سیزدهمین کنفرانس شبکه های توزیع نیروی برق
۱۱ و ۱۲ اردیبهشت ۱۳۸۷ - گیلان

تغییرشکل و اصلاح منحنی پیش‌بینی بار کوتاه مدت براساس اعمال نظر کاربر مورد استفاده در بازار برق

سعیده برقی‌نیا [۱]
sbarghinia@nri.ac.ir

کامل صباحی اودلو [۱]
k_sabahi2005@yahoo.com

ناصر وفادار [۲]
n.vafadar@gmail.com

۱- پژوهشکده برق - پژوهشگاه نیرو
۲- شرکت مدیریت شبکه برق ایران

تهران - ایران

کلمات کلیدی: سیستم قدرت، بازار برق، پیش‌بینی بار کوتاه مدت، اصلاح و تغییر شکل منحنی بار، برازش منحنی، توزیع گوسی

چکیده

مدیریت تولید و توزیع انرژی الکتریکی باید براساس تطبیق عرضه بر تقاضای انرژی برق، اقدام به برنامه‌ریزی، بهره‌برداری و سرمایه‌گذاری بهینه نماید. لذا در برنامه‌ریزی آینده یک سیستم قدرت، پیش‌بینی بار از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و باید میزان خطای آن تا حد امکان کاهش یابد. دقت نتایج این پیش‌بینی بر هزینه تولید و همچنین میزان خاموشی در سیستم قدرت تأثیرگذار می‌باشد.

با راه‌اندازی بازار برق در شبکه ایران، شرکت‌های برق منطقه‌ای و در ادامه با توسعه بازار برق، شرکت‌های توزیع که به منزله خریدار محسوب می‌شوند می‌بایست نیاز مصرف ساعت به ساعت کل شبکه تحت پوشش خود را در روزهای آتی پیش‌بینی و ارائه نمایند. ضمن آنکه شرکت‌های مدیریت تولید و یا بهره‌برداری نیروگاه‌ها نیز ممکن است برای پیش‌بینی و پیشنهاد قیمت به پیش‌بینی بار نیاز داشته باشند. بدین‌ترتیب دقت پیش‌بینی ضمن بهبود بهره‌برداری از شبکه تحت پوشش از تخصیص جرایم مربوطه نیز جلوگیری می‌نماید.

در مواردی امکان دارد در نقطه‌ای از منحنی بار مصرفی پیش‌بینی شده بنا به دلایلی که از قبل معلوم شده، مقدار بار تغییر کند. به‌ویژه در شبکه‌های توزیع احتمال رخداد چنین مواردی بیشتر می‌باشد. برای اعمال تغییرات لازم که باید توسط کاربر انجام گیرد، در این مقاله، روشی جهت تغییر شکل منحنی بار پیش‌بینی شده با اعمال نظر کاربر ارائه شده است.

روش مورد استفاده برای اصلاح و تغییر شکل منحنی پیش‌بینی بار کوتاه مدت، روش برازش منحنی می‌باشد. در این روش پس از انجام پیش‌بینی بار توسط روش‌های هوشمند، با توجه به نظر کاربر (اپراتور)، منحنی بار اصلاح می‌گردد. بدین‌صورت که ابتدا نقاط پیکی که کاربر احتمال می‌دهد با توجه به بروز اتفاقات غیرعادی روزانه، مثلا پخش مسابقه فوتبال، افزایش یا کاهش بار داشته باشیم، مشخص می‌گردد و با توجه به مقادیر جدید تعیین شده برای این ساعات (با نظر کاربر) برازش منحنی صورت می‌گیرد. نتایج

حاصل از اعمال الگوریتم معرفی شده برای اصلاح منحنی بار پیش‌بینی شده شبکه سراسری ایران و شبکه برق تهران حاکی از کارائی خوب روش پیشنهادی می‌باشد.

۱- مقدمه

پیش‌بینی بار کوتاه‌مدت در بهره‌برداری سیستم‌های قدرت، نقش اساسی ایفا می‌نماید. به‌طوری‌که بالا بردن دقت پیش‌بینی از نظر کیفیت خدمات و نیز صرفه‌جوئی اقتصادی بسیار حائز اهمیت می‌باشد. نتایج پیش‌بینی بار در مواردی نظیر برنامه‌ریزی ورود و خروج واحدها[1]، ملاحظه محدودیتهای تولید واحدها و محدودیتهای شبکه[2]، پخش بار بهینه[3]، تخصیص ذخیره مطمئن برای شبکه[4]، تجزیه و تحلیل وقوع حوادث احتمالی[5]، مطالعات اتصال کوتاه، تعیین نیاز مصرف و برنامه‌ریزی تامین آن در بازار برق مورد استفاده قرار می‌گیرد.

با توجه به اهمیت پیش‌بینی بار در سیستم‌های قدرت، تلاش‌های فراوانی جهت بدست آوردن الگوریتم‌های مناسب برای این منظور صورت گرفته است. بسیاری از این روش‌ها براساس روش‌های هوش مصنوعی و سیستم‌های خبره از قبیل شبکه‌های عصبی [۱]، عصبی-فازی [۲و ۳] و فازی [۴] با توجه به خاصیت یادگیری و منطقی که دارند، بنا نهاده شده است. شبکه‌های عصبی و عصبی-فازی با توجه به اطلاعات گذشته (نظیر دما و بار مصرفی ساعات گذشته) آموزش دیده و در پیش‌بینی بار روزهای آینده مورد استفاده قرار می‌گیرند. سیستم‌های فازی نیز از یک سری قوانین که توسط فرد خبره تعیین می‌شود، می‌توانند برای پیش‌بینی بار شرایط خاص نظیر پیش‌بینی بار روزهای تعطیل مورد استفاده قرار گیرد [۲].

برای این شبکه‌های یاد شده نیز ساختارهای متفاوتی توسط بسیاری از محققان در جهت بهبود رفتار آنها صورت گرفته که نتایج بسیار خوبی به همراه داشته است.

عمده‌ترین عیب سیستم‌های هوشمند، مخصوصا شبکه‌های عصبی و عصبی- فازی در این است که برای روزهای با شرایط غیرعادی و ویژه، کارائی لازم را نداشته و رفتار شبکه، مورد رضایت نمی‌باشد. البته شاید این موضوع زیاد هم غیرمنطقی به‌نظر نرسد، چون براساس آموزشی که صورت می‌گیرد، پیش‌بینی انجام خواهد گرفت.

برای بهبود پیش‌بینی بار روزهای با شرایط خاص از سیستم‌های فازی با توجه به قوانین تعریف شده استفاده گردیده و نتایج خوبی به همراه داشته است [۵]. ولی با این وجود در مواردی، به‌عنوان مثال پخش مسابقه فوتبال جام جهانی که احتمال افزایش مصرف بار در ساعات پخش مسابقه خیلی بالا است، کاری از دست این سیستم‌های هوشمند بر نمی‌آید و اینجاست که تفکر و تجربه انسانی به میان آمده و احتمال تغییرات بار را هم به‌صورت تجربی و هم به‌صورت عقلانی برای یک مدت زمان خاص پیش‌بینی می‌کند.

بدین‌ترتیب در مواردی نظیر تغییرات شدید آب و هوایی، وقوع برخی مسائل خاص فرهنگی، اجتماعی و یا پخش برنامه خاص تلویزیونی، خاموشی از قبل برنامه‌ریزی شذه و نظایر آن امکان دارد در نقطه‌ای از منحنی بار مصرفی پیش‌بینی شده بنا به دلایلی که از قبل معلوم شده، مقدار بار تغییر کند. برای اعمال تغییرات لازم می‌بایست روشی جهت تغییر شکل[1] منحنی بار پیش‌بینی شده با اعمال نظر کاربر درنظر گرفته شود [۶].

در این مقاله از روش برازش منحنی در جهت اصلاح منحنی بار پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی و یا فازی استفاده گردیده است. بدین‌صورت که بعد از پیش‌بینی بار توسط روش‌های مذکور، نقاطی (ساعاتی) که در آنها احتمال تغییر منحنی بار وجود دارد و همچنین میزان افزایش یا کاهش این مقادیر توسط کاربر مشخص شده و سپس برازش منحنی صورت می‌گیرد. همچنین در این روش با توجه به اینکه فقط بار یک ساعت توسط کاربر معین می‌گردد و با توجه به اینکه برای برازش بهتر و دقیق منحنی به ساعات کناری، به‌عنوان مثال به دو یا یک ساعت قبل و بعد از نقطه مشخص شده، نیاز است برای پیدا کردن اطلاعات سایر نقاط از تقریب گوسی استفاده می‌شود.

در ادامه این مقاله در بخش (۲) به چگونگی آماده‌سازی صورت مساله پرداخته می‌شود. در بخش (۳)، برازش منحنی و در بخش (۴)، برازش منحنی پیش‌بینی بار برای اعمال نظر کاربر ارائه گردیده‌اند. بخش (۵) به ارائه الگوریتم نهایی برای برازش منحنی بار پرداخته است. بخش (۶) به ارائه نمونه‌هایی از تغییرشکل و اصلاح منحنی‌های پیش‌بینی بار شبکه

[1] Unit Commitment
[2] Maintenance Scheduling
[3] Optimal Load Flow
[4] Fuel Allocation
[5] Contingency Analysis

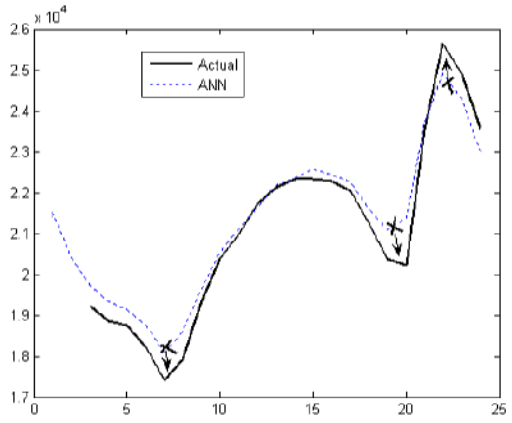
[1] Reshape

سراسری ایران و برق تهران می‌پردازد. بخش (۷) به نتیجه‌گیری اختصاص دارد و مراجع در بخش (۸) پایان‌بخش مقاله خواهد بود.

۲- آماده‌سازی صورت مساله

همانطور که اشاره گردید، هدف بدست آوردن الگوریتمی است که بتوان با اعمال نظر کاربر، ساعاتی از منحنی بار پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی یا فازی را اصلاح نمود. برای روشن شدن موضوع به مثال زیر توجه می‌کنیم.

شکل زیر که حاوی منحنی بار واقعی و پیش‌بینی شده یک روز مشخص توسط شبکه عصبی است را در نظر می‌گیریم. در این شکل همانطور که دیده می‌شود، اگر نقاط پیک منحنی حاصل از پیش‌بینی شبکه عصبی اصلاح گردد، منحنی حاصل بسیار شبیه به منحنی واقعی بار خواهد شد.



شکل(۱): منحنی بار واقعی و پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی

در واقع در بسیاری از موارد، نقاط پیک در منحنی بار توسط کاربر خبره معلوم می‌گردد. همانطور که ذکر شد، این نقاط توسط تجربه و دانش فرد و با درنظر گرفتن اتفاقات مورد نظر، تعیین و میزان افزایش یا کاهش نقاط پیک مشخص می‌گردد. از جمله این اتفاقات ویژه می‌توان پخش یک مسابقه فوتبال را درنظر گرفت که منحنی عادی بار را در ساعات معین تحت تاثیر قرار خواهد داد.

پس در حقیقت صورت مساله بدین‌صورت است که الگوریتمی برای اصلاح منحنی پیش‌بینی بار حاصل از شبکه عصبی طوری تهیه گردد که نقاط پیک غیرعادی که ممکن است رخ دهد و مقدار آن توسط کاربر مشخص می‌گردد، بهبود یافته و به پیش‌بینی بار مورد نظر کاربر نزدیکتر شود.

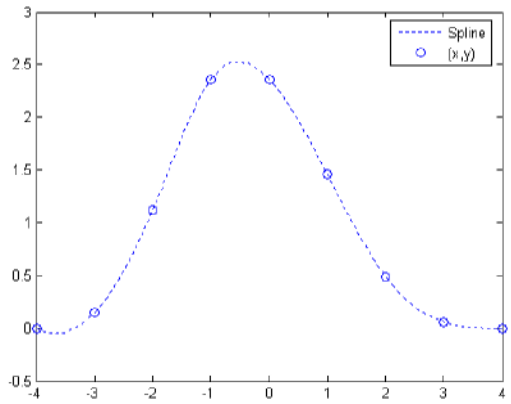
برای این کار معلومات مساله، نقطه پیک و همچنین مقدار آن جهت تغییر می‌باشد. روشی که برای اصلاح منحنی بار بکار گرفته شده است، روش برازش منحنی می‌باشد.

۳- برازش منحنی

برازش منحنی عباتست از تعیین منحنی یک تابع از روی تعدادی از اطلاعاتی که از آن موجود است. فرض کنیم که تعدای از نقاط یک تابع به‌صورت زیر موجود باشد:

y = [0 .15 1.12 2.36 2.36 1.46 .49 .06 0];

به‌طوری‌که این اطلاعات در گستره محور افقی از ۴- تا ۴ باشد. حال هدف این است که با استفاده از تعداد نقاط موجود y در گستره یاد شده، تابع یا منحنی متعلق به این داده‌ها را برازش کنیم. بعد از انجام برازش، منحنی به‌صورت شکل (۲) خواهد بود.



شکل(۲): برازش منحنی برای مثال درنظر گرفته شده

در روش برازش منحنی اگر تعداد اطلاعات یا تعداد نقاط موجود از منحنی مورد نظر زیاد باشد، برازش صورت گرفته بسیار به منحنی اصلی نزدیک خواهد بود.

۴- برازش منحنی پیش‌بینی بار برای اعمال نظر کاربر

همانطور که توضیح داده شد، هدف، تصحیح منحنی بار حاصل از پیش‌بینی شبکه عصبی می‌باشد که در حقیقت مقدار مورد نظر کاربر برای نقاط پیک و زمان آن در دست می‌باشد.

در این روش کاربر می‌تواند اتفاقات غیرعادی که در شبکه رخ خواهد داد و این اتفاق غیرعادی از حیطه پیش‌بینی روش‌های هوشمند خارج می‌باشد را تعیین کند. در این

قسمت سعی بر آن است که با اعمال نظر کاربر در ساعات مشخص شده و مقدار بار احتمالی در این نقاط، برازش منحنی صورت گرفته و منحنی اصلاح شده نهائی بدست آید. معلومات مساله برای برازش منحنی، ساعت وقوع شرایط غیرعادی و مقدار بار آنها می‌باشد.

برای استفاده از برازش منحنی و تصحیح منحنی موجود، وجود یک نقطه (که همان نقطه پیک است) کافی و مناسب نیست و برای بهتر نمودن برازش مورد نظر نیاز به اطلاعات بیشتری (حداقل دو یا سه ساعت) از نقاط مجاور نقطه پیک می‌باشد.

حال اینکه چگونه با توجه به نقطه پیک و ساعت وقوع آن به اطلاعات تقریبی از کناره‌ها (یعنی مثلا به دو ساعت یا سه ساعت قبل و بعد آن) دست یابیم، موضوع جالبی به نظر می‌رسد.

با توجه به منحنی بار در یک بازه ۴ یا ۶ ساعتی، حول نقطه پیک، می‌توان این منحنی را به‌صورت تقریبی شبیه یک تابع توزیع گوسی نرمال درنظر گرفته و میانگین و واریانس این منحنی را در بازه مذکور بدست آورد.

توجه به این نکته حائز اهمیت است که همه این موارد بر روی خروجی حاصل از پیش‌بینی بار با شبکه عصبی صورت می‌گیرد. یعنی رفتار بار پیش‌بینی شده حول نقطه پیک، همان رفتار خروجی شبکه عصبی (یا خروجی فازی که نتیجه شبکه عصبی را برای روزهای با شرایط خاص اصلاح کرده است) درنظر گرفته می‌شود و میانگین و واریانس آن بدست می‌آید.

با استفاده از میانگین و واریانس بدست آمده، می‌توان برای ساعات پیک و کناری با تابع توزیع نرمال گوسی و مقدار پیک مورد نظر کاربر، اطلاعاتی بدست آورد که برازش منحنی تا حدی به‌خوبی انجام گردد.

برای این کار نقطه پیک مورد نظر توسط کاربر مشخص می‌گردد. به‌عنوان مثال در شکل (۱)، کاربر می‌خواهد که بار ساعت ۲۰ پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی به مقدار ۵۰۰MW پایین بیاید. پس بیشترین مقدار توزیع گوسی نرمال جدید در این نقطه پیک اتفاق می‌افتد. برای نقاط کناری نیز از میانگین و واریانس بدست آمده استفاده می‌شود.

اگر تفاوت نقطه پیک مورد نظر و خروجی شبکه عصبی با Pd، ساعت وقوع پیک با Hp و واریانس بدست آمده با δ مشخص گردند، جهت برازش بار نقاط مختلف (P) با ساعات مختلف (H)، فرمول گوسی زیر در نظر گرفته می‌شود:

$$P(i) = Pd \times \exp(-(\frac{H(i) - Hp}{\sqrt{2}\delta})^2)) \qquad (۱)$$

مثلا اگر برای همان نقطه (ساعت ۲۰) شکل (۱)، تفاوت منحنی واقعی (به‌عنوان مثال، منحنی مورد نظر کاربر) و خروجی شبکه عصبی Pd و ساعت مربوطه پیک، ۲۰ باشد، برای ساعات ۱۸، ۱۹، ۲۱ و۲۲ می‌توان به‌صورت زیر اطلاعاتی برای برازش بدست آورد:

$$P(18) = Pd \times \exp(-(\frac{18-20}{\sqrt{2}\delta})^2)$$
$$P(19) = Pd \times \exp(-(\frac{19-20}{\sqrt{2}\delta})^2)$$
$$P(21) = Pd \times \exp(-(\frac{21-20}{\sqrt{2}\delta})^2)$$
$$P(22) = Pd \times \exp(-(\frac{22-20}{\sqrt{2}\delta})^2)$$

لازم به یاد آوری است که مقدار میانگین و واریانس برای منحنی خروجی شبکه عصبی در بازه گفته شده نیز به صورت زیر بدست می‌آید:

$$average = \frac{\sum_{i=18}^{22} P(i)}{22-18} \qquad (۲)$$

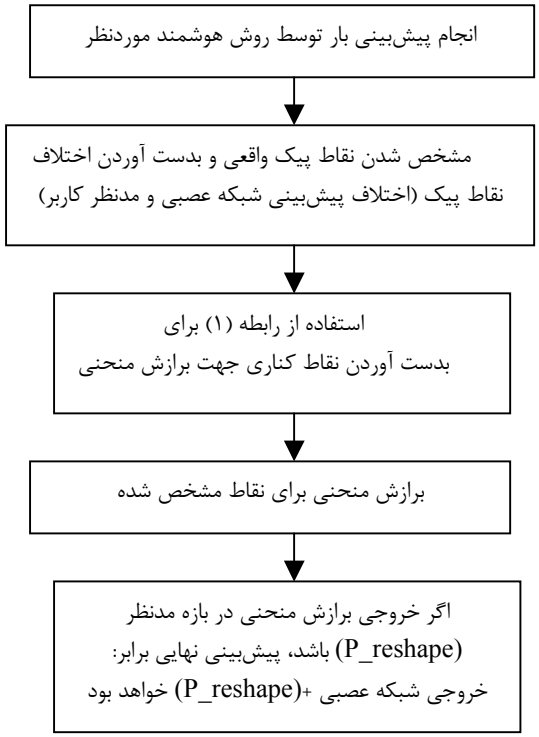
$$\delta^2 = \frac{\sum_{i=18}^{22} (P(i) - a\,\mathrm{var}\,age)^2}{22-18-1} \qquad (۳)$$

که average و δ به‌ترتیب بیانگر میانگین و واریانس پیش‌بینی شبکه عصبی می‌باشند. P نیز مقدار بار پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی برای ساعات مذکور می‌باشد.

بعد از بدست آوردن نقاط کمکی برای برازش منحنی از روش‌های مختلف برای برازش می‌توان بهره جست و منحنی را تقریب زد. بعد از تقریب منحنی اگر در بازه یاد شده، خروجی شبکه عصبی با مقدار برازش منحنی جمع گردد، منحنی بدست آمده، منحنی بار اصلاح شده مدنظر کاربر خواهد بود. لازم به ذکر است که همین عمل مشابه برای سایر نقاط پیک نیز می‌تواند تکرار گردد (نظیر ساعات ۲۲ و۶ در شکل (۱)).

۵- ارائه الگوریتم نهایی برای برازش منحنی

الگوریتم نهایی برای روش پیشنهادی ارائه شده را می‌توان به‌صورت روندنمای زیر خلاصه نمود:

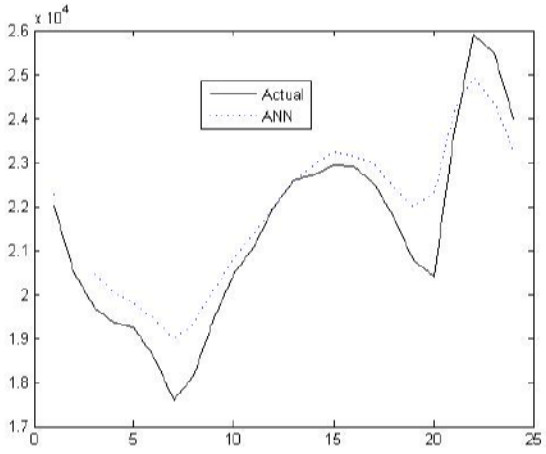


شکل(۳): روندنمای الگوریتم نهایی برای تغییر شکل منحنی بار

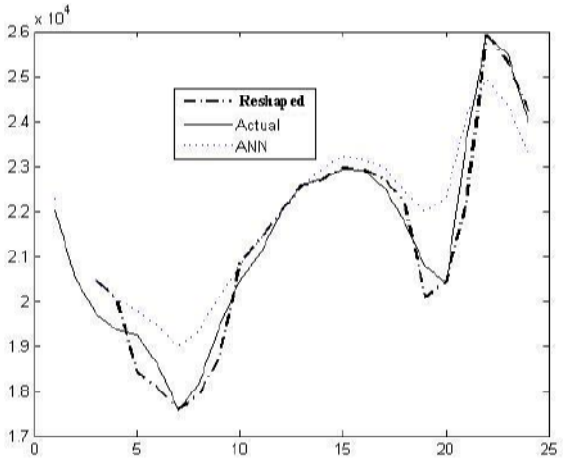
۶- نمونه‌هایی از تغییرشکل و اصلاح منحنی‌های پیش‌بینی بار شبکه سراسری ایران و برق تهران

۶-۱- تصحیح منحنی بار روز ۸۴/۳/۱۹ شبکه سراسری

شکل (۴)، بار پیش‌بینی شده و مورد نظر کاربر (واقعی) را برای روز یاد شده نشان می‌دهد. در این منحنی هدف اصلاح چهار نقطه پیک (ساعات ۶، ۱۶، ۲۰ و۲۲) با درنظر گرفتن ۲ نقطه قبل و بعد می‌باشد. با الگوریتم برازش توضیح داده شده در قبل، نتایج حاصله به‌صورت شکل (۵) در آمده است.



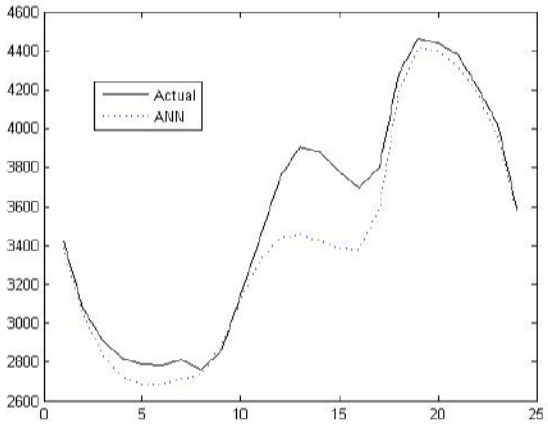
شکل (۴): منحنی بار پیش‌بینی شبکه عصبی و مورد نظر کاربر برای روز ۸۴/۳/۱۹ شبکه سراسری



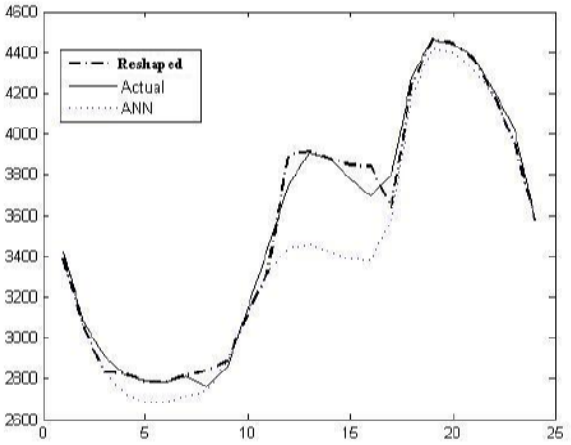
شکل (۵): منحنی بار اصلاح شده برای ساعات پیک ۶، ۱۶، ۲۰ و ۲۲ روز ۸۴/۳/۱۹ شبکه سراسری

۶-۲- تصحیح منحنی بار روز ۸۴/۱۰/۲ برق تهران

شکل (۶) بار پیش‌بینی شده و مورد نظر کاربر (واقعی) را برای روز یاد شده نشان می‌دهد. هدف اصلاح سه نقطه پیک (ساعات ۹، ۱۲ و ۱۹) با درنظر گرفتن دو نقطه کناری می‌باشد. با الگوریتم برازش توضیح داده شده در قبل، نتایج حاصله به‌صورت شکل (۷) درآمده است.



شکل (۶): منحنی بار پیش‌بینی شبکه عصبی و مورد نظر کاربر برای روز ۸۴/۱۰/۲ برق تهران



شکل (۷): منحنی بار اصلاح شده برای ساعات پیک ۶، ۱۲ و ۱۹ روز ۸۴/۱۰/۲ برق تهران

۷- نتیجه‌گیری

همانطـور کـه ذکر شد منحنی بار پیش‌بینی شده به‌وسیله شبکه عصبی، اتفاقات و رویدادهای غیرعادی روزها را نمی‌تواند مدنظـر قرار بدهد. چون آموزش این شبکه‌ها براساس داده‌های گذشته بار، دما و ... صورت می‌گیرد.

در بـسیاری از مـوارد عملـی، منحنی بار شبکه دستخوش تغییراتـی مـی‌شـود کـه شـبکه عـصبی از پیش‌بینی آن عاجز مـی‌مانـد. به عنوان مثال "امروز ساعت ۸ الی ۱۰ شب، به علت پخـش مسابقه فوتبال، بار به اندازه MW ۵۰۰ افزایش خواهد یافـت. ایـن بـیان کاربـر یـا اپـرتوری اسـت که با تجربه خود، پیش‌بینی شبکه عصبی را می‌تواند اصلاح نماید.

بـر ایـن اسـاس در این مقاله سعی شده است با استفاده از روش بـرازش منحنـی و بـا تـوجه بـه نقطـه پیک مورد نظر و سـاعت آن، الگوریتمـی بـرای تـصحیح منحنـی بـار حاصل از پیش‌بینی شبکه عصبی تهیه گردد.

تـنها اطلاعـات لازم برای اجرای این الگوریتم، مقدار پیک بـار مـورد نظـر کاربـر و ساعت وقوع آن می‌باشد که این موارد توسط کاربر به عنوان ورودی داده خواهند شد.

شـبیه‌سـازی‌ها و نتایج حاصل از این الگوریتم نشان دهنده کارائـی بـسیار خـوب ایـن روش مـی‌باشد. شبیه‌سازی‌ها برای منحنـی‌های بار شبکه برق تهران و شبکه سراسری ایران مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج حاصله بسیار سودمند می‌باشد.

۸- مراجع

[1] S.Barghinia, P.Ansarimehr, H.Habibi, N.Vafadar, "Short Term Load Forecasting of Iran National Power System Using Artifical Neural Network", IEEE PowerTech, 2001 Conference.

[2] P.Ansarimehr, S.Barghinia, H.Habibi, N.Vafadar, "Short Term Load Forecasting for Iran National Power System Using Artifical Neural Network and Fuzzy Expert System", IEEE PES/CSEE Conference on Power Technology 2002.

[3] A. H. Vahabie, M. M. Rezaei Yousefi, B. N. Araabi, C. Lucas, S. Barghinia, and P. Ansarimehr, " Mutual Information Based Input Selection in Neuro-Fuzzy Modeling for Short Term Load Forecasting of Iran National Power System" 7th International Conference on Control and Automation(ICCA2007) china

[4] A.A. Gorji, M.B. Menhaj, S. Barghinia, and P. Ansarimehr, "Fuzzy TSK model for Short Term Load Forecasting of Iran National Power System", Int. Conf. on Power System Technology, China, October, 2006.

[۵] سـیما کمـانکش، سـعیده برقـی‌نـیا، آزاد غفاری، "پیش‌بینی بار کـوتاه مدت شبکه برق ایران با درنظر گرفتن شرایط خاص نظیر روزهای قبل و بعد و بین تعطیلی و سالهای کبیسه و تهیه قوانین خبـره فـازی"، ۲۲امـین کنفرانس بین‌المللی برق ایران، آبان ماه ۱۳۸۶.

[۶] گـروه پژوهشی مطالعات سیستم، "اعمال نظر کاربر جهت تغییر شـکل منحنـی بـار پیش‌بینی شده"، گزارش مرحله هشتم پروژه "توسـعه و تکمـیل نـرم‌افـزار پـیش‌بینی بار کوتاه‌مدت پژوهشگاه نیرو"، اردیبهشت ماه ۱۳۸۶.