳۹۴.
- [13] M. Paulus, F.Borggreffe, "The potential of demand-side management in energy-intensive industries for electricity markets in Germany", Applied Energy, In Press, Corrected Proof, Available online April 2010.
- [14] Hyung-Geun Kwang, Jin-O Kim, "Optimal combined scheduling of generation and demand response with demand resource constraints," Applied Energy, Vol.96, pp.161-170, August 2012.
- [15] H.R. Arasteh, M. Parsa Moghaddam, M.K. Sheikh- El-Eslami, A.Abdollahi, "Integrating commercial demand resource resources with unit commitment," International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol.51, pp.153-161, October, 2013.