بیست‌وششمین کنفرانس بین‌المللی برق
26th International Power System Conference PSC 2011
31Oct. - 02 Nov. 2011 Tehran-Iran
11-F-EEM-1718

ارائه یک الگوریتم جهت مشارکت صنایع در طرح دیماند منعطف با استفاده از اهرم‌های مصرف ساعتی

تکتم شریفیان عطار[1]، حمیدرضا جعفریان[2]، ابولفضل قاسمی[2]، محمد حسین جاویدی[2]، مصطفی رجبی مشهدی[1] و مصطفی فراشباشی[1]

۱. شرکت برق منطقه‌ای خراسان t.sharifian@ieee.org
۲. گروه برق دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

واژه‌های کلیدی: دیماند منعطف، صنایع بزرگ، تعرفه برق، برق خراسان

چکیده

در گذشته به منظور کاهش مصرف برق در زمان پیک و بهبود منحنی مصرف الکتریکی، طرحی به نام دیماند منعطف توسط برق منطقه‌ای خراسان جهت مشترکین صنعتی ارائه گردیده بود. عدم تطابق طرح اولیه‌ی دیماند شناور با منحنی بارهای مختلف و همچنین ایجاد تغییرات در منحنی بار شبکه خراسان که بنا به گزارش مرکز دیسپاچینگ شمال شرق کشور در مواردی در اوایل تابستان سال ۱۳۸۹ پیک روز شبکه از پیک شب بیشتر شده است اعمال یک سری اصلاحات را بر روی این طرح ضروری نمود. لذا، طرح اینترنشیپی در این خصوص در شرکت برق منطقه‌ای خراسان انجام پذیرفت و نتایج آن در این مقاله به صورت الگوریتم جدیدی برای طرح دیماند منعطف جهت مشارکت صنایع با توجه به منحنی‌های بار ماهیانه، منحنی بار صنایع و شرایط آب و هوایی ارائه گردیده است.

International Power System Conference
31Oct. - 02 Nov. 2011 Tehran-Iran
26th PSC 2011
بیست‌وششمین کنفرانس بین‌المللی برق
11-F-EEM-1718

ارائه یک الگوریتم جهت مشارکت صنایع در طرح دیماند منعطف با استفاده از مصرف ساعتی

تکتم شریفیان عطار[۱]، حمیدرضا جعفریان[۲]، ابوالفضل قاسمی[۲]، محمد حسین جاویدی[۲]
مصطفی رجبی مشهدی[۱] و مصطفی فراشباشی[۱]
۱- شرکت برق منطقه‌ای خراسان t.sharifian@ieee.org
۲- گروه برق دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد
مشهد- ایران

واژه‌های کلیدی: دیماند منعطف، صنایع بزرگ، تعرفه برق، برق خراسان

۱. چکیده

در گذشته به منظور کاهش مصرف برق در زمان پیک و بهبود منحنی مصرف الکتریکی، طرحی به نام دیماند منعطف توسط برق منطقه‌ای خراسان جهت مشترکین صنعتی ارائه گردیده بود. عدم تطابق طرح اولیه‌ی دیماند شناور با منحنی بارهای مختلف و همچنین ایجاد تغییرات در منحنی بار شبکه خراسان که بنا به گزارش مرکز دیسپاچینگ شمال شرق کشور در مواردی در اوایل تابستان سال ۱۳۸۹ پیک روز شبکه از پیک شب بیشتر شده است اعمال یک سری اصلاحات را بر روی این طرح ضروری نمود. لذا، طرح اینترنشیپی در این خصوص در شرکت برق منطقه‌ای خراسان انجام پذیرفت و نتایج آن در این مقاله به صورت الگوریتم جدیدی برای طرح دیماند منعطف جهت مشارکت صنایع با توجه به منحنی‌های بار ماهیانه، منحنی بار صنایع و شرایط آب و هوایی ارائه گردیده است.

۲. مقدمه

در کشور ما تقریباً ۲۷٪ یعنی حدود یک سوم از کل انرژی در بخش صنعتی مصرف می‌شود [۱]. اما باید توجه داشت که مصرف انرژی در این بخش- که در حال حاضر کمتر از بخش خانگی و تجاری است- با توجه به در حال توسعه و سازندگی بودن کشور به سرعت افزایش می‌یابد و تعداد کارخانجات روز به روز بیشتر می‌شوند. بنابراین، اعمال مدیریت مصرف در این بخش از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

استفاده از راهکارهای مختلف جهت جابه‌جایی بار صنایع در ساعات اوج مصرف یکی از روش‌های مدیریت مصرف می‌باشد که علاوه بر کاهش پیک، منجر به کاهش تولید و یا کاهش مصرف مشترکین صنعتی نمی‌گردد.

۳. مدیریت مصرف

مدیریت مصرف مجموعه‌ای از روش‌ها و راهبردهاست که به منظور بهینه‌سازی مصرف انرژی به کار گرفته می‌شود.

مدیریت مصرف برق شامل مجموعه‌ای از فعالیت‌های به هم پیوسته بین صنعت برق و مشترکین آن به منظور تعدیل بار مصرفی مشترک است تا بتوان با کارایی بیشتر و هزینه کمتر به مطلوبیت یکسانی در زمینه مصرف دست یافت. بدین ترتیب هم عرضه کننده و هم مصرف کننده برق به سود بیشتری در این زمینه دست خواهند یافت [۲].

۳-۱. عوامل مؤثر بر مصرف

عوامل مختلفی بر نیاز مصرف مصرف‌کنندگان برق تأثیرگذار است. از جمله عوامل اقتصادی و حقوقی می‌توان قیمت و بهای برق، قوانین و مقررات ملی و بهره‌وری نیروی کار را نام برد. از عوامل فنی تأثیرگذار بر مصرف، رشد صنعت برق، مدیریت بار و حفظ انرژی، تکنولوژی تجهیزات تولید، انتقال، توزیع و تجهیزات مصرف، تولید همزمان برق و گرما، بازیافت انرژی و جایگزینی انرژی می‌باشند. عوامل اجتماعی- فرهنگی مؤثر رشد جمعیت، فرهنگ مصرف و تشویق‌ها و تنبیه‌ها هستند.

از آنجا که اقتصاد ما، یک اقتصاد دولتی می‌باشد، هزینه‌های یارانه‌ای دولت برای کالاهای مصرفی و انرژی، بسیار بالاست [۳] و این امر لطمات شدیدی را به اقتصاد ما وارد می‌سازد زیرا درآمدهای نفتی و صادراتی را که باید صرف امور زیربنایی و عمرانی گردد، به خود اختصاص می‌دهد و حذف آن نیز علاوه بر افزایش فاصله‌های طبقاتی، فشار شدیدی را بر اقشار محروم جامعه وارد می‌سازد؛ لذا باید با «مدیریت صحیح و مدبرانه مصرف»، در سطوح فردی، سازمانی و ملی از هزینه‌های مازاد و بی‌رویه کاست و آنها را صرف امور تولید و بستر سازی برای توسعه کشور در زمینه‌های مختلف نمود تا به تدریج فاصله میان تولید و مصرف به میزان معقولی برسد.

۳-۲. برنامه‌ریزی مدیریت مصرف

از دیدگاه جامعه، حفظ محیط زیست و رسیدن به توسعه اقتصادی مطلوب، راهبردهای قابل تصور برای برنامه‌ریزی هستند که از تولیدکنندگان برق انتظار می‌رود. تحقق این اهداف از دیدگاه تولیدکنندگان انرژی برق در قالب شش هدف راهبردی قابل تعریف است این اهداف عبارتند از: پیک‌سایی، دره‌زدایی، جا به جایی بار، انعطاف‌پذیر کردن منحنی بار، صرفه‌جویی راهبردی و رشد بار راهبردی. شرکت-های برق منطقه‌ای بر حسب شرایط فنی و اقتصادی خود، از یکی یا ترکیبی از این اهداف از گزینه‌های سمت تولید و گزینه‌های سمت مصرف بهره می‌گیرند [٤].

٤. تعریف طرح دیماند منعطف

به منظور کاهش مصرف برق در زمان پیک و بهبود منحنی مصرف الکتریکی، طرحی به نام طرح دیماند منعطف توسط برق منطقه‌ای خراسان ارائه شده است. این طرح که مشترکین صنعتی بزرگ را مورد توجه قرار داده، ضریبی به نام ضریب پیک‌سایی (a) پیشنهاد می‌کند. مشترکین صنعتی بزرگ در صورت پذیرش این ضریب که عددی بین ٤٠٪ تا ٨٠٪ است، در ٤ ساعت پیک مجاز به مصرف a درصد از دیماند خریداری شده خود هستند. در ازای این کاهش مصرف اما مشترک می‌تواند در ساعات کم‌باری یا میان‌باری مصرف خود را افزایش دهد. این افزایش، برای ساعات کم‌باری معادل (a-۲) درصد دیماند خریداری شده و در ساعات میان باری (a-۱/۵) درصد از دیماند مشترک است [۵].

محاسبات نشان می‌دهد که اعمال این طرح می‌تواند به مقدار قابل توجهی نیاز به سرمایه‌گذاری در طرح‌های توسعه تولید و انتقال را به تعویق بیندازد. در عمل عدم تطابق طرح اولیه دیماند شناور با منحنی بارهای مختلف و همچنین ایجاد تغییرات در منحنی بار شبکه خراسان که بنا به گزارش مرکز دیسپاچینگ شمال شرق کشور در مواردی در اوایل تابستان سال ۱۳۸۹ پیک روز شبکه از پیک شب بیشتر شده است اعمال یک سری اصلاحات بر روی این طرح ضروری به نظر می‌رسد [٦].

۵. بررسی اقدامات انجام شده در کشورهای دیگر جهان

۵-۱. بررسی کشش مصرف با تعرفه زمان استفاده[1] TOU

پژوهش‌های زیادی در زمینه کشش قیمت در صنعت برق

1. Time of Use

انجام شده است که در این بررسی‌ها قیمت به صورت (TOU) مدنظر بوده است. این مطالعات، مربوط به تاثیر تعرفه‌گذاری بر اساس TOU صورت گرفت که در آن قیمت روزانه به دو بخش پیک و غیر پیک تقسیم شده بود. این ساده‌ترین نوع تعرفه TOU است. گزارش مربوط به تاثیر این نوع قیمت‌دهی در مقالات مختلفی منتشر شد. نتایج این گزارشات با ذکر منبع در جدول ۱ آمده است. این جدول میزان کشش مصرف که از تغییرات قیمت ناشی می‌شود را بیان می‌کند.

جدول ۱: مطالعات انجام شده در زمینه میزان کشش مصرف

مورد مطالعه	پیک		غیر پیک	
	max	min	max	min
الف	-0.25	-0.00		
ب		-0.07		
ج	-0.04	-0.03	-0.05	-0.03
د	-0.09	-0.04	-0.06	-0.02

الف: نتایج بررسی روی مشترکان صنعتی مربوط به ۱۰ کارخانه تولیدی در سوییس [۷].

ب: بررسی بخش تجاری میشیگان [۸].

ج: بررسی ٦٤ مشترک کوچک صنعتی در جنوب کالیفرنیا [۹].

د: دو مرکز صنعتی بزرگ در جنوب کالیفرنیا [۱۰].

۵-۲. تعرفه بر اساس روز پیک

شرکت EDF فرانسه از روش تعرفه دهی روز پیک (PDW) استفاده کرده است. در این روش، بازه پیک را یک بازه طولانی در طول روز در نظر می گیرند (در بازار) اما فقط برای تعداد کمی از روزها در طول سال امکان اعلام روز پیک وجود دارد. این شرایط برای بازار EDF حدود ۱۸ ساعت در طول شبانه روز و فقط ۲۲ روز در سال بوده است. در این روزها تغییر قیمت انرژی بین ساعات پیک و غیر پیک بسیار زیاد در حدود ۱۰ برابر است. تحت این تعرفه، شرکت EDF حداکثر تا ۲ ساعت قبل بایستی به تمامی مشترکان اطلاع رسانی کند که آن روز، روز پیک می باشد. EDF، با عقد قرارداد معادل با ۱۳۰۰ مگاوات دیماند بخش صنعتی، در طول پیک زمستانی خود تا ۷٦۰ مگاوات کاهش پیک را گزارش داده است. بسیاری از مشترکان صنعتی که دارای سیستم گرمایشی دوگانه بودند و پروسه تولیدشان وقفه پذیر بود و یا سیستم ذخیره سازی داشتند در این طرح شرکت کردند. قیمت انرژی در این روش بر خلاف روش TOU سنتی، که به دو بازه پیک و غیر پیک تقسیم می شد، چهار بار در طول شبانه روز تغییر می کند. در این حالت می بایستی قیمت انرژی مربوط به هر پریود تا ساعاتی قبل از شروع دوره اعلام شود. زمان هر پریود نیز منعطف است و به صورت لحظه‌ای اعلام می‌شود [۱۱].

۵-۳. استفاده همزمان از تعرفه TOU سنتی (پیک و غیرپیک) و تعرفه روز پیک

در مطالعات صورت گرفته در بازار Wisconsin نشان داده شد که مصرف کنندگان در پاسخ به قیمت دهی بر اساس ساعات پیک و غیر پیک چگونه میزان بارشان را تغییر می‌دهند [۱۲]. مشتریان دریافتند که بایستی به وسیله تغییر دادن بار مصرفی شان، نسبت به تغییرات قیمت کاملاً پاسخگو باشند. این برنامه با مشترکان مختلفی سر و کار داشت که نسبت قیمت زمان پیک به غیر پیک برای آنها بین ۲ تا ۸ برابر بود. در حالی که بازه زمانی دوره پیک از ٦ تا ۱۲ ساعت متغیر بود. مشتریانی که با نسبت تعرفه پیک به غیر پیک ۲ برابر مواجه بودند میزان مصرفشان را در طول دوره پیک تابستانی از ۱۱ تا ۱۳ درصد کاهش دادند. در طرف دیگر مشترکانی که با نسبت تعرفه ۸ برابر روبرو بودند مصرفشان را ۱۵ تا ۲۰ درصد در دوره پیک تابستان کاهش دادند. به علاوه این مطالعه نشان داد که با تعرفه گذاری روز پیک که در روزهای بحرانی صورت می‌گیرد، از روز بحرانی به روزهای غیر پیک در طول دوره گرما، جابجایی بار بسیار بیشتری نسبت به حالات قبلی وجود خواهد داشت که این تعرفه گذاری همراه با کاهش مصرف ۳۱ درصدی پیک بود.

با مروری بر اقدامات انجام شده در سایر کشورها برای مدیریت مصرف و خصوصاً در راستای جابجایی بار مشاهده می‌شود که عملاً اقدامات صورت گرفته در این حوزه محدود به تعریف تعرفه‌های تشویقی برای ترغیب مشترکین صنعتی و غیر صنعتی به جابجایی بارهای خود از زمان پیک به غیر پیک

است [۱۳]. طرح‌هایی نظیر طرح دیماند منعطف که توسط شرکت برق منطقه‌ای خراسان ارائه شده است کمتر در کشورهای صنعتی دیده می‌شود. شاید دلیل عمده این مطلب بالا بودن قیمت برق در این کشورها می‌باشد، که باعث می‌شود طرح‌هایی مانند طرح تعرفه‌های چند قسمتی کارایی به مراتب بالاتری نسبت به کشور ما داشته باشند.

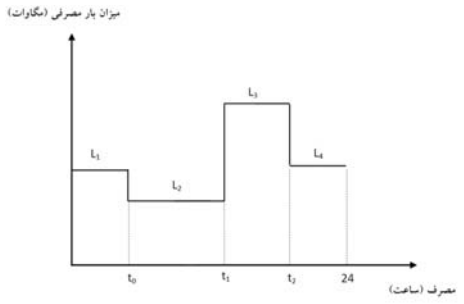
٦. روش پیشنهادی

به منظور ارائه طرح جامعی برای مدیریت بار صنایع بزرگ استان خراسان در ابتدا لازم است تا منحنی بار شبکه و صنایع بزرگ استان تحلیل شود. به همین منظور اطلاعات بار مصرفی مشترکین بزرگ صنعتی استان و همچنین اطلاعات بار کل شبکه از ابتدای سال ۱۳۸۸ تا انتهای شهریور ماه سال ۱۳۸۹ مورد بررسی قرار گرفت. با در دسترس بودن اطلاعات مربوط به میزان بار مصرفی مشترکان در ساعات مختلف شبانه‌روز، منحنی بار مصرفی مربوط به صنایع و همچنین کل شبکه را برای هر روز می‌توان به دست آورد.

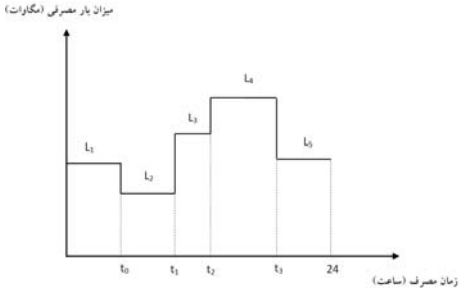
٦-۱. بررسی شکل منحنی بار مصرفی شبکه برق خراسان

برای انجام تحلیل‌های مورد نظر، نیاز است که منحنی بار به صورت پله‌ای در نظر گرفته شود. از طرفی نیز بایستی این تقریب پله‌ای طوری باشد که تغییرات مهم میزان مصرف در طی شبانه روز، به خوبی نشان داده شود. با در نظر گرفتن این تقریب پله‌ای، در زمان‌های متوالی که تغییرات بار ناچیز بوده، این‌طور فرض می‌شود که در طی آن مدت زمان، یک مقدار بار مشخص مصرف می‌شود. با این تقریب ممکن است چندین بازه در هر شبانه‌روز به دست بیاید.

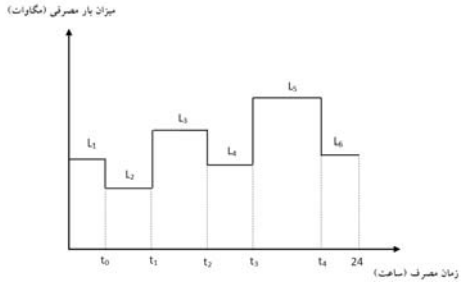
اندازه میزان مصرف که برای یک بازه مشخص بصورت ثابت در نظر گرفته می‌شود، می‌تواند از روی فراوانی نسبی مصرف در آن بازه زمانی بدست آورد. با تحلیل‌های صورت گرفته بر روی میزان مصرف مشترکان شبکه برق خراسان و زمان مصرف آنها، منحنی بار مصرفی از لحاظ شکل ظاهری به ۵ دسته تقسیم شده است. این منحنی‌ها در شکل‌های ۱ تا ۵ نشان داده شده است.



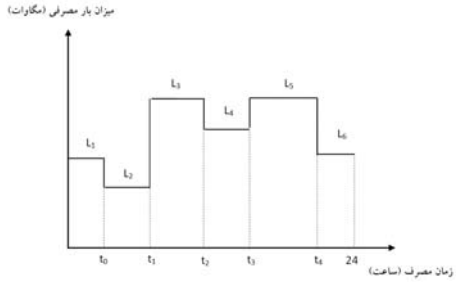
شکل ۱: منحنی مصرف بار نوع ۱



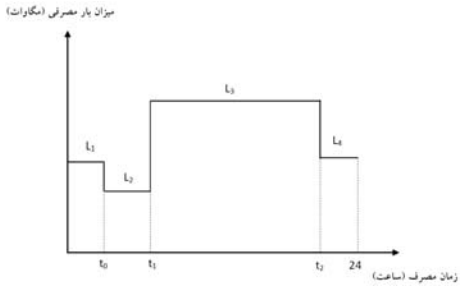
شکل ۲: منحنی مصرف بار نوع ۲



شکل ۳: منحنی مصرف بار نوع ۳



شکل ٤: منحنی مصرف بار نوع ٤



شکل ٥: منحنی مصرف بار نوع ٥

همانطور که گفته شد مقادیر L (میزان بار) با تقریب خوبی برابر با میزان فراوانی نسبی مصرف در یک بازه زمانی در نظر گرفته می‌شود. حال با توجه به منحنی بار شبکه و منحنی بار مصرفی صنایع که برای اجرای طرح دیماند منعطف مورد نظر می‌باشند، می‌توان سیاست بهینه مصرف صنایع بزرگ را تعیین نمود به طوری که منحنی بار مصرفی شبکه به سمت منحنی مورد نظر سوق داده شود. واضح است که بهترین منحنی بار برای هر شبکه برقی منحنی یک خط ثابت است. چراکه نه تنها در این شرایط بار در تمام ساعات روز قابل پیش بینی بوده بلکه حداقل میزان ظرفیت نصب شده برای تأمین این بار مورد نیاز است. این چنین منحنی باری به عنوان هدف نهایی این پروژه در نظر گرفته شده است. تمامی کارشناسان صنعت برق بر این باورند که رسیدن به چنین منحنی باری در حال حاضر عملی نیست، اما این منحنی بعنوان معیاری برای سنجش کارایی طرح ارائه شده استفاده می شود. به این معنا که، هرچقدر منحنی بار شبکه به این منحنی بار نزدیک شود، نشان دهنده بهبود منحنی بار و در نتیجه کارایی مناسب طرح ارائه شده می باشد.

منحنی تقریبی ۱ که بیشتر در فصول گرم حاصل می‌شود در ابتدای بامداد با مصرف میان‌باری شروع می‌شود. سپس بعد از طی کردن یک دره کم باری در بازه زمانی t0 تا t1 میزان مصرف به حداکثر مقدار خود می‌رسد که بازه زمانی t1 تا t2 بازه زمانی پیک بار می‌باشد. در انتهای دوره نیز در زمان t3 میزان مصرف کاهش یافته و وارد بازه میان‌باری می‌شود. البته این شکل یک منحنی کلی است و ممکن است در روزهای مختلف میزان ti های مشخص شده روی منحنی متفاوت باشند. همچنین ممکن است برخی از tها روی مقادیر حدی خود قرار بگیرند (این مورد مربوط به t های ابتدایی و انتهایی مشخص شده روی منحنی می‌باشد مثلا در شکل الف t0 و t2 می‌توانند روی مقدار حدی خود قرار بگیرند بعنوان نمونه در شکل الف ممکن است مقدار t0 برابر با صفر باشد و یا t2 برابر با ۲٤ باشد).

شکل ۲ یک نمونه دیگر از منحنی مصرف را نشان می‌دهد که از حالت قبلی کمی متمایز است. در منحنی شکل ۱ پس از طی کردن یک دره کم‌باری بلافاصله به بازه مصرفی پیک شب می‌رسیم ولی در منحنی شکل ۲ دو بازه مصرفی پیک وجود دارد که یکی مربوط به پیک روز و دیگری مربوط به پیک شب می‌باشد که میزان بار مصرفی پیک شب بیشتر از پیک روز می‌باشد. البته در این الگو بین دو پیک روز و شب دره‌ای وجود ندارد و بلافاصله پس از طی شدن پیک روز وارد پیک بزرگتر شب می‌شویم. این منحنی بیشتر در فصول گرم حاصل می‌شود.

منحنی بار شکل ۳ نیز دارای دو پیک روز و شب می‌باشد که میزان بار مصرفی در بازه پیک شب بیشتر از پیک روز می‌باشد. البته با این تفاوت که بین بازه پیک روز و پیک شب یک بازه میان‌باری وجود دارد.

منحنی بار شکل ٤ شبیه به منحنی بار شکل ۳ می‌باشد. تنها مشخصه‌ای که این منحنی بار را متمایز می‌کند، مقدار بار مصرفی در بازه زمانی پیک روز است که تفاوت چندانی با میزان مصرف در پیک شب ندارد. با طی شدن پیک روز پس از عبور از یک بازه میان‌باری ، پیک شب شروع خواهد شد. پس از پیک شب نیز میزان مصرف به میان‌باری کاهش می‌یابد.

شکل ۵ نیز نوع دیگری از منحنی بار پله‌ای است که معمولا در فصل تابستان که مصرف روز بسیار بالا است، با آن سرو کار داریم. در این منحنی مصرف، پس از طی یک دوره میان‌باری در ابتدای شبانه‌روز، یک دره کم‌باری وجود خواهد داشت که با خاتمه یافتن این دوره زمانی، منحنی مصرف مستقیماً وارد بازه مصرفی پیک بار می‌شود. این منحنی بار مصرفی همانند شکل ۱ دارای یک بازه زمانی پیک بار در شب می‌باشد

٦-۲. الگوریتم پیشنهادی

در طرح دیماند منعطف مورد نظر بایستی یک سری ضرایب به مشترکان صنعتی اعلام شود تا این مشترکان این ضرایب را در میزان مصرفشان اعمال کنند. هدف این است که

با توجه به شکل منحنی مصرف شبکه، ضرایبی که در هر بازه به بار مصرفی مجاز صنایع اعمال می‌شود طوری تعیین شود که منحنی بار مصرفی کل شبکه به حالت ایده آل نزدیک شود. البته میزان نزدیک شدن به حالت ایده آل بستگی به این دارد که چه میزان از بار صنایع قابل جابجایی می باشد. مثلا بار مربوط به بخش روشنایی را نمی‌توان به ساعات غیر پیک جابجا کرد.

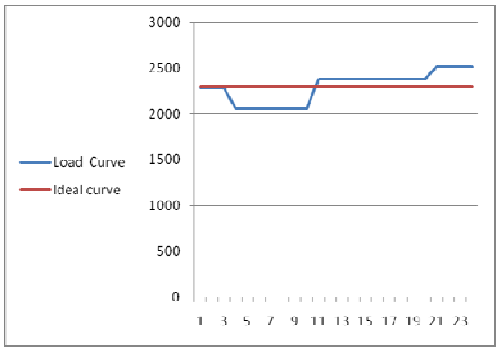
همانطور که اشاره شد، به منظور ارائه بهترین ضرایب برای بهبود منحنی بار صنایع بزرگ استان خراسان در ابتدا منحنی بار شبکه تحلیل شده و ۵ نوع منحنی بار مختلف بدست آمد. سپس منحنی بار تک تک روزهای شبکه تحلیل شده و مدل منحنی بار هر روز از سال تعیین شده است. گام بعدی تعیین یک منحنی بار واحد برای انواع مدل ها در هر ماه از سال می‌باشد. بدین منظور، طول بازه‌های زمانی مختلف (میان باری پیک کم باری و فواصل بین آن‌ها) برای روزهای سال تعیین شده است سپس میانگین بار روزهایی که منحنی بار آن‌ها یکسان است به عنوان منحنی بار آن مدل، در ماه مورد نظر تعیین می‌شود. پس از تعیین انواع منحنی بارها برای ماه‌های مختلف سال میانگین بار مصرفی در این منحنی‌ها به عنوان منحنی بار ایده‌آل شبکه تعیین می‌شود که هدف از اعمال طرح دیماند منعطف رسیدن به این منحنی بار می‌باشد.

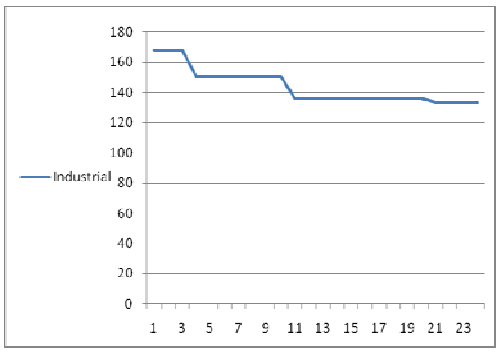
حال پس از تحلیل منحنی بار شبکه، نوبت به تحلیل منحنی بار صنایع می باشد. برای هر ماه از سال میانگین منحنی بار صنایع در روزهایی که مدل بار آنها یکسان است تعیین می شود. واضح است که کل این منحنی بار قابل تغییر نمی باشد. لذا باید مقدار بار غیر قابل انعطاف صنایع از این منحنی بار کاسته شود. پس از کاستن این میزان بار منحنی بار صنایع نیز آماده تحلیل می باشد. حال با مقایسه منحنی بار شبکه و منحنی ایده آل و با توجه به منحنی بار صنایع در ضرایب مختلف برای اصلاح منحنی بار شبکه تعیین می شوند. در بخش زیر نتایج حاصل از اعمال این روش در ماه های آبان و بهمن ۱۳۸۸ و تیر ۱۳۸۹ آمده است.

۷. نتایج طرح پیشنهادی

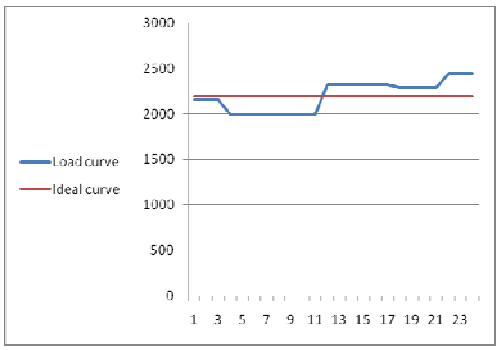
۷-۱. طرح پیشنهادی با ۵ نوع منحنی بار

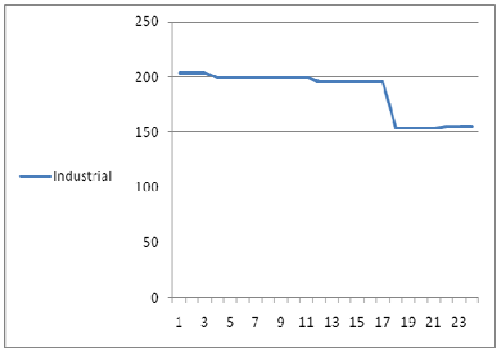
در شکل های ٦ تا ۱۳ منحنی بار شبکه، منحنی بار ایده‌آل شبکه و همچنین منحنی بار صنایع بزرگ استان مشاهده می‌شود.



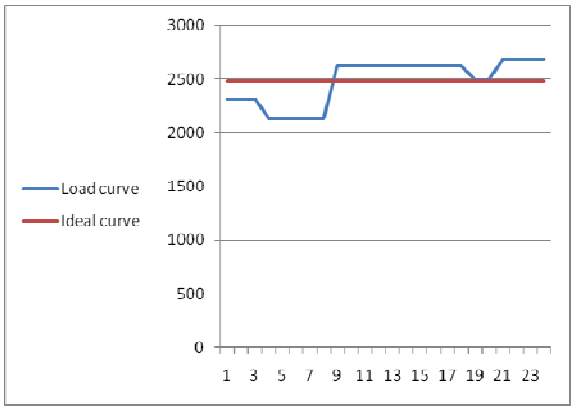


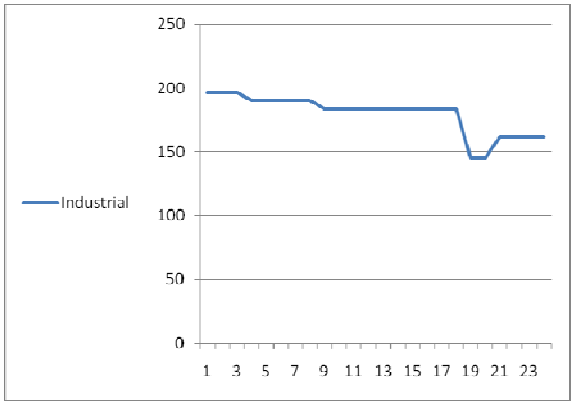
شکل ٦: منحنی بار نوع ۲ در تیر ماه ۱۳۸۹



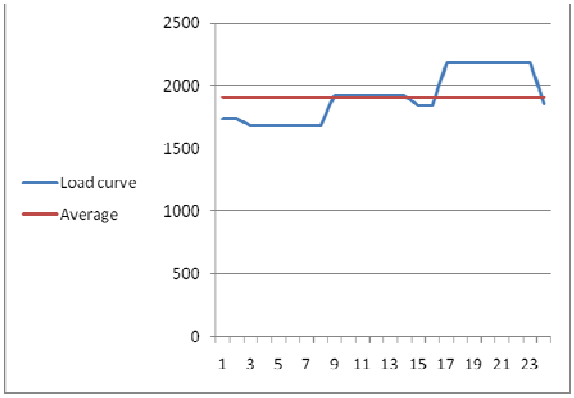


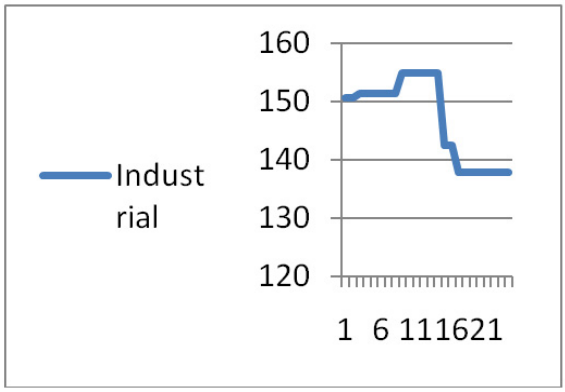
شکل ۷: منحنی بار نوع ۳ در تیر ماه ۱۳۸۹



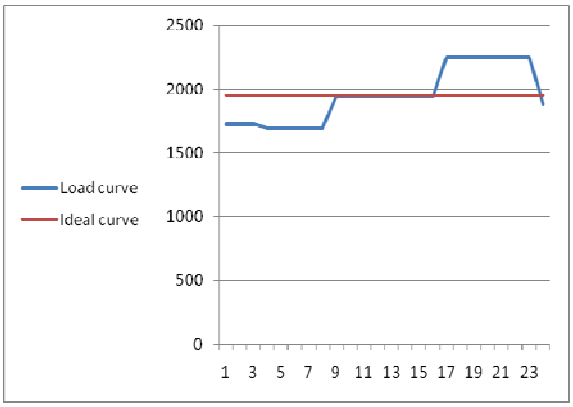


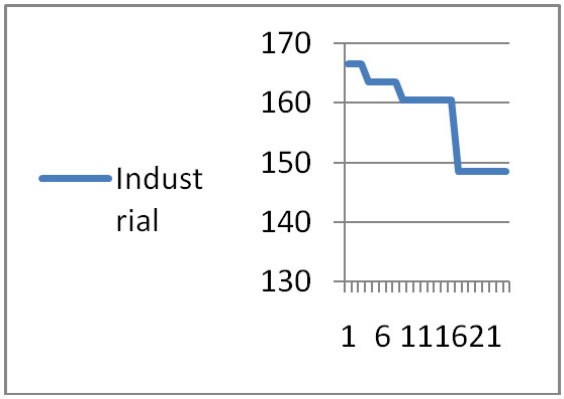
شکل ۸: منحنی بار نوع ٤ در تیر ماه ۱۳۸۹



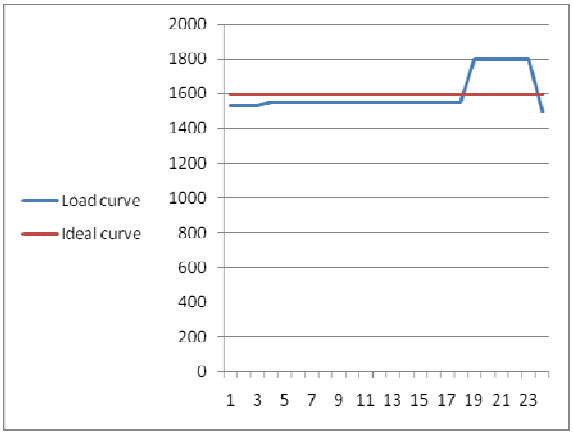


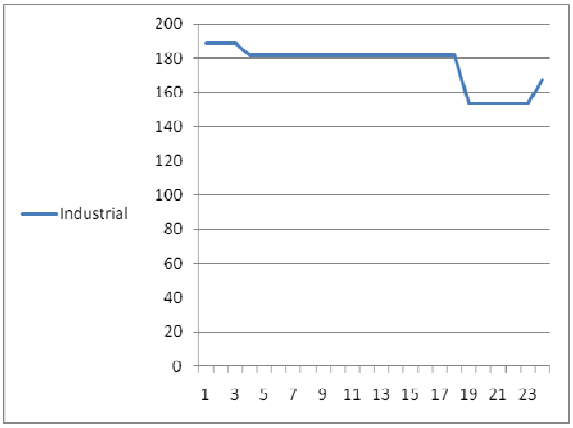
شکل ۹: منحنی بار نوع ۲ در آبان ماه ۱۳۸۸



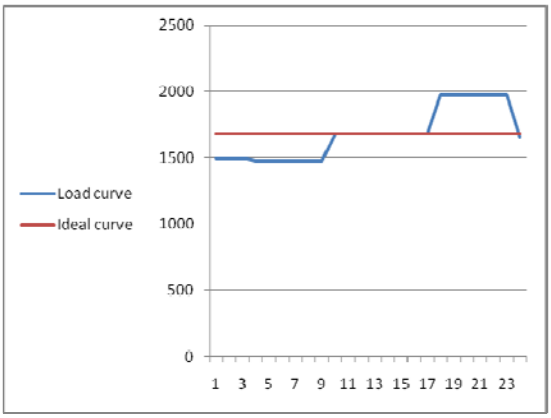


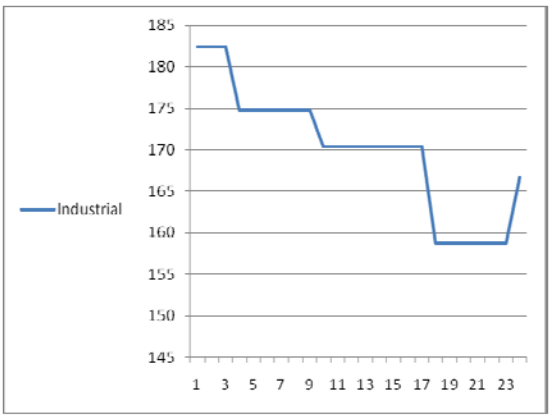
شکل ۱۰: منحنی بار نوع ۳ در آبان ماه ۱۳۸۸



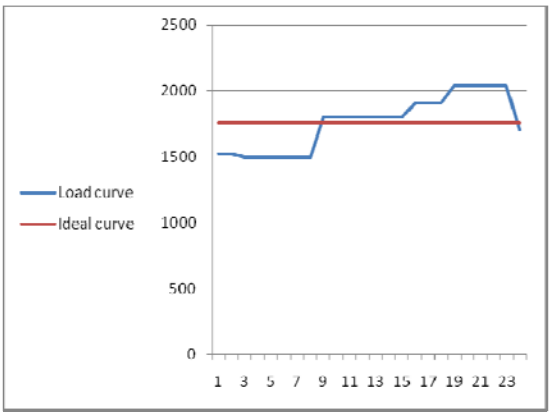


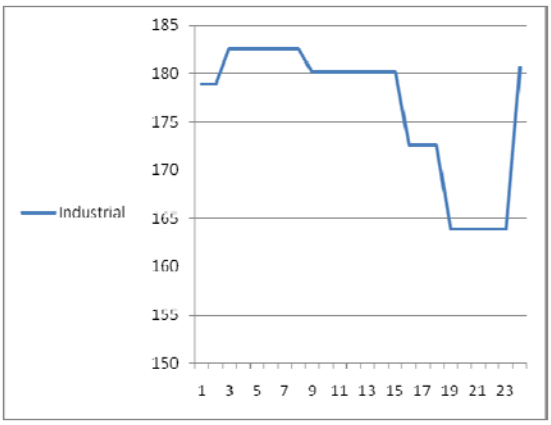
شکل ۱۱: منحنی بار نوع ۱ در بهمن ماه ۱۳۸۸





شکل ۱۲: منحنی بار نوع ۲ در بهمن ماه ۱۳۸۸





شکل ۱۳: منحنی بار نوع ۳ در بهمن ماه ۱۳۸۸

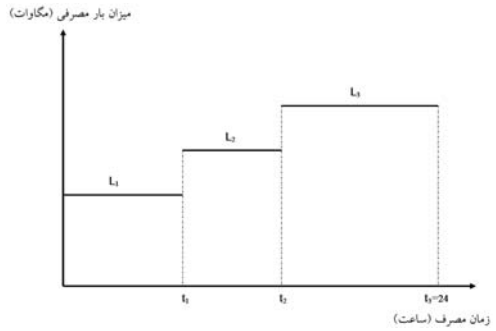
با بررسی این منحنی‌ها ضرایب پیشنهادی به منظور اصلاح منحنی بار شبکه برای مدل‌های مختلف در جدول ۲ آمده است. در این جدول ضریب a مربوط به ساعات اولیه روز، ضریب b مربوط به ساعات کم‌باری بار پس از ساعات اولیه روز، ضریب c مربوط به ساعات میان‌باری در طول روز، ضریب d مربوط به ساعات مابین میان‌باری و پیک بار، ضریب e مربوط به ساعات پیک بار و نهایتاً ضریب f مربوط به ساعات انتهایی روز می‌باشد. ضرایب منفی به معنی کاهش مصرف و ضرایب مثبت مربوط به حداکثر افزایش بار می‌باشد.

جدول ۲: ضرایب پیشنهادی برای ماه‌های تیر، آبان و بهمن

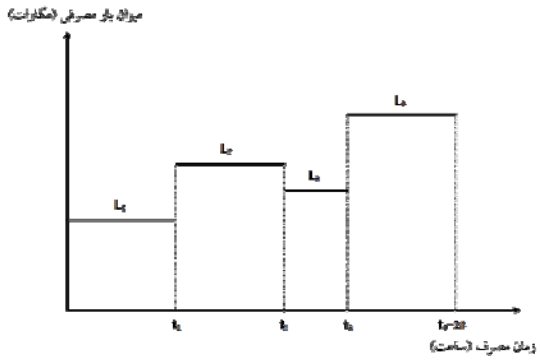
ضرایب		a	b	c	d	e	f
آبان ۱۳۸۸	نوع ۲	+۵۰	+٦۸	۰	+۲۵	−۸۰	+۲۰
	نوع ۳	+٦۵	+٦۵	۰	۰	−۸۰	+۲۰
بهمن ۱۳۸۸	نوع ۱	+۱۸	+۱۵	+۱۵	+۱۵	−۸۰	+۱۰
	نوع ۲	+۵۰	+۵۰	۰	۰	−۸۰	۰
	نوع ۳	+۷۵	+۷۵	−۳۰	−۸۰	−۸۰	+۲۰
تیر ۱۳۸۹	نوع ۲	۰	+۷۰	−٤۰	−٤۰	−۸۰	−۸۰
	نوع ۳	۰	+٦۰	+٦۰	−۷۵	−۸۰	−۸۰
	نوع ٤	+۵۰	+۱۰۰	−۸۰	۰	−۸۰	−۸۰

۷-۲. ساده‌سازی طرح پیشنهادی

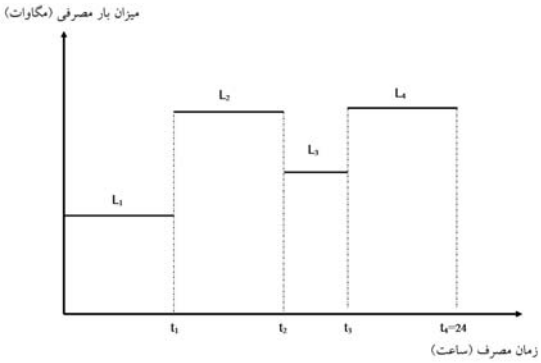
به منظور استفاده مناسب از این روش، لازم می‌باشد تا حد امکان ضرایب پیشنهادی را ساده کرد تا قابلیت اعمال به صنایع را داشته باشند. به همین منظور شکل موج‌هایی که از فراوانی نسبی کمتری در طول سال برخوردارند (منحنی بارهای نوع ۱ و ۵) حذف کرده و منحنی بارهای باقیمانده نیز در حد امکان ساده گردیده‌اند که در شکل‌های ١٤ تا ١٦ آورده شده‌اند.



شکل ١٤: منحنی بار ساده شده نوع ۲



شکل ۱۵: منحنی بار ساده شده نوع ۳

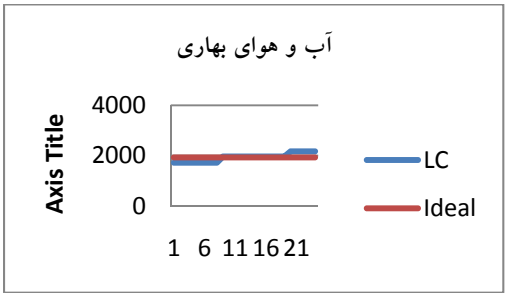


شکل ۱٦: منحنی بار ساده شده نوع ٤

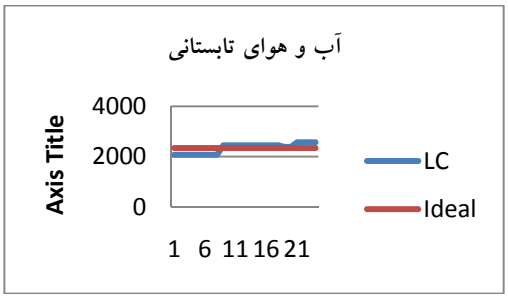
همچنین با توجه به فراوانی نسبی مدل‌های مختلف منحنی بار شبکه در طول سال و تغییرات ساعات پیک بار در طول روز که تحت تأثیر شرایط آب و هوایی نیز می باشد، سال را به چهار بخش تقسیم کرده‌ایم:

- شرایط آب و هوایی بهاری که شامل ماه‌های اسفند، فروردین و اردیبهشت می‌باشد
- شرایط آب و هوایی تابستانی که شامل ماه‌های خرداد، تیر و مرداد می‌باشد
- شرایط آب و هوایی پاییزی که شامل ماه‌های شهریور، مهر، آبان و آذر می‌باشد
- شرایط آب و هوایی زمستانی که شامل ماه‌های دی و بهمن می‌باشد

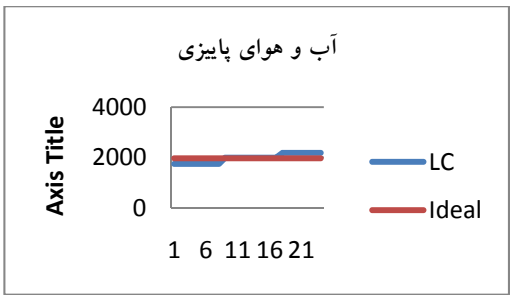
با بررسی منحنی بار هر یک از این چهار بخش مشاهده می شود که در شرایط آب و هوایی بهاری اکثر روزهای سال دارای منحنی بار نوع دو می باشد. در شرایط آب و هوایی تابستانی اکثر روزها منحنی بار از نوع چهار بوده و ماههای پاییزی و زمستانی نیز به ترتیب دارای منحنی بار نوع دو و سه می باشند. با آنالیز این چهار شکل بار برای هر یک از این چهار شکل به یک منحنی بار رسیدیم که در شکل‌های ۱۷ تا ۲۰ مشاهده می‌شوند.



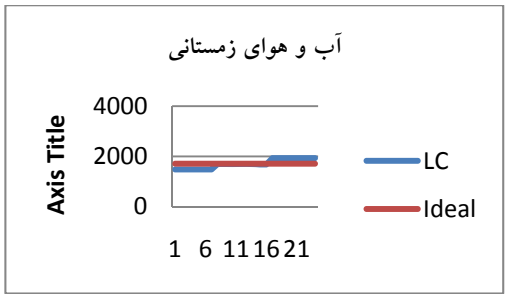
شکل ۱۷: منحنی بار در شرایط آب و هوایی بهاری



شکل ۱۸: منحنی بار در شرایط آب و هوایی تابستانی



شکل ۱۹: منحنی بار در شرایط آب و هوایی پاییزی

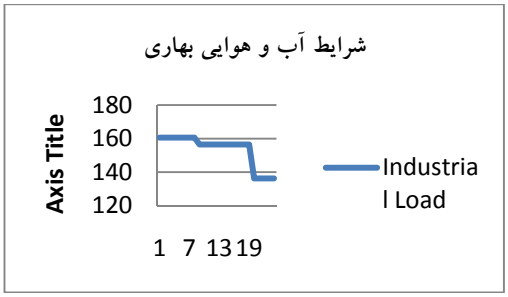


شکل ۲۰: منحنی بار در شرایط آب و هوایی زمستانی

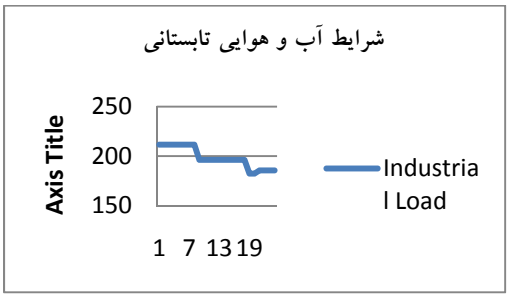
همان‌طور که در این شکل‌ها نیز مشاهده می شود در شرایط آب و هوایی بهاری تا ساعت ۸ صبح شبکه در شرایط کم‌باری می‌باشد سپس از ساعت ۹ تا ۱۹ شرایط میان‌باری حکم فرما بوده و ساعات پیک شبکه نیز در این شرایط آب و هوایی بین ساعات ۲۰ تا ۲٤ شب می‌باشد. در شرایط آب و هوایی تابستانی نیز تا ساعت ۸ بار شبکه کم می‌باشد. سپس تا ساعت ۱۸ بار زیاد می‌شود، در ساعات ۱۹ و ۲۰ دوباره بار کم می‌شود و ساعت پیک بار نیز بین ساعات ۲۱ تا ۲٤ می‌باشد.

شرایط بار در روزهای پاییزی نیز شبیه روزهای بهاری می‌باشد با این تفاوت که پیک بار در این روزها از ساعت ۱۸ شروع می شود. در روزهای زمستانی نیز شرایط تا حدودی شبیه روزهای تابستانی است با این تفاوت که ساعات میان‌باری در زمستان از ساعت ۸ تا ۱٤ بوده، سپس در ساعات ۱۵ و ۱٦ از بار شبکه کاسته شده و نهایتاً پیک بار در زمستان از ساعت ۱۷ آغاز می‌گردد. باید توجه داشت که تفاوت عمده بین روزهای زمستانی و تابستانی در این است که میزان بار در ساعت‌های میانی روز در تابستان نزدیک پیک بار می باشد در حالی که در زمستان تفاوت عمده‌ای بین پیک روز و شب وجود دارد. منحنی بار مشترکین صنعتی در روزهای مختلف سال به صورت شکل‌های ۲۱ تا ۲٤ می‌باشند.

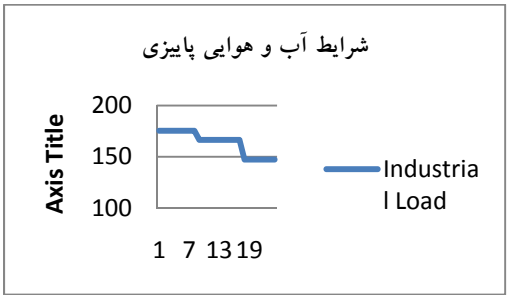
با تحلیل این نمودارها ضرایب پیشنهادی طرح دیماند منعطف برای مشترکین صنعتی بزرگ استان خراسان به صورت جدول ۳ می‌باشد. برای محاسبه این ضرایب دیماند مشترکین صنعتی ٤۰۰ مگاوات درنظر گرفته شده است که ۵۰ مگاوات از آن غیر قابل جابجایی است.



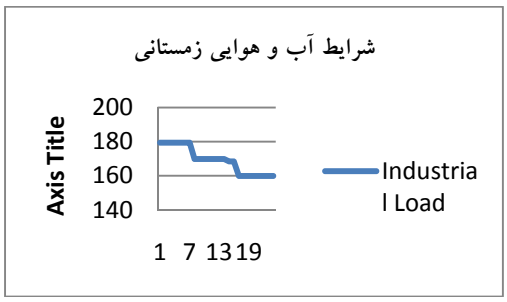
شکل ۲۱: منحنی بار صنایع در شرایط آب و هوایی بهاری



شکل ۲۲: منحنی بار صنایع در شرایط آب و هوایی تابستانی



شکل ۲۳: منحنی بار صنایع در شرایط آب و هوایی پاییزی



شکل ۲٤: منحنی بار صنایع در شرایط آب و هوایی زمستانی

جدول ۳: ضرایب پیشنهادی پس از ساده‌سازی

شرایط آب و هوایی پاییزی		شرایط آب و هوایی بهاری	
+۱۰۰	۰ تا ۸	+۱۰۰	۰ تا ۸
۰	۹ تا ۱۷	−۱۰	۹ تا ۱۹
−۸۰	۱۸ تا ۲٤	−۸۰	۲۰ تا ۲٤
شرایط آب و هوایی زمستانی		شرایط آب و هوایی تابستانی	
+۱۰۰	۰ تا ۷	+۱۰۰	۰ تا ۸
+۱۰	۸ تا ۱٤	−۳۵	۹ تا ۱۸
+۲۰	۱۵ تا ۱٦	−۱۰	۱۹ تا ۲۰
−۸۰	۱۷ تا ۲٤	−۸۰	۲۱ تا ۲٤

ضرایب نهایی به دست آمده‌ی پس از ساده‌سازی طرح اولیه علاوه بر سازگار بودن با منحنی‌های بار مصرفی و تقاضای مصرف مشترکین صنعتی با شرایط آب و هوایی نیز سازگار بوده و دارای قابلیت محاسبه مجدد بر اساس این سه عامل است. از جمله مزایای این الگوریتم عدم نیاز به بازنگری اساسی و تغییر کلی طرح می‌باشد. با استفاده از برنامه‌های نوشته شده و ورود منحنی‌های بار کل و بار صنایع، ضرایب با توجه به شرایط آب و هوایی متفاوت محاسبه خواهد گردید.

۸. مراجع

[1]. http://amar.tavanir.org.ir/

[2]. Hamidi, V.; "New control methods in demand side management to improve the security of supply in the UK's electricity network"; Universities Power Engineering Conference, 2007. UPEC 2007

[3]. http://edsm.tavanir.org.ir/

[٤]. مهدی ظریف، مهدی صمدی، امیر بشیان، محمد حسین جاویدی، مصطفی رجبی مشهدی و مصطفی فراشباشی، «بررسی اقتصادی طرح پیشنهادی برق خراسان در خصوص دیماند منعطف از دیدگاه مشترکین پرمصرف»، بیست و پنجمین کنفرانس بین المللی برق تهران ۱۳۸۹

[٥]. طرح دیماند منعطف شرکت برق منطقه‌ای خراسان

[٦]. سایت اینترانت شرکت برق منطقه‌ای خراسان، گزارشات بهره‌برداری

[7]. Park, R. E. and Action, J. P.; "Large Business Customer Response to Time-of-Day Electricity Rates," Journal of Econometrics, 1984 (26), pp. 229-252

[8]. Schwarz, P.; "The Estimated Effects on Industry of Time-of-Day Demand and Energy Electricity Prices," Journal of Industrial Economics, 1984 (32), pp. 529-539

[9]. Woo, C. K.; "Demand for Electricity of Small Nonresidential Customers under Time–of-Use (TOU) Pricing," Energy Journal, 1985 (6), pp. 115-127

[10]. Tishler, Asher; "Complementarity-Substitution Relationships in the Demand for Time Differentiated Inputs under Time of Use Pricing," Energy Journal, 1991 (12), pp. 137-148

[11]. B.Lescoeur, J.B Galland; "Tariffs and Load Management: The French Experience", IEEE-PES, 86SM 312-3, Summer hfeeting, Mexico City, July 20, 1986

[12]. D.W.Caves and L.Christensen, "Time-of-use Rates for Residential Electric Service: Results from the Wisconsin Experiment," Public Utilities Fortnightly, Vol١١١ . March 17, (1983), pp. 30-35

[13]. Arno Middelberg, Jiangfeng Zhang, Xiaohua Xia; "An optimal control model for load shifting – With application in the energy management of a colliery" Applied Energy (2009) pp:1266–1273