



مطالعه موردی: بررسی کاهش همزمان تلفات سیستم توزیع، فوق توزیع و انتقال یزد

حسین برهانی بهابادی^۱، علیرضا صدیقی اناری^۲، احمد میرزایی^۲

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه یزد
۲. عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر و عضو گروه پژوهشی کیفیت توان، دانشگاه یزد

واژه‌های کلیدی: الگوریتم ژنتیک، بانک خازنی،
تلفات توان اکتیو، سیستم‌های توزیع برق

چکیده

تلفات توان الکتریکی عمدتاً در بخش‌های انتقال، فوق توزیع و توزیع وجود دارد که در این میان شبکه‌های توزیع دارای بالاترین سهم تلفات هستند. یکی از راهکارهای مؤثر کاهش تلفات نصب صحیح خازن در شبکه توزیع است که سبب کاهش تلفات انرژی، بارگیری خطوط و بهبود پروفیل ولتاژ می‌شود. هدف این مقاله ارائه نتایج تحقیقاتی است که جهت کاهش تلفات توان اکتیو در بخش‌های انتقال، فوق توزیع و توزیع بطور همزمان در شبکه برق استان یزد، صورت گرفته است. در این مقاله با بررسی تأثیر عواملی چون خازن‌گذاری، تغییر سنج‌چنجر ترانسفورماتورها و تغییر توان راکتیو ژنراتورها بر میزان کاهش تلفات توان اکتیو در سطح انتقال و فوق توزیع اقدام به تعیین ترکیب مناسب متغیرهای کنترلی یاد شده گردیده است. سپس با پراکنده ساختن بانک خازنی یکی از پوست‌های فوق توزیع در طول شبکه توزیع همان پوست، میزان کاهش تلفات در هر سه بخش محاسبه گردید. نتایج کاهش قابل توجه تلفات را در بخش‌های توزیع و انتقال و فوق توزیع، نشان می‌دهد.



بررسی اقتصادی طرح پیشنهادی برق خراسان در خصوص دیماند منقطع از دیدگاه مشترکین پر مصرف

امیر بشیان^۱ مهدی صمدی^۱ مهدی ظریف^۱
amir_bashian@stu-mail.um.ac.ir mahdi_samadi@stu-mail.um.ac.ir ma_zarifi@fu-mail.um.ac.ir
مصطفی فرشباشی^۲ مصطفی رجعی مشهدی^۲ محمد حسین جاویدی^۱
m_farshbashi@krec.ir m.rajeei@shmsu.ac.ir h-javidi@ferdowsi.um.ac.ir

۱. آزمایشگاه تخصصی مطالعات سیستم و تجدید ساختار - دانشکده مهندسی - دانشگاه فردوسی مشهد
۲. شرکت برق منطقه ای خراسان

واژه‌های کلیدی: مدیریت مصرف، دیماند منقطع، بهای دیماند

چکیده

در سالهای اخیر برنامه‌های مدیریت مصرف مورد توجه فراوان واقع شده‌اند. بهره‌برداری کارا و بهینه از بازار برق بستگی به تعامل مناسب تولید و مصرف دارد و مدیریت بار یکی از راههای ایجاد تعادل بین تولید و مصرف می‌باشد.
طرح "دیماند منقطع" طرح جدید پیشنهادی برق منطقه‌ای خراسان، در راستای برنامه‌های مدیریت مصرف می‌باشد. با پذیرفتن این طرح، مشترک می‌تواند دیماند قراردادی و در نتیجه بهای دیماند را، بدون خدشه‌دار شدن عملکرد عادی خود، کاهش دهد. اجرای موفق طرح دیماند منقطع، برای اپراتور سیستم مزایای کاهش پیک و برای مشتریان، منافع اقتصادی را به همراه دارد. در این مقاله چگونگی اجرای طرح دیماند منقطع برای مشترکین صنعتی (به‌طور خاص یک کارخانه سیمان) بررسی و مزایای اقتصادی آن، تشریح شده است.
نتایج بدست آمده نشان می‌دهد، اجرای مناسب طرح دیماند منقطع، علاوه بر کاهش پیک شبکه، صرفه جویی قابل توجهی در هزینه انرژی مشترک بدنبال دارد. با بررسی‌های کارشناسی بیشتر، طرح دیماند منقطع بتواند یک طرح کاملاً عملی و سودمند در سراسر کشور قابل اجرا خواهد بود.

بررسی اقتصادی طرح پیشنهادی برق خراسان در خصوص دیماند منعطف از دیدگاه مشترکین پر مصرف

مهدی ظریف^۱، مهدی صمدی^۱، امیر بشیان^۱، محمد حسین جاویدی^۱، مصطفی رجبی مشهدی^۱، مصطفی فراشباشی^۲
ma_zaz722@stu-mail.um.ac.ir, mahdi.samadi@stu-mail.um.ac.ir, amir.bashian@stu-mail.um.ac.ir,
h-javidi@ferdowsi.um.ac.ir, m.farashbashi@krec.ir

^۱ آزمایشگاه تخصصی مطالعات سیستم و تجدید ساختار - دانشکده مهندسی - دانشگاه فردوسی مشهد

^۲ - شرکت برق منطقه ای خراسان

واژه‌های کلیدی: مدیریت مصرف، دیماند منعطف، بهای دیماند

چکیده

در سالهای اخیر برنامه‌های مدیریت مصرف مورد توجه فراوان واقع شده‌اند. بهره‌برداری کارا و بهینه از بازار برق بستگی به تعامل مناسب تولید و مصرف دارد و مدیریت باریکی از راههای ایجاد تعادل بین تولید و مصرف می‌باشد.

طرح "دیماند منعطف"، طرح جدید پیشنهادی برق منطقه - ای خراسان، در راستای برنامه‌های مدیریت مصرف می‌باشد. با پذیرفتن این طرح، مشترک می‌تواند دیماند قراردادی و در نتیجه بهای دیماند را، بدون خدشه‌دار شدن عملکرد عادی خود، کاهش دهد. اجرای موفق طرح دیماند منعطف، برای اپراتور سیستم مزایای کاهش پیک و برای مشتریان، منافع اقتصادی را به همراه دارد.

در این مقاله چگونگی اجرای طرح دیماند منعطف برای مشترکین صنعتی (به‌طور خاص یک کارخانه سیمان) بررسی و مزایای اقتصادی آن، تشریح شده است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد، اجرای مناسب طرح دیماند منعطف، علاوه بر کاهش پیک شبکه، صرفه جویی

قابل توجهی در هزینه انرژی مشترک بدنبال دارد. با بررسیهای کارشناسی بیشتر، طرح دیماند منعطف بعنوان یک طرح کاملاً عملی و سودمند در سراسر کشور قابل اجرا خواهد بود.

۱- مقدمه

بهره‌برداری کارا و بهینه از بازار برق بستگی به تعامل مناسب تولید و مصرف دارد. مدیریت بار یکی از راههای ایجاد تعادل بین تولید و مصرف است. فعالیتهایی که موجب تغییرات مطلوب در زمان‌بندی و میزان مصرف برق می‌گردد، مدیریت سمت تقاضا (DSM)^۱ نامیده شده است [۱].

افزایش بازدهی بهره‌برداری از سیستم و سرمایه‌گذاری موجود در تولید و انتقال، افزایش رضایت مشتری بخاطر کاهش در هزینه‌هایش و کاهش پیک، از انگیزه‌های اصلی معرفی برنامه‌های مدیریت سمت تقاضا بوده است [۲] و [۳].

از مهمترین اهداف اجرای برنامه‌های مدیریت مصرف، بهره‌برداری کارا تر و با انعطاف بیشتر از سیستم قدرت [۴].

^۱ Demand Side Management

بیست و پنجمین کنفرانس بین‌المللی برق

کارخانه سیمان بررسی شده است. بخش چهارم به تحلیل و ارزیابی اقتصادی طرح دیماند منقطع از دید مشترک (کارخانه سیمان) پرداخته است. بررسیها در دو سناریوی مختلف انجام، و نتایج ارائه شده است. در پایان نیز جمع بندی و نتیجه‌گیری انجام گرفته است.

۲- طرح فروش دیماند منقطع به متقاضیان انشعاب

صنعتی

به تازگی طرحی از طرف شرکت برق منطقه‌ای خراسان به مشترکین صنعتی پیشنهاد گردیده که طرح دیماند منقطع (شناور) نامیده شده است. این طرح بصورت زیر تعریف می‌شود:

در صورت انعقاد قرارداد فروش انشعاب با دیماند منقطع به میزان A مگاوات؛

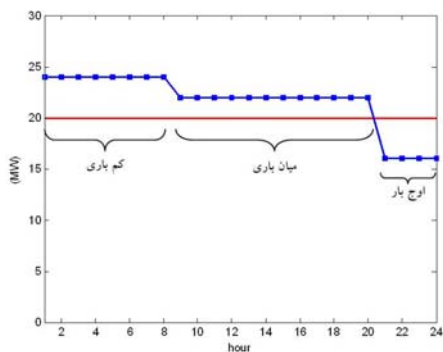
- مشترک مجاز است در شبانه روز، حداکثر معادل $A*24$ مگاوات ساعت انرژی مصرف نماید.

- دیماند مجاز مصرفی مشترک در ۴ ساعت پیک، معادل $a \times A$ مگاوات می باشد. (a ضریب پیک سایبی است که بین ۴۰٪ تا ۸۰٪ با پلکان ۵ درصدی، توسط متقاضی انتخاب می‌شود).

- دیماند مجاز مصرفی مشترک در ساعات کم باری، معادل $(2-a) \times A$ مگاوات می‌باشد.

- دیماند مجاز مصرفی مشترک در ساعات میان باری، معادل $(1.5-a/2) \times A$ مگاوات می‌باشد.

برای فهم ساده‌تر این طرح، روند مصرف ۲۴ ساعته یک مشترک فرضی ۲۰ مگاواتی، در ازای انتخاب ضریب پیک سایبی ۸۰ درصدی ($a=80\%$)، بررسی می‌شود.



شکل ۱: مقایسه دیماند مصرفی در سه حالت ($a=80\%$)

کاهش مصرف مولدهای تولید برق گران، افزایش ظرفیت کوتاه مدت، جلوگیری یا تعویق توسعه زیرساختهای تولید و انتقال، کاهش قیمت برای همه مصرف‌کننده‌ها، کاهش نوسان قیمت در بازار لحظه‌ای، کاهش خاموشی و انرژی تغذیه نشده مورد انتظار و بهبود قابلیت اطمینان، کیفیت، امنیت و پایداری را نام برد [۵] و [۶].

بنا به تعریف وزارت نیرو دیماند عبارت است از: "حداکثر توان درخواستی و قراردادی". مقدار دیماند بیشتر بر اساس برآوردها و تخمین‌ها محاسبه و به قرارداد تبدیل می‌شود و ممکن است با حداکثر توان واقعی کارخانه تفاوت داشته باشد. حال چنانچه در برآوردها درست عمل نشود، باعث پرداخت هزینه اضافی سنگینی توسط مشترک صنعتی می‌شود. توجیه وزارت نیرو برای دریافت هزینه انشعاب برق (تأمین دیماند) این است که باید نیروگاهها، خطوط انتقال، پستهای فوق توزیع و توزیع را برای تأمین چنین توانی تجهیز نماید و به عبارت دیگر برای دیماندهای بالاتر، وزارت نیرو باید سرمایه‌گذاری بیشتری بنماید. لذا اولین گام در اجرای برنامه‌های مدیریت مصرف برای مصارف صنعتی بخصوص مشترکین بر مصرف (مانند کارخانه سیمان)، بررسی حداکثر توان مصرفی یا حداکثر دیماند قراردادی می‌باشد.

طرح "دیماند منقطع"، طرح جدید پیشنهادی برق منطقه‌ای خراسان، در راستای برنامه‌های مدیریت مصرف می‌باشد. با پذیرفتن این طرح، مشترک می‌تواند بدون خدشه‌دار شدن عملکرد عادی (یعنی عدم تغییر انرژی مصرفی در یک روز با رعایت قیود فنی فرایند تولید خود)، دیماند قراردادی و در نتیجه بهای دیماند خود را کاهش دهد. بدیهی است این کاهش دیماند در ساعات پیک، مزایای فراوانی را برای شبکه به همراه دارد.

در این مقاله چگونگی اجرای طرح دیماند منقطع برای مشترکین صنعتی (به‌طور خاص یک کارخانه سیمان) بررسی و مزایای اقتصادی آن از دیدگاه مشترک، تشریح شده است.

در ادامه و در بخش دوم مقاله، ویژگیها و مزایای طرح دیماند منقطع توضیح داده شده است. در بخش سوم، پس از شرح مختصر فرایند تولید سیمان، روند مصرف برق روزانه

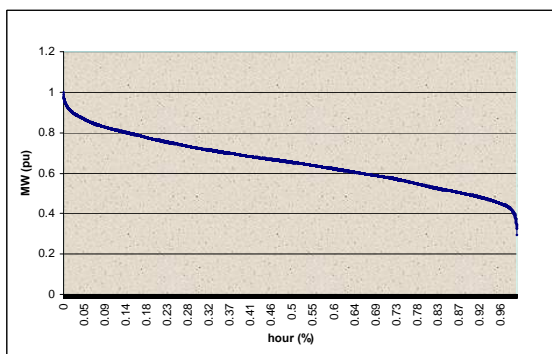
بیست و پنجمین کنفرانس بین‌المللی برق

• حوزه عملکرد طرح

برای استفاده از این طرح، باید سیستمهای اندازه گیری قادر به ثبت مقادیر مصرف به صورت ساعتی باشند. در بسیاری از شرکتهای برق منطقه‌ای از جمله خراسان، مصارف مشترکین فوق توزیع بر مصرف، با استفاده از کنتورهای بازار برق بصورت ساعتی قرائت می‌گردند. لذا با زیر ساختهای موجود هم این طرح قابل اجراست.

۲-۲) مزایای طرح دیمانند منقطع

یکی از مهمترین انگیزه‌ها در حرکت به سمت دیمانند منقطع، اصلاح منحنی تداوم بار (LDC^۱) شبکه بوده است. در این بخش برای آشنایی بیشتر با وضعیت شبکه خراسان، منحنی LDC و شاخصهای مربوط به آن مورد بررسی قرار گرفته است. شکل ۲ منحنی تداوم بار شبکه خراسان در سال ۱۳۸۸ را نشان می‌دهد که بر اساس اطلاعات بار مصرفی کل شبکه در ۸۷۶۰ ساعت سال رسم شده است. محور عمودی توان پریونیت شده (با مقدار پیک مبنای 2759.65 MW) و محور افقی مدت زمان بر حسب درصد است.



شکل ۲: منحنی تداوم بار شبکه خراسان در سال ۱۳۸۸

معمولاً شاخصی که در اهداف پیک سایه مد نظر قرار می‌گیرد، از مقدار توان در ۵۰ ساعت اول این منحنی بدست می‌آید. نقطه متناظر ۵۰ ساعت اول (یعنی ۵۰/۸۷۶۰) برابر

مطابق شکل ۱، مشترک با انتخاب ضریب پیک سایه ۸۰ درصدی، در ساعات پیک ۱۶ مگاوات مصرف می‌کند. این در حالی است که مطابق روابط بیان شده، در صورت شیفت بار به ساعات میان باری، دیمانند مصرفی می‌تواند تا ۲۲ مگاوات و در ساعات کم باری تا ۲۴ مگاوات افزایش یابد. با توجه به پایین بودن هزینه انرژی در ساعات کم باری و میان باری، انتقال بار به این ساعات موجب کاهش قابل ملاحظه‌ای در هزینه انرژی مصرفی مشترک می‌شود.

بیشترین همکاری مشترک مفروض در پیک سایه (یعنی $a=40\%$)، ۱۲ مگاوات، و کمترین همکاری ($a=80\%$)، ۴ مگاوات کاهش پیک را به همراه دارد.

جهت ارزیابی میزان مصرف مشترک در ساعات مختلف شبانه روز، از کنتورهای بازار برق ایران استفاده می‌شود. بوسیله این کنتورها می‌توان انرژی مصرفی مشترکین فوق توزیع شرکتهای برق منطقه‌ای را، بصورت ساعت به ساعت قرائت نمود.

۲-۱) توضیحات لازم در مورد طرح دیمانند منقطع

مواردی که در تدوین این طرح به آن توجه شده و البته نیاز به بررسی کارشناسی بیشتر دارد به شرح زیر است:

• جبران کاهش درآمد برق منطقه‌ای به دلیل تغییرات قیمت انرژی در بازار برق

ممکن است در نگاه اول این‌طور به نظر برسد که درآمد شرکتهای برق های منطقه ای به دلیل کاهش چند درصدی قبوض برق مشترک کاهش خواهد یافت. این ذهنیت به دلیل اینکه قیمت برق فروخته شده به شرکتهای برق منطقه‌ای در ساعات پیک بیشتر از ساعات دیگر می‌باشد، صحیح نیست.

• امکان محدود سازی انرژی مصرفی به دلیل تأسیسات مشترک

ممکن است تأسیسات تغذیه‌کننده (خط و پست) مشترکین صنعتی که از سطوح ولتاژ فوق توزیع و انتقال تغذیه می‌شوند، از لحاظ فنی قادر به انتقال توان ناشی از اضافه دیمانند نباشد. بنابراین مشترک بایستی در انتخاب ضریب مناسب پیک سایه با توجه به محدودیتهای فنی خود دقت نماید.

^۱ Load Duration Curve

بیست و پنجمین کنفرانس بین‌المللی برق

۲-۳) چگونگی محاسبه میزان صرفه جویی بدست آمده از طرح دیمانند منعطف

همانطور که گفته شد، با کاهش پیک مشترکین صنعتی در ساعات پیک علاوه بر بهبود ضریب بار، نیاز به طرحهای توسعه تولید و انتقال نیرو به تعویق می‌افتد. لازم به یادآوری است؛ هزینه سرمایه گذاری لازم برای افزودن یک مگاوات به ظرفیت تولید و انتقال نیرو به شبکه، حدود یک میلیارد تومان (هر وات یک دلار) می‌باشد. لذا با توجه به رشد زیاد پیک مصرف (متوسط پیک پنج سال گذشته ۵ درصد بوده است) در شرایط کنونی کمبود نقدینگی، می‌توان صرفه جویی قابل توجهی در طرحهای توسعه تولید و انتقال نمود. در اینجا دو سناریو برای محاسبه میزان صرفه جویی حاصل شده در نظر گرفته شده است.

سناریو اول: طرح مذکور به تمام مشترکین صنعتی موجود لحاظ شود. از حدود ۳۹۵۰۰ مگاوات مصرف در زمان اوج بار، حدود ۳۰ درصد (۱۱۸۵۰ مگاوات) در تعرفه صنعتی جای دارند. اگر تنها ۲۰ درصد مشترکین صنعتی از این طرح استفاده نمایند و از گزینه $a=60\%$ استفاده کنند (۴۰٪ کاهش دیمانند در ساعات اوج مصرف)، با احتساب هزینه یک میلیارد تومانی برای افزودن یک مگاوات به ظرفیت تولید و انتقال نیرو در کشور، سالانه معادل هزار میلیارد تومان در سرمایه گذاری برای طرحهای توسعه صرفه جویی می‌شود.

سناریو دوم: طرح فوق تنها به متقاضیان انشعابهای صنعتی جدید، پیشنهاد شود. با فرض سالانه ۲۰۰۰ مگاوات درخواست دیمانند در تعرفه صنعتی، اگر تنها ۴۰ درصد از متقاضیان از این طرح استفاده کنند و از گزینه $a=60\%$ استفاده کنند، سالانه معادل سیصد و بیست میلیارد تومان در سرمایه گذاری برای طرحهای توسعه صرفه جویی می‌شود.

۳- بررسی منحنی بار روزانه کارخانه سیمان

در فرآیند تولید هر تن سیمان، با توجه به تکنولوژی خط تولید و خواص مواد اولیه، حدود ۷۰۰ تا ۲۱۰۰ مگا کالری انرژی حرارتی و ۹۰ تا ۱۱۵ کیلو وات

0.937132 است. مقدار کاهش توانی که در پیک سایه باید هدف گذاری شود برابر 173.5 MW می‌باشد.

با توجه به این منحنی ملاحظه می‌شود در ساعات بسیار کمی از سال، مصرف در نزدیکی پیک است. لذا با برنامه‌ریزی‌های دقیق می‌توان بارهای قابل انتقال را از زمان اوج مصرف به زمان دیگری منتقل کرده و با ظرفیت نیروگاهی کمتری پاسخگوی نیاز مصرف واقعی در شرایط کنونی بود. در صورت کاهش پیک، نیاز به نصب ژنراتوری برای بهره برداری در ساعات کمی از سال وجود نخواهد داشت [۷]. بیکار بودن ظرفیتهای گران تولید در پیک، در تمام ساعات دیگر سال منجر به ناکارایی اقتصادی می‌گردد، چون سرمایه ها و منابع برای تأمین بار پیک و غیر پیک، بطور بهینه اختصاص داده نمی‌شوند [۸].

در برنامه های مدیریت مصرف، مشترک الگوی مصرف خود را در راستای اهداف شرکت برق اصلاح می‌کند [۹].

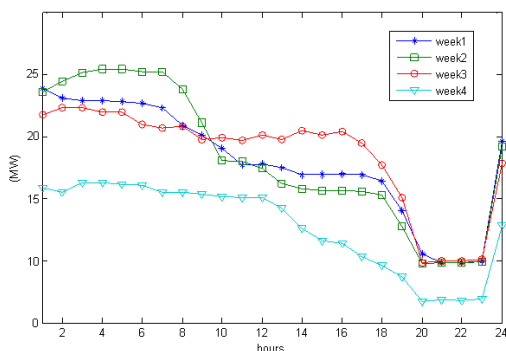
با اجرای موفق طرح دیمانند منعطف بعنوان ابزاری سودمند جهت کاهش مصرف انرژی در طول ساعات پیک، هم اپراتور سیستم به هدفش که کاهش پیک است می‌رسد، و هم مشتریان، منافع اقتصادی بدست می‌آورند. کاهش بهای برق مصرفی مهمترین انگیزه مشارکت فعال مشتریان در این طرح، و رضایت بیشتر آنان خواهد بود. بارزترین اثر اجرای گسترده این طرح، کاهش پیک مصرف است که خود مزایای زیر را به همراه دارد:

- ✓ کاهش نیاز به سرمایه‌گذاری در ظرفیتهای جدید
 - ✓ تأسیسات تولید، انتقال و فوق توزیع
 - ✓ کاهش خاموشیها و کمبودهای توان گسترده بخاطر جلوگیری از بهره برداری از سیستم، نزدیک به ظرفیتش
 - ✓ کاهش استفاده از ظرفیتهای گران تولید در پیک، و در نتیجه کاهش هزینه کل تولید انرژی الکتریکی
 - ✓ بهبود ضریب بار
- البته اگر در مطالعات ارزیابی این طرح، نرخ نفوذ پایین و افقی کوتاه مدت در نظر گرفته شود، منافع طرح دیمانند منعطف، بخوبی آشکار نخواهد شد.

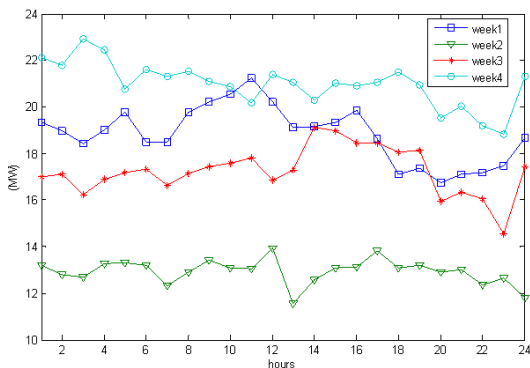
بیست و پنجمین کنفرانس بین‌المللی برق

میزان قابلیت انتقال بار از ساعات پرباری به کم باری را ارزیابی نمود. در ادامه و در شکل‌های ۴ و ۵، منحنی مصرف برق ساعتی دو کارخانه سیمان نمونه ارائه شده است. (شایان ذکر است اطلاعات انرژی مصرفی کارخانجات پر مصرف سیمان، بصورت ساعتی به شرکت برق منطقه ای خراسان ارسال شده و در دسترس می‌باشد).

با توجه به شکل‌های ۴ و ۵ ملاحظه می‌شود که برنامه‌های مدیریت مصرف در سیمان بجنورد، بهتر از سیمان مشهد پیاده سازی شده است؛ لذا نیاز به اجرای طرح دیماند منقطع در کارخانه سیمان مشهد، بیشتر احساس می‌شود.



شکل ۴: متوسط مصرف در چهار هفته تیرماه ۱۳۸۹ سیمان بجنورد



شکل ۵: متوسط مصرف در چهار هفته تیرماه ۱۳۸۹ سیمان مشهد

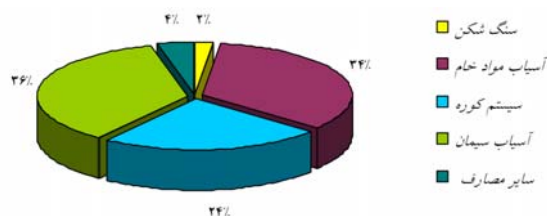
با این حال کارخانه سیمان بجنورد (که عملکرد بهتری از نظر برنامه‌های مدیریت مصرف دارد)، برای ارزیابی طرح دیماند منقطع در این مقاله، انتخاب شده است. اگر مزایای اجرای طرح در مورد این کارخانه اثبات شود، قطعاً برای

ساعت انرژی الکتریکی مصرف می‌شود. تولید سیمان عموماً به سه بخش کلی زیر تقسیم می‌شود [۱۰] و [۱۱]:

قبل از کوره (شامل سنگ شکن، سالن ذخیره مواد، آسیاب مواد، سیلوهای مواد)

کوره (سیستم پخت): کوره، کولر، پیش‌گرمکن بعد از کوره (شامل آسیاب سیمان، سیلوهای سیمان و بارگیرخانه)

از نظر میزان مصرف انرژی الکتریکی، بخش سنگ شکن حدود ۱-۱.۵ درصد، آسیاب مواد خام حدود ۳۵-۳۰ درصد و کوره حدود ۲۵ درصد کل انرژی الکتریکی مصرفی را به خود اختصاص می‌دهند. حدود ۳۵ تا ۴۰ درصد هم آسیاب سیمان مصرف می‌شود. در شکل ۳ میزان مصرف انرژی بخش‌های مختلف کارخانه سیمان دیده می‌شود.



شکل ۳: میزان مصرف انرژی بخش‌های مختلف کارخانه سیمان

با توجه به اینکه ۷۰ تا ۷۵ درصد انرژی الکتریکی مصرفی، به آسیاب‌های مواد و سیمان اختصاص دارد، می‌توان گفت در صنعت سیمان آسیاب‌ها اهمیت ویژه‌ای از نظر مصرف انرژی الکتریکی دارند.

موفقیت در هر برنامه مدیریت مصرف، بستگی به شناخت و آنالیز صحیح ویژگی‌های بار دارد [۱۲].

یکی از موارد مهم در ارزیابی قابلیت مدیریت مصرف یک کارخانه سیمان با استفاده از طرح دیماند منقطع، منحنی بار روزانه آن در شرایط عادی می‌باشد. در واقع با توجه به میزان مصرف مشترک در ساعات پرباری و کم باری، و همچنین محدودیتهای بخش‌های مختلف فرایند تولید سیمان از نظر ظرفیت کاری، حجم سیلوها برای ذخیره مواد و... می‌توان

بیست و پنجمین کنفرانس بین المللی برق

۴- تحلیل اقتصادی طرح دیماند منقطع از دید

مشترک

در این بخش به بررسی اقتصادی طرح دیماند منقطع از دید مشترک پرداخته شده است. هدف از تحلیلهای ارائه شده، محاسبه میزان کاهش هزینه برق مصرفی مشترک می باشد. لذا با توجه به اطلاعات قبض صادره برای یک مشترک نمونه (سیمان بجنورد)، به محاسبه هزینه برق مصرفی در دو سناریوی مختلف پرداخته شده است.

اطلاعات جدولهای ۱ و ۲، از قبض برق اسفند ماه ۸۸ سیمان بجنورد استخراج شده است (برای سهولت در نتیجه گیری ها، مالیات و... در این جدول در نظر گرفته نشده است).

جدول ۱: هزینه برق مصرفی مشترک در اسفند ۸۸ به تفکیک تعرفه ها

(بدون طرح دیماند منقطع)

| مبلغ (ریال) | نرخ انرژی (ریال / kwh) | مقدار مصرف (kwh) | |
|-------------|------------------------|------------------|-------------------------|
| ۹۰۰۱۴۰۹۲۰ | ۱۳۴.۵۱ | ۶۶۹۲۰۰۰ | مصرف در ساعات میان باری |
| ۴۰۹۷۷۵۰۸۰ | ۴۴۳.۹۶ | ۹۲۳۰۰۰ | مصرف در ساعات اوج بار |
| ۱۸۵۳۰۷۳۶۰ | ۳۳.۶۸ | ۵۵۰۲۰۰۰ | مصرف در ساعات کم باری |
| ۴۹۹۳۶۶۲۱ | | ۱۴۸۰۰۰ | مصرف جمعه |
| ۱۵۴۵۱۵۹۹۸۱ | | جمع | |

جدول ۲: بهای دیماند مشترک در اسفند ۸۸

| بهای دیماند (ریال) | نرخ دیماند (ریال / kw) | قدرت محاسبه (kw) | قدرت قرارداد (kw) |
|--------------------|------------------------|------------------|-------------------|
| ۳۸۷.۷۲۰.۹۹۰ | ۱۱۴۷۴.۴۳ | ۳۳۷۹۰ | ۳۶۰۰۰ |

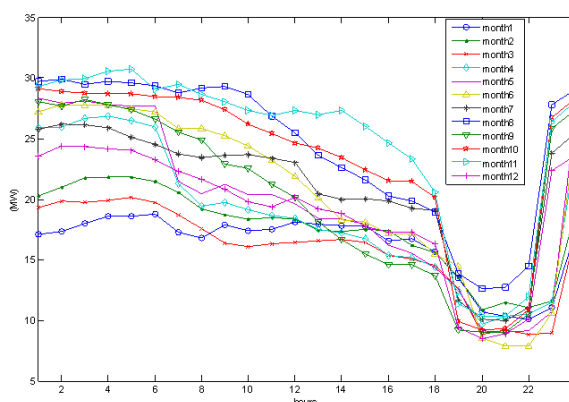
دیماند مصرفی مشترک در این دوره، بیش از ۹۰ درصد دیماند قراردادی بوده است، در نتیجه همان مقدار برای محاسبه بهای دیماند در نظر گرفته شده است.

بهای تمام شده برق مصرفی در این دوره (مجموع هزینه انرژی و دیماند) برابر ۱.۹۳۲۸۸۰.۹۷۱ ریال خواهد بود.

در ادامه با توجه به دیماند قراردادی و نوع مصرف مشترک، پتانسیل کاهش هزینه برق مصرفی را در دو سناریوی مختلف

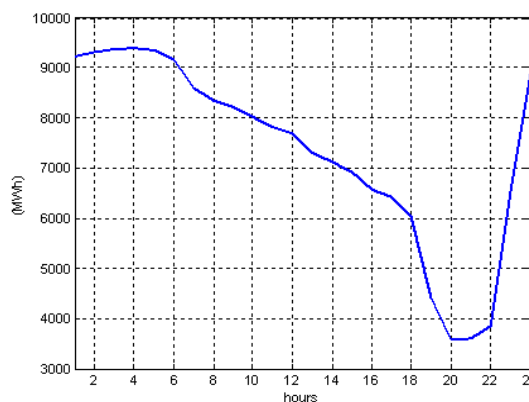
شرکتهای سیمان دیگر (نظیر سیمان مشهد)، مزایای بسیار بیشتری را به همراه خواهد داشت.

بررسی های بیشتر انجام شده بر روی اطلاعات دقیق برق مصرفی چند کارخانه سیمان در ۱۲ ماه سال ۱۳۸۸ نیز، نشان می دهد سیمان بجنورد بهترین عملکرد را در مشارکت در برنامه های مدیریت مصرف دارد. شکل ۶ متوسط مصرف ماهیانه کارخانه سیمان بجنورد در ۱۲ ماه سال ۸۸ را نشان می دهد.



شکل ۶: متوسط مصرف ماهیانه سیمان بجنورد در ۱۲ ماه سال ۸۸

با دقت در شکل ۶، می توان کاهش مصرف در ساعات پیک در تمام ماههای سال را مشاهده کرد. ولی با ملاحظه مصرف در ساعات عادی و کم باری می توان گفت نیاز به مدیریت مصرف از طریق شیفت بار در این ساعات همچنان احساس می شود. در شکل ۷، مجموع مصرف سیمان بجنورد در سال ۸۸، به تفکیک ۲۴ ساعت به نمایش درآمده است.



شکل ۷: منحنی کل انرژی مصرفی سال ۸۸ سیمان بجنورد

بیست و پنجمین کنفرانس بین‌المللی برق

در قبض صادره برای مشترک نمونه، اسفند ماه ۸۸ با ۲۹ روز در نظر گرفته شده است. برای محاسبه ساعات کم باری، پرباری و میان باری روزهای جمعه مستثنی شده اند (مطابق جدول ۱)، در نتیجه اطلاعات ۲۵ روز را برای این دوره مد نظر قرار می‌دهیم.

برای محاسبه مقدار توان متوسط مشترک در هر بازه، میزان انرژی مصرفی در هر یک از بازه های کم باری، پرباری و میان باری را بر تعداد ساعات یک ماه تقسیم می‌کنیم. (ساعات کم باری برابر ۸ ساعت، میان باری ۱۲ ساعت و پرباری ۴ ساعت می‌باشد).

جدول ۴: توان متوسط مصرفی مشترک در اسفند ماه ۸۸

| بازه | توان متوسط مصرفی (MW) |
|-----------|-----------------------|
| کم باری | $(5502/25)/8=27.51$ |
| میان باری | $(6692/25)/12=22.3$ |
| اوج بار | $(923/25)/4=9.23$ |

با مقایسه جداول ۳ و ۴، ملاحظه می‌شود مصرف مشترک در ساعات اوج بار، بالاتر از دیماند مجاز است، لذا برای رعایت حد مجاز در پرباری، مقادیر a و x را از حل همزمان معادلات زیر (روابط ۲ و ۳) محاسبه می‌شود.

$$\text{قید توان در کم باری: } (2) \quad x=36 \cdot (2-a)$$

$$\text{قید انرژی در پر باری: } (3) \quad 4 \cdot a \cdot x=923/25$$

(علت استفاده از رابطه (۳)، خدشه دار نشدن عملکرد نرمال کارخانه در ساعات اوج بار ماه مورد نظر می‌باشد.) از حل معادلات فوق مقادیر زیر بدست آمده است:

$$a=0.408$$

$$x=22.62 \text{ MW}$$

با توجه به فرضیات طرح دیماند منعطف، که مقادیری بین ۰.۴ تا ۰.۸ با پلکان ۵ درصدی را اختیار می‌کند، مقدار a برابر ۰.۴۵ در نظر گرفته شده است. لذا:

$$a=0.45$$

$$x=23.225 \text{ MW}$$

در نتیجه، مقدار دیماند مجاز مصرفی مشترک در پر باری به ۱۰.۴۵ MW افزایش خواهد یافت ($a \cdot x=10.45$)، بنابراین در عملکرد عادی مشترک خللی وارد نمی‌شود.

(و با ضرایب پیک سایه متفاوت) مورد ارزیابی قرار داده می‌شود. در این روند، مقادیر مرزی پارامتر a مورد بررسی قرار گرفته است ($a \in [0.4, 0.8]$). ابتدا اثر پایتترین ضریب یعنی ۰/۴ (که معادل بیشترین مشارکت از طرف مشترک در پیک سایه است) را ارزیابی می‌کنیم.

۴-۱) ارزیابی طرح دیماند منعطف به ازای $a = 0.4$

در طرح دیماند منعطف سعی بر این است که، حداکثر مصرف مشترک به ساعات کم باری انتقال یابد. با توجه به اطلاعات قبض، دیماند قراردادی مشترک برابر ۳۶۰۰۰ کیلووات می‌باشد. اگر دیماند قراردادی جدید را با x نشان داده شود با تشکیل رابطه (۱) می‌توان مقدار x را محاسبه نمود.

$$(1) \quad (2-a) \cdot x=36000 \text{ kW}$$

بنابراین مقدار دیماند قراردادی جدید برابر با $x=22.5$ MW خواهد بود. حال با توجه به دیماند قراردادی جدید، طی دو سناریوی مختلف، به محاسبه پتانسیل صرفه جویی می‌پردازیم.

۴-۱-۱) سناریو اول: (عدم تغییر انرژی در سه بازه کم باری، میان باری و اوج بار)

در این سناریو انرژی مصرفی مشترک در بازه های مختلف، مطابق جدول ۱ باقی می‌ماند. با توجه به موارد ذکر شده در بخشهای قبل و مقادیر a و x انتخاب شده، حداکثر دیماند مجاز در هر بازه در جدول ۳ آمده است.

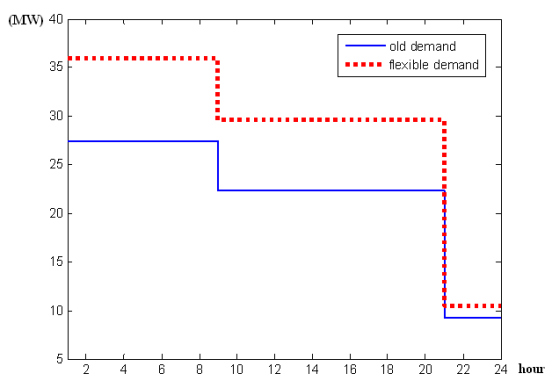
جدول ۳: دیماند مجاز در طرح دیماند منعطف

| بازه | رابطه بکار رفته | دیماند مجاز (kW) |
|-----------|---------------------|------------------|
| کم باری | $(2-a) \cdot x$ | 36000 |
| میان باری | $(1.5-a/2) \cdot x$ | 29250 |
| اوج بار | $a \cdot x$ | 9000 |

حال با توجه به قبض مشترک، متوسط مصرف در هر بازه را با مقادیر فوق مقایسه می‌کنیم.

بیست و پنجمین کنفرانس بین‌المللی برق

مجاز توان مصرفی مشترک در هر بازه رسم شده است. خطوط پیوسته منحنی از انرژی مصرفی مشترک در سه بازه بدست آمده است (مطابق اطلاعات قبض) و خط چین‌ها در شکل، دیمانند منعطف مجاز مطابق جدول ۵ می باشد.



شکل ۸: مقایسه حد مجاز توان مصرفی در سه بازه

برای رعایت بخشی از محدودیتهای فنی و عدم کاهش تولید بهینه شرکت سیمان، انرژی مشترک در پر باری ثابت نگه داشته شده و سعی می شود از طریق شیفت انرژی از ساعات میان باری به کم باری، از مقدار هزینه انرژی تا حد امکان کاسته شود.

اگر مشترک مصرف خود در کم باری را تا ۹۰٪ حد مجاز بالا ببرد، 32400kW توان مصرف خواهد کرد (36000×0.9=32400). حال با داشتن میزان توان مصرفی مشترک در این بازه، می توان مقدار انرژی که باید از بخش میان باری به کم باری جابجا شود را محاسبه نمود.

$$32400 - 27510 = 4890 \text{ kW}$$

بنابراین میزان انرژی که در یک ماه می تواند به کم باری اضافه شود برابر با ۹۷۸۰۰۰ کیلو وات ساعت خواهد بود.
4890×8×25=978000 kWh

در نتیجه مقدار مصرف در بازه های مختلف در این سناریو مطابق جدول ۷ خواهد بود.

با مقدار $a=0.45$ و دیمانند قراردادی جدید $x=23225 \text{ kW}$ حداکثر دیمانند مشترک در بازه های مختلف مطابق جدول ۵ خواهد بود.

جدول ۵: دیمانند مجاز در طرح دیمانند منعطف ($a=0.45$)

| بازه | رابطه بکار رفته | دیمانند مجاز (kW) |
|-----------|-----------------|-------------------|
| کم باری | $(2-a).x$ | 36000 |
| میان باری | $(1.5-a/2).x$ | 29612 |
| اوج بار | $a.x$ | 10451 |

حال با محاسبه بهای دیمانند مشترک، هزینه کل برق در یک ماه را محاسبه می گردد. بخاطر عدم تغییر انرژی در بازه های مختلف، بهای انرژی در این حالت با مقادیر جدول ۱ یکسان می باشد. در جدول ۶، بهای دیمانند مشترک در طرح دیمانند منعطف در سناریو اول محاسبه شده است.

از نسبت قدرت محاسبه به قدرت قرارداد، در قبض برق مشترک (جدول ۲) برای بدست آوردن قدرت محاسبه فرضی، استفاده شده است. یعنی:

$$33790/36000=0.9386 \rightarrow 3225 \times 0.9386=21799$$

جدول ۶: دیمانند مشترک و بهای دیمانند در طرح دیمانند منعطف (سناریو اول و $a=0.45$)

| قدرت قرارداد (kW) | قدرت محاسبه فرضی (kW) | نرخ دیمانند (ریال / kW) | بهای دیمانند (ریال) |
|-------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------|
| ۲۳۲۲۵ | ۲۱۷۹۹ | ۱۱۴۷۴.۲۳ | ۲۵۰۱۳۱۰۹۹ |

با توجه به عدم تغییر بهای انرژی مشترک در این سناریو، کاهش هزینه برق برابر است با:

$$387720990 - 250131099 = 137589891 \text{ (ریال)}$$

۴-۱-۲) سناریو دوم (حداکثر شیفت انرژی به ساعات کم باری)

در این سناریو، انرژی مشترک در بازه های مختلف طوری جابجا می شود که هزینه انرژی حداقل شود. در شکل ۸ حد

بیست و پنجمین کنفرانس بین‌المللی برق

جدول ۷: هزینه برق مصرفی مشترک به تفکیک تعرفه‌ها

(سناریو دوم و $a=0.45$)

| مبلغ (ریال) | نرخ انرژی (ریال / kwh) | مقدار مصرف (kwh) | |
|-------------|------------------------|------------------|-----------------------|
| ۷۶۸۵۹۰۱۴۰ | ۱۳۴.۵۱ | ۵۷۱۴۰۰۰ | مصرف در ساعات عادی |
| ۴۰۹۷۷۵۰۸۰ | ۴۴۳.۹۶ | ۹۲۳۰۰۰ | مصرف در ساعات اوج بار |
| ۲۱۸۲۴۶۴۰۰ | ۳۳.۶۸ | ۶۴۸۰۰۰۰ | مصرف در ساعات کم باری |
| ۴۹۹۳۶۶۲۱ | | ۱۴۸۰۰۰ | مصرف جمعه |
| ۱۴۴۶۵۴۸۲۴۱ | | | جمع |

مطابق فرض سناریوی اول، در این حالت انرژی مشترک در هر بازه، با مقادیر جدول ۱ تفاوتی نمی‌کند؛ لذا بهای انرژی مشترک تغییری نمی‌کند (بهای انرژی برابر ۱۵۴۵۱۵۹۹۸۱ ریال خواهد بود). ولی دیماند مشترک و بهای آن مطابق جدول ۹ محاسبه می‌گردد.

جدول ۹: دیماند مشترک و بهای دیماند در طرح دیماند منعطف

(سناریو اول و $a=0.8$)

| بهای دیماند (ریال) | نرخ دیماند (ریال / kw) | قدرت محاسبه فرضی (kw) | قدرت قرارداد (kw) |
|--------------------|------------------------|-----------------------|-------------------|
| ۳۲۳۰۹۷۰۰۰ | ۱۱۴۷۴.۴۳ | ۲۸۱۵۸ | ۳۰۰۰۰ |

قدرت محاسبه فرضی، مشابه جدول ۶ محاسبه شده است. در این حالت کاهش بهای دیماند حدود ۶ میلیون تومان خواهد بود.

$$(ریال) \quad ۳۲۳۰۹۷۰۰۰ - ۳۸۷۷۲۰۹۹۰ = ۶۴۶۲۳۹۹۰$$

۲-۲-۴) سناریو دوم (حداکثر شیفت انرژی به ساعات

کم باری)

مشابه بخش (۲-۱-۴)، انرژی مشترک در پر باری ثابت نگه داشته شده و از طریق شیفت انرژی از ساعات میان باری به کم باری، سعی می‌شود مقدار هزینه انرژی تا حد امکان کاهش داده شود. نتایج محاسبات در این حالت در جدول ۱۰ گردآوری شده است.

جدول ۱۰: هزینه برق مصرفی مشترک به تفکیک تعرفه‌ها

(سناریو دوم و $a=0.8$)

| مبلغ (ریال) | نرخ انرژی (ریال) | مقدار مصرف (kwh) | |
|-------------|------------------|------------------|-----------------------|
| ۷۶۸۵۹۰۱۴۰ | ۱۳۴.۵۱ | ۵۷۱۴۰۰۰ | مصرف در ساعات عادی |
| ۴۰۹۷۷۵۰۸۰ | ۴۴۳.۹۶ | ۹۲۳۰۰۰ | مصرف در ساعات اوج بار |
| ۲۱۸۲۴۶۴۰۰ | ۳۳.۶۸ | ۶۴۸۰۰۰۰ | مصرف در ساعات کم باری |
| ۴۹۹۳۶۶۲۱ | | ۱۴۸۰۰۰ | مصرف جمعه |
| ۱۴۴۶۵۴۸۲۴۱ | | | جمع |

با توجه به جدول ۷، کاهش هزینه انرژی در این حالت برابر است با:

$$(ریال) \quad ۱۵۴۵۱۵۹۹۸۱ - ۱۴۴۶۵۴۸۲۴۱ = ۹۸۶۱۱۷۴۰$$

با احتساب کاهش هزینه دیماند (۱۳۷۵۸۹۸۹۱ ریال)، کاهش بهای برق مصرفی در سناریو دوم، حدود ۲۳ میلیون تومان در یک ماه خواهد بود.

$$(ریال) \quad ۱۳۷۵۸۹۸۹۱ + ۹۸۶۱۱۷۴۰ = ۲۳۶.۲۰۱.۶۳۱$$

۲-۴) ارزیابی طرح دیماند منعطف به ازای $a = 0.8$

برای ارزیابی اقتصادی میزان کاهش هزینه در حالت $a=0.8$ ، محاسبات مشابهی انجام شده است.

۱-۲-۴) سناریو اول (عدم تغییر انرژی در سه بازه کم

باری، میان باری و اوج بار)

با توجه به موارد ذکر شده در بخش (۱-۴)، مقدار دیماند قراردادی جدید در این حالت برابر با $x=30$ MW خواهد بود. نتیجه محاسبه حداکثر دیماند مجاز هر بازه، در جدول ۸ جمع آوری شده است.

جدول ۸: دیماند مجاز در طرح دیماند منعطف ($a=0.8$)

| بازه | دیماند مجاز (kW) |
|-----------|------------------|
| کم باری | 36000 |
| میان باری | 33000 |
| اوج بار | 24000 |

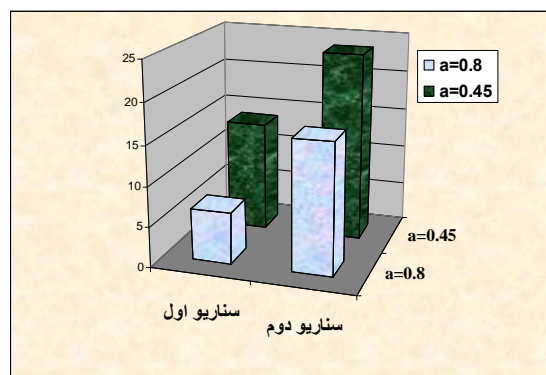
بیست و پنجمین کنفرانس بین‌المللی برق

در این مقاله چگونگی اجرای طرح دیمانند منقطع برای مشترکین صنعتی (به‌طور خاص یک کارخانه سیمان) بررسی و مزایای اقتصادی آن، تشریح شده است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد، اجرای مناسب طرح دیمانند منقطع، علاوه بر کاهش پیک شبکه، صرفه جویی قابل توجهی در هزینه انرژی مشترک بدنبال دارد. با در نظر گرفتن کامل محدودیتهای تولید هر مشترک صنعتی، طرح دیمانند منقطع بعنوان یک طرح کاملاً عملی و سودمند در سراسر کشور قابل اجرا خواهد بود. با توجه به اینکه شناخت دقیق فرایند تولید و مصرف انرژی یک مشترک نیاز به تأمل بیشتری دارد، که در مقالات بعدی به بررسی این موضوع پرداخته می‌شود.

۶- مراجع

- [1] P. Yilmaz, M. Hakan Hocaoglu, Alp Er S. Konukman, "[A pre-feasibility case study on integrated resource planning including renewables](#)", Energy Policy, Volume 36, Issue 3, March 2008, Pages 1223-1232.
- [2] G. Strbac; "[Demand side management: Benefits and challenges](#)", Energy Policy, Volume 36, Issue 12, December 2008, Pages 4419-4426.
- [3] M. H. Albadi, E.F. El-Saadany; "[A summary of demand response in electricity markets](#)", Electric Power Systems Research, Volume 78, Issue 11, November 2008.
- [4] 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
- [5] H. Aalami, G. R. Yousefi, M. P. Moghadam, "[A MADM-based support system for DR programs](#)" [43rd International Universities Power Engineering Conference, UPEC 2008](#).
- [6] H. A. Aalami, M. Parsa Moghaddam, G. R. Yousefi; "[Modeling and prioritizing demand response programs in power markets](#)", Electric Power Systems Research, Volume 80, Issue 4, April 2010, Pages 426-435.
- [7] A. Faruqui, R. Hledik, S. Newell, H. Pfeifenberger, "[The Power of 5 Percent](#)", The Electricity Journal, Volume 20, Issue 8, October 2007, Pages 68-77.
- [8] A. Faruqui, A. Hajos, R.M. Hledik, S.A. Newell; "Fostering economic demand response in the Midwest ISO", Energy, Volume 35, Issue 4, April 2010, Pages 1544-1552.

با توجه به محاسبات انجام شده، در این حالت هزینه انرژی به میزان ۹۸۶۱۱۷۴۰ ریال کاهش می‌یابد. با احتساب کاهش هزینه دیمانند (۶۴۶۲۳۹۹۰ ریال)، کاهش بهای برق مصرفی در سناریو دوم به ازای $a=0.8$ ، حدود ۱۶ میلیون تومان در یک ماه خواهد بود.
(ریال) $۹۸۶۱۱۷۴۰ + ۶۴۶۲۳۹۹۰ = ۱۶۳۲۳۵۷۳۰$
در شکل ۹، خلاصه نتایج مقاله ارائه شده است.



شکل ۹: کاهش هزینه برق یک ماه با اجرای طرح دیمانند منقطع (میلیون تومان)

ملاحظه می‌شود، ضریب پیک سایه $a=0.45$ در صورتی که از لحاظ فنی توسط مشترک قابل اجرا باشد، منجر به کاهش بیشتری در هزینه انرژی می‌گردد. با توجه به تکنولوژی مورد استفاده، محدودیتهای فنی و همچنین اطلاعات انرژی مصرفی هر مشترک صنعتی، می‌توان ضریب a مناسبی را برای آن تعیین کرد.

۵- نتیجه گیری

طرح "دیمانند منقطع"، طرح جدید پیشنهادی برق منطقه-ای خراسان، در راستای برنامه‌های مدیریت مصرف می‌باشد. با پذیرفتن این طرح، مشترک می‌تواند دیمانند قراردادی و در نتیجه بهای دیمانند خود را کاهش دهد. با اجرای موفق طرح دیمانند منقطع، هم اپراتور سیستم از مزایای کاهش پیک بهره‌مند می‌شود و هم برای مشتریان، منافع اقتصادی به همراه دارد.

بیست و پنجمین کنفرانس بین‌المللی برق

- [9] M. Rane, D. Chhabra and R. Banerjee, "Industrial DSM for Indian Power Sector", proceedings of international conference on energy and environment, Chandigarh INDIA, march 2009
- [10] رقیه بالغ غازانی، "بهینه سازی و مدیریت بار در کارخانه سیمان صوفیان با استفاده از برنامه ریزی اعداد صحیح صفر و یک، بیست و چهارمین کنفرانس بین المللی برق PSC2009، آبان ۱۳۸۸.
- [11] M. W. Leinmiller, "Total power management for the cement industry", Cement Industry Technical Conference, IEEE Conferences 2003, Publication Year: 2003, Page(s): 97 – 107
- [12] 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, January 2010, Pages 243-250.