98-F-SEA-0211

استفاده از روش شبکه‌های عصبی برای پیش‌بینی قیمت خرید انرژی در بازار برق ایران

احد اسماعیلی کلالق مجید علومی بایگی
دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده برق و رباتیک، گروه قدرت

واژه‌های کلیدی: پیش بینی قیمت انرژی الکتریکی، شبکه های عصبی،
الگوریتم پس انتشار خطا، سریهای زمانی، تجدید ساختار

چکیده

در این مقاله قیمت خرید انرژی الکتریکی در بازار برق ایران با روش شبکه های عصبی پیش بینی می‌گردد. از الگوریتم پس انتشار خطا جهت آموزش شبکه استفاده می شود. برای کاهش خطای پیش بینی، تعداد لایه‌ها و تعداد نرونهای هر لایه به روش سعی و خطا تعیین می شود. از آنجا که تغییرات بار مصرفی یکی از عوامل تاثیرگذار روی قیمت انرژی الکتریکی می‌باشد، لذا برای بررسی اثر بار مصرفی در پیش بینی قیمت انرژی الکتریکی، این روش در دو حالت ارزیابی می‌گردد. در حالت اول فقط قیمت به عنوان ورودی در نظر گرفته شده، و در حالت دوم بار مصرفی و قیمت به عنوان ورودی در نظر گرفته می‌شود. روش دیگری که برای پیش بینی استفاده می‌گردد روش سریهای زمانی می باشد که بر مبنای روشهای آماری بنا نهاده شده است. در [۱] پیش بینی قیمت انرژی الکتریکی بازار برق ایران با استفاده از روش سریهای زمانی انجام شده است. در نهایت این دو روش با هم مقایسه شده و شرایط استفاده مناسب از هر دو روش تعیین می‌گردد. برای این منظور از داده های بار و قیمت انرژی الکتریکی بازار برق ایران مربوط به مهر ماه ۸۴ استفاده شده و قیمت انرژی الکتریکی آبان ماه با دو روش مذکور پیش بینی می شود.

۱- مقدمه

ساختار صنعت برق در بسیاری از کشورهای جهان در حال گذار از فضای انحصاری به فضای رقابتی است. تجدید ساختار در صنعت برق در کشورهای مختلف با مدلهای متفاوتی جهت خصوصی سازی و رقابتی کردن این صنعت در حال انجام می‌باشد. اگر چه انرژی الکتریکی بدلیل ویژگیهای خاص آن نظیر عدم ذخیره سازی در حجم زیاد با کالاهای دیگر متفاوت است، ایده اصلی در فرآیند رقابتی کردن صنعت برق در نظر گرفتن انرژی الکتریکی به عنوان یک کالاست که از طریق قراردادهای دوطرفه، چندطرفه و یا از طریق بازار برق می‌تواند معامله شود[۲]. با طرح این ایده، خدماتی مانند انتقال انرژی، تهیه ظرفیت رزرو، حفظ فرکانس و ولتاژ شبکه و ... به صورت خدمات جانبی این کالا مطرح می‌شوند [۳]. در بازارهای برق قیمت انرژی الکتریکی در طول روز متغیر می‌باشد. این موضوع برنامه‌ریزی و مدیریت مصرف مشتریان

را تحت‌الشعاع قرار داده است. مصرف کنندگان انرژی الکتریکی جهت مدیریت مصرف بهینه نیازمند به دانستن قیمت انرژی الکتریکی در ساعات آینده می‌باشند. این امر پیش بینی قیمت برق را برای مصرف کنندگان ضروری نموده است.

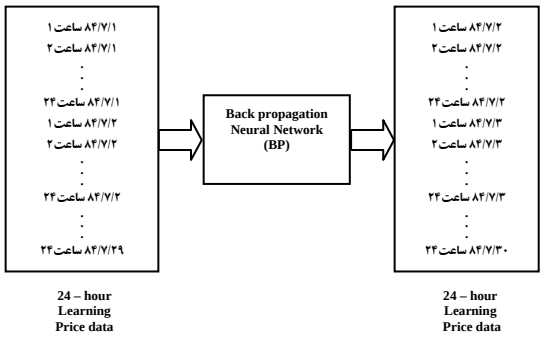
مدلهای مبتنی بر سریهای زمانی از قبیل ARIMA در پیش بینی قیمت کالاهایی مانند گاز طبیعی به کار گرفته شده است [۴]. استفاده از تکنیکهای ARIMA برای پیش بینی میزان تقاضای سیستم قدرت نتایج خوبی به همراه داشته است [۶-۵]. مدل AR برای پیش بینی قیمت‌های هفتگی بازار نروژ مورد استفاده قرار گرفته‌است. یک مدل ARIMA اصلاح شده جهت پیش بینی قیمت تمام شده بازار در ۲۴ ساعت آینده در [۷] ارائه شده‌است. از شبکه‌های عصبی نیز در پیش بینی بار به مراتب استفاده شده‌است [۸]. از این ابزار جهت پیش بینی کوتاه مدت قیمت برق استفاده می‌شود. در [۹] یک روش ترکیبی بر اساس شبکه‌های عصبی مصنوعی و منطق فازی ارائه شده است. این روش به بازار ولز و انگلستان اعمال گردیده است. یک شبکه عصبی سه لایه با روش آموزش پس‌انتشار خطا، جهت پیش بینی قیمت انرژی الکتریکی در [۱۰] پیشنهاد شده‌است. از تبدیل فوریه و تبدیل هرمیتی به عنوان فیلترهای اطلاعاتی قیمت برق در ورودی شبکه عصبی، استفاده شده‌است[۱۱]. در [۱۲] پیش بینی پذیری قیمت انرژی الکتریکی نسبت به بار مورد بررسی قرار گرفته‌است. در این مقاله نشان داده‌شده است که پیش بینی پذیری قیمت انرژی الکتریکی نسبت به تقاضا کمتر می‌باشد. یعنی قیمت نسبت به تقاضا به گذشته خود کمتر وابسته می‌باشد. لذا پیش بینی قیمت انرژی الکتریکی از پیچیدگی بیشتری نسبت به پیش بینی بار برخوردار است.

۲ – پیش‌بینی قیمت‌بااستفاده از روش شبکه‌های عصبی

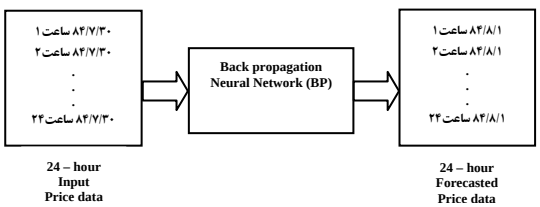
یکی از عوامل موثر بر قیمت انرژی الکتریکی بار مصرفی می باشد. بنابراین در پیش بینی قیمت انرژی الکتریکی به روش شبکه های عصبی، این پیش بینی در دو حالت بررسی می شود. در حالت اول فقط قیمت انرژی الکتریکی را به عنوان ورودی در نظر می گیریم و شبکه را فقط با داده های قیمت آموزش می دهیم. سپس در حالت دوم بار مصرفی و قیمت انرژی الکتریکی را به عنوان ورودی شبکه تعریف می کنیم.

۲ – ۱ پیش بینی قیمت از روی داده های گذشته آن

داده های قیمت انرژی الکتریکی به صورت ۲۴ ساعته برای مهر ماه و آبان ماه ۸۴ موجود می باشد. ۴۸ داده اول مهر ماه ۸۴ مربوط به قیمت انرژی الکتریکی بازار برق ایران در ستون دوم جدول ۱ پیوست آورده شده است. می خواهیم با فرض داشتن داده های قیمت انرژی الکتریکی به مدت یک ماه قیمت انرژی الکتریکی را در روز بعد پیش بینی نمائیم. بطور مثال برای پیش بینی قیمت انرژی الکتریکی در ساعتهای مختلف روز ۸۴/۸/۱ داده های ۲۴ ساعته از تاریخ ۸۴/۷/۱ تا ۸۴/۷/۲۹ را به عنوان ورودی و داده های ۲۴ ساعته از تاریخ ۸۴/۷/۲ تا ۸۴/۷/۳۰ را به عنوان خروجی برای آموزش شبکه در نظرمی گیریم. شکل ۱ این روند را نشان می دهد. در اینحالت شبکه طوری آموزش می بیند که داده های هر روز با داده های روز بعد مقایسه می شود. الگوریتم پس انتشار خطا (BP) جهت آموزش شبکه استفاده می‌گردد. معمولاً برای پیش بینی از این الگوریتم استفاده می شود. حال اگر از داده های قیمت انرژی الکتریکی ۲۴ ساعته روز ۸۴/۷/۳۰ به عنوان ورودی شبکه آموزش یافته استفاده کنیم قیمت انرژی الکتریکی در ۲۴ ساعت روز ۸۴/۸/۱ پیش بینی می شود (شکل ۲).



شکل ۱ – داده های ورودی–خروجی قیمت برای آموزش شبکه



شکل ۲ – داده های ورودی–خروجی قیمت برای مرحله پیش بینی

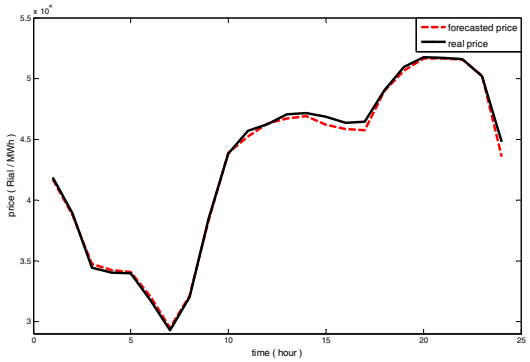
جدول ۱ – خطای پیش بینی برای مقادیر مختلف پارامترهای شبکه

نرخ یادگیری	تعداد لایه	تعداد نرون لایه خروجی	تعداد نرون لایه میانی	میانگین در صد خطای ۲۴ ساعته روز ۸۴/۸/۱
–	۲	۱	۰	۰/۶۲۵۶
۰/۸۵	۳	۱	۲	۰/۶۷۸۰
۰/۸	۳	۱	۲	۰/۶۷۸۰
۰/۹	۳	۱	۲	۰/۶۸۲۲
۰/۸۵	۳	۱	۳	۰/۶۷۰۲
۰/۸	۳	۱	۳	۰/۷۰۰۱
۰/۹	۳	۱	۳	۰/۷۰۰۱
نرخ یادگیری	تعداد لایه	تعداد نرون لایه خروجی	تعداد نرون لایه میانی	میانگین در صد خطای ۲۴ ساعته روز ۸۴/۸/۲
–	۲	۱	۰	۲/۷۹۱۱
۰/۸۵	۳	۱	۲	۲/۹۲۳۰
۰/۸	۳	۱	۲	۲/۹۲۳۰
۰/۹	۳	۱	۲	۲/۹۲۳۰
۰/۸۵	۳	۱	۳	۳/۰۸۸۱
۰/۸	۳	۱	۳	۳/۰۸۸۱
۰/۹	۳	۱	۳	۳/۰۸۸۱

برای بدست آوردن بهترین پیش بینی با کمترین مقدار خطا تعداد لایه ها، تعداد نرونهای هر لایه و نرخ یادگیری شبکه را به روش سعی و خطا تغییر می دهیم. برای اینکار میانگین درصد خطاهای ۲۴ ساعته چند روز مختلف را نسبت به تغییرات پارامترهای ذکر شده بدست می آوریم. میانگین درصد خطای ۲۴ ساعته برای روزهای اول و دوم آبان ماه ۸۴ برای مقادیر مختلف پارامترهای فوق در جدول ۱ آورده شده است. همانطور که مشاهده می شود میانگین درصد خطا با افزایش تعداد نرونها و لایه ها افزایش می یابد. در مورد نرخ یادگیری هم با افزایش آن تغییر زیادی در میانگین درصد خطا حاصل نمی شود. مناسبترین مدل با توجه به جدول، مدل دو لایه با یک نرون در لایه خروجی می باشد. همین مراحل برای روزهای بعدی هم تکرار شد و مشاهده گردید که برای این روزها نیز مدل دو لایه با یک نرون در لایه خروجی میانگین درصد خطای کمتری نشان می دهد. بنابراین نتیجه می شود که شبکه عصبی دو لایه با یک نرون در لایه خروجی مناسبترین شبکه برای پیش بینی قیمت انرژی الکتریکی می باشد. تابع فعال ساز استفاده شده نیز بعد از آزمایش روی توابع مختلف، تابع فعال ساز خطی بدست آمد. جدول ۲ مقادیر داده های پیش بینی شده و واقعی، به همراه خطای پیش بینی در تاریخ ۸۴/۸/۱ را نشان می دهد. مشاهده می‌شود که در بیش از ۵۰ درصد ساعات خطای پیش بینی کمتر از یک درصد می باشد. در یک سوم ساعات خطا بین ۱ تا ۲ درصد بوده است. فقط در سه ساعت یعنی یک هشتم ساعات خطا از ۲ درصد بیشتر شده است. بنابرین این مقادیر قابل قبول بوده و پیش بینی دقت لازم را داشته است. منحنی قیمت پیش بینی شده و قیمت واقعی انرژی الکتریکی در تاریخ ۸۴/۸/۱ در شکل ۳ نشان داده شده است.

جدول ۲– داده های پیش بینی شده و خطای پیش بینی قیمت روز ۸۴/۸/۱

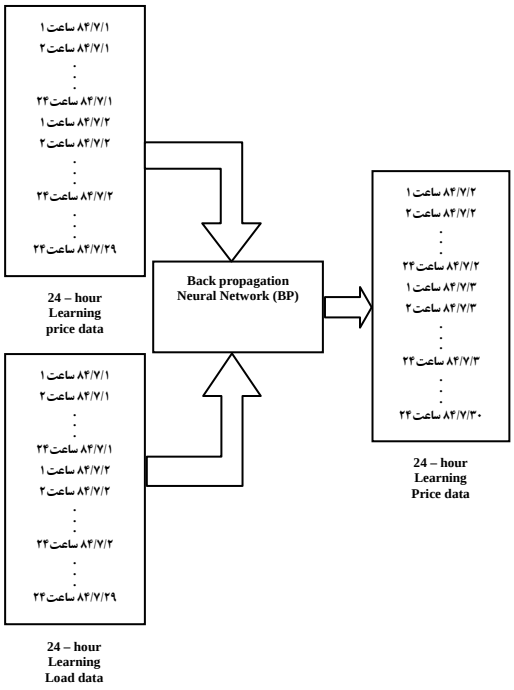
زمان بر حسب ساعت	قیمت واقعی	قیمت پیش بینی شده	درصد خطا
1	41101	41340	0.5819
2	38155	38123	0.0826
3	34096	35278	3.4673
4	33587	34006	1.2472
5	33420	33982	1.6806
6	31379	31380	0.0025
7	28763	29304	1.8793
8	31413	31918	1.6076
9	37686	38389	1.866
10	43293	43713	0.9705
11	44670	45190	1.1644
12	45737	46188	0.9861
13	46155	46250	0.206
14	46328	46634	0.6607
15	45633	46521	1.9452
16	45281	46118	1.8489
17	45150	46169	2.2561
18	48407	48154	0.5233
19	50117	49849	0.5351
20	51113	50953	0.3123
21	51109	50872	0.4638
22	50998	50717	0.5514
23	49703	49530	0.3485
24	42968	45180	5.149
Mean square error →			1.264



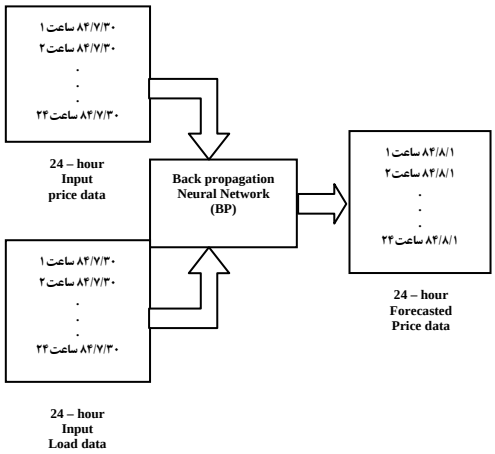
شکل ۳ – منحنی قیمت پیش بینی شده و قیمت واقعی انرژی الکتریکی نسبت به زمان برای حالت آموزش با داده های قیمت

۲ – ۲ پیش بینی قیمت از روی داده های گذشته بار و قیمت

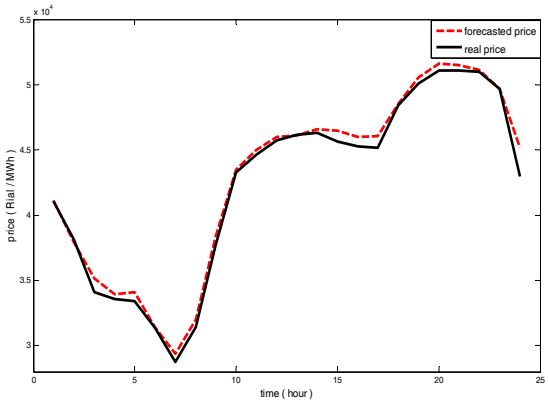
برای کاهش بیشتر مقدار خطا داده های بار که یکی از عوامل تاثیر گذار بر قیمت انرژی الکتریکی است برای آموزش شبکه استفاده می شود. یعنی برای پیش بینی قیمت انرژی الکتریکی روز ۸۴/۸/۱، داده های بار و قیمت ۲۴ ساعته روزهای ۸۴/۷/۱ تا ۸۴/۷/۲۹ به عنوان ورودی شبکه و داده های قیمت ۲۴ ساعته روزهای ۸۴/۷/۲ تا ۸۴/۷/۳۰ را خروجی شبکه عصبی در نظر گرفته و شبکه با این داده ها آموزش داده می شود (شکل ۴). ۴۸ داده اول بار و قیمت انرژی الکتریکی بازار برق ایران در جدول ۱ پیوست آورده شده است. حال اگر داده‌های بار و قیمت ۲۴ ساعته روز ۸۴/۷/۳۰ به ورودی شبکه آموزش دیده، اعمال شود شبکه قیمت روز بعدی یعنی ۸۴/۸/۱ را پیش بینی می کند (شکل۵). منحنی پیش بینی قیمت روز ۸۴/۸/۱ و قیمت واقعی این روز در شکل ۶ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود با مقایسه شکلهای ۳ و ۶ برخلاف انتظار ما پیش بینی در حالت با در نظر گرفتن بار به عنوان ورودی دقت کمتری نسبت به حالت بدون در نظر گرفتن بار دارد.



شکل ۴ – داده های ورودی–خروجی بار و قیمت برای آموزش شبکه



شکل ۵ – داده های ورودی–خروجی بار و قیمت برای مرحله پیش بینی

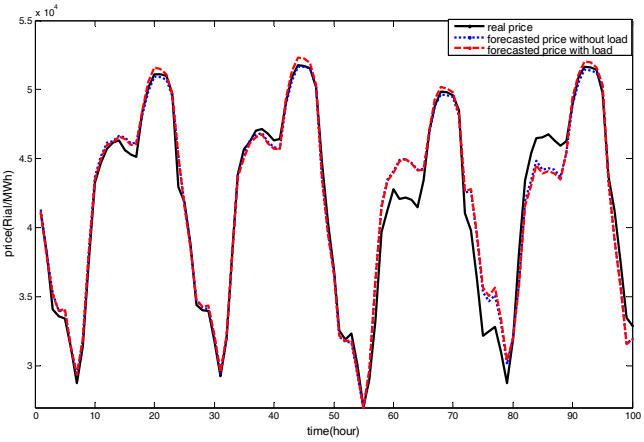


شکل ۶ – منحنی قیمت پیش بینی شده و قیمت واقعی انرژی الکتریکی نسبت به زمان برای حالت آموزش با داده های بار و قیمت

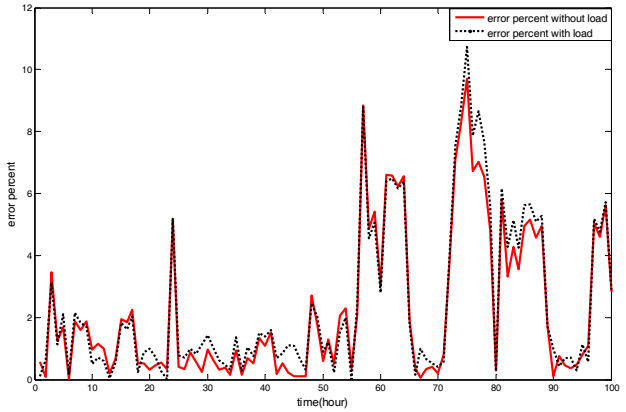
۲ – ۳ انتخاب الگوی مناسب برای پیش بینی به روش شبکه های عصبی

برای بدست آوردن الگوی مناسب برای پیش بینی قیمت انرژی الکتریکی به روش شبکه های عصبی، قیمت انرژی الکتریکی از ۸۴/۸/۱ تا ۸۴/۸/۱۵ به دو روش با در نظر گرفتن بار به عنوان ورودی و بدون در نظر گرفتن بار پیش بینی می شود. پیش بینی های دو حالت نسبت به قیمت واقعی برای ۱۰۰ ساعت اول آبان ماه ۸۴ در شکل ۷ آورده شده است. چنانچه مشاهده می شود منحنی نقطه چین که مربوط به پیش بینی بدون در نظر گرفتن بار می باشد بر منحنی خط چین که مربوط به پیش بینی با در نظر گرفتن بار می باشد تقریبا منطبق

است. بنابراین دقت پیش بینی با اضافه شدن بار تغییری نمی‌کند. پیش بینی قیمت برای ساعتهای بعدی تا ۳۶۰ ساعت به دو روش فوق در شکل ۱ پیوست آورده شده است. منحنی درصد خطای پیش بینی دو حالت برای ۱۰۰ ساعت اول آبان ماه ۸۴ در شکل ۸ رسم شده است. برای ساعتهای بعدی تا ۳۶۰ ساعت، درصد خطای این دو حالت در شکل ۲ پیوست آورده شده است. با بررسی درصد خطای پیش‌بینی هم مشاهده می شود که اکثراً خطا در حالت بدون در نظر گرفتن بار کمتر از خطای حالت با در نظر گرفتن بار می باشد. میانگین قدر مطلق درصد خطا در ۳۶۰ ساعت اول مهر ماه ۸۴ با در نظر گرفتن بار ۱/۹۱۳۲ درصد و بدون در نظر گرفتن بار ۱/۸۴۳۴ درصد می باشد. لذا نتیجه می شود که لحاظ کردن بار در پیش بینی قیمت خطای پیش بینی را کاهش نمی دهد.



شکل ۷ – قیمت واقعی و قیمت پیش بینی شده با و بدون در نظر گرفتن بار برای ۱۰۰ ساعت اول آبان ماه ۸۴



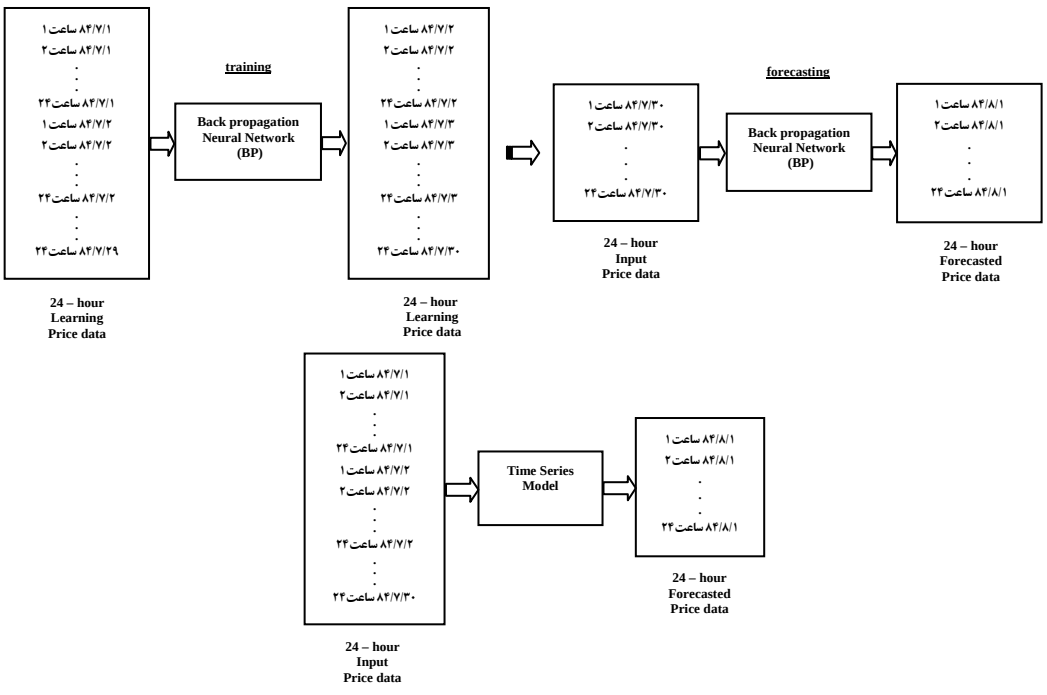
شکل ۸ – منحنی درصد خطای پیش بینی در دو حالت برای ۱۰۰ ساعت اول آبان ماه ۸۴

علت این است که داده های قیمت، خود شامل اطلاعات بار می باشند. یعنی اینکه در ساعتهای کم باری قیمت پایین، در ساعتهای بار متوسط قیمت متوسط و در ساعتهای اوج مصرف قیمت در بالاترین مقدار خود می باشد. بنابراین در نظر گرفتن بار به عنوان ورودی دقت پیش بینی قیمت انرژی الکتریکی را افزایش نمی دهد و فقط حجم داده ها و در نتیجه زمان محاسبه آن را افزایش می دهد.

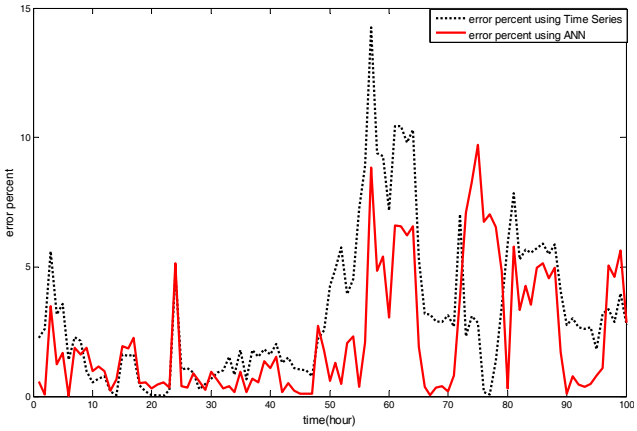
۳ – مقایسه روش شبکه های عصبی و سریهای زمانی

روش سریهای زمانی یک روش آماری و روش شبکه های عصبی از جمله روشهای هوشمند می باشد. در مقاله [۱] پیش‌بینی قیمت انرژی الکتریکی به روش سریهای زمانی به طور کامل شرح داده شده است. در این مقاله مدلهای تک ساعته و ۲۴ ساعته برای پیش بینی قیمت برق مورد مطالعه قرار گرفته است. مقایسه نتایج پیش بینی نشان می‌دهد که مدلهای تک ساعته علی رغم استفاده از تعداد داده های بسیار کمتر نتیجه تقریبا بهتری می‌دهند. مزیت استفاده از مدلهای تک ساعته بر مدل ۲۴ ساعته، کار با تعداد داده کمتر می‌باشد. در عوض باید برای پیش بینی قیمت ۲۴ ساعت روز آینده از ۲۴ مدل مختلف استفاده نمود که بسیار زمان بر میباشد. با توجه به قابل اغماض بودن اختلاف خطای پیش بینی دو مدل استفاده از مدل ۲۴ ساعته جهت کاهش زمان پیش بینی معقول می‌باشد. برای مقایسه دقت پیش بینی قیمت مصرف انرژی الکتریکی به دو روش شبکه های عصبی و سریهای زمانی از داده های ۲۴ ساعته مهر ماه و آبان ماه ۸۴ استفاده می شود. در هر دو روش داده های قیمت انرژی الکتریکی ۲۴ ساعته به مدت یکماه برای آموزش و تعیین مدل استفاده می شود. شکل ۹ روند پیش بینی قیمت انرژی الکتریکی روز اول آبان ماه ۸۴ را به روش شبکه های عصبی و سریهای زمانی نشان می دهد. قیمت انرژی الکتریکی به عوامل زیادی بستگی دارد که همه آنها در پیش بینی لحاظ نشده است. لذا در برخی ساعات ممکن است پیش بینی شبکه های عصبی دقیقتر و در ساعات دیگر پیش بینی سریهای زمانی دقیقتر باشد. بنابراین

لازم است که خطای این دو روش در یک بازه طولانی بررسی شود. برای این منظور قیمت انرژی الکتریکی ۲۴ ساعته ۳۰ روز آبان ماه با هر دو روش پیش بینی می شود. روش کار بدین ترتیب است که برای پیش بینی قیمت انرژی الکتریکی ۲۴ ساعته روز دوم آبان ماه، داده های واقعی روز اول آبان ماه به داده های آموزشی اضافه شده و داده‌های ۲۴ ساعته روز اول مهرماه از داده‌های آموزشی حذف می شوند. یعنی در هر مرحله آموزش از داده های ۲۴ ساعته ۳۰ روز متوالی استفاده می شود. بطور مشابه در روش سریهای زمانی نیز برای پیش بینی قیمت ۲۴ ساعته هر روز، از داده های قیمت ۲۴ ساعته یک ماه قبل استفاده می شود. همین روند برای پیش بینی قیمت انرژی الکتریکی ۲۴ ساعته روزهای بعدی آبان ماه استفاده می شود. در روش سریهای زمانی مدل اتورگرسیو مرتبه ۲ برای پیش‌بینی قیمت هر یک از روزهای آبان ماه ۸۴ بدست می آید. در روش شبکه های عصبی برای تمام روزهای آبان ماه ۸۴ شبکه عصبی پس انتشار دو لایه، با یک نرون در لایه خروجی و تابع فعال ساز خطی خروجی، پاسخ بهتر یعنی با کمترین مقدار خطا ارائه می‌دهد. نتایج حاصل از پیش بینی دو روش و خطاهای آنها برای ۱۰۰ ساعت اول آبان ماه ۸۴ در شکل ۱۰ آورده شده است. همانطور که مشاهده می شود خطوط نقطه‌چین که مربوط به خطای پیش بینی به روش سریهای زمانی می‌باشد بالاتر از خطوط ممتد قرار دارد. یعنی در اکثر موارد خطای بیشتری نسبت به روش شبکه های عصبی دارد. برای مقایسه بیشتر، منحنی تغییرات خطای پیش بینی قیمت با دو روش فوق برای ساعتهای بعدی تا ۷۲۰ ساعت در شکل ۳ پیوست آورده شده است. در نهایت میانگین قدر مطلق درصد خطای روش سریهای زمانی برای ۷۲۰ ساعت آبان ماه ۸۴ برابر با ۱/۸۷ درصد و برای روش شبکه های عصبی برابر با ۱/۵ درصد گردید. بنابراین از نظر میانگین قدر مطلق درصد خطای پیش بینی نیز روش شبکه های عصبی میانگین خطای کمتری نشان می دهد. ولی با دقت در مراحل پیش بینی دو روش مشخص می شود که زمان لازم برای پیش بینی قیمت در روش شبکه های عصبی به مراتب بیشتر می باشد. این زمان را می توان به دو بخش تقسیم کرد.



شکل ۹- نحوه پیش بینی به روش شبکه های عصبی و سریهای زمانی



شکل ۱۰- خطای پیش بینی روش سریهای زمانی و شبکه های عصبی برای ۱۰۰ ساعت اول آبان ماه ۸۴

۱- زمان لازم برای آموزش شبکه

۲- زمان لازم برای تعیین تعداد لایه ها، نرونهای هر لایه و نرخ یادگیری مطلوب به روش سعی و خطا

در حالی که در روش سریهای زمانی اولاً نیازی به آموزش شبکه نمی باشد و ثانیاً برای تعیین مدل مناسب نیازی به سعی و خطا نمی باشد.

نتیجه‌گیری

در این مقاله روش شبکه های عصبی برای پیش بینی قیمت انرژی الکتریکی مورد مطالعه قرار گرفته است. همچنین این روش با روش سریهای زمانی مقایسه شده است. برای بررسی تاثیر بار مصرفی در پیش بینی قیمت، این روش در دو حالت بررسی شده است. در حالت اول شبکه فقط با داده های قیمت انرژی الکتریکی آموزش می بیند و در حالت دوم از داده های بار مصرفی و قیمت انرژی الکتریکی جهت آموزش استفاده شده است. شبکه عصبی مورد استفاده، شبکه عصبی پس انتشار دو لایه، با یک نرون در لایه خروجی و تابع فعال ساز خطی می باشد. بررسی نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که استفاده از داده های بار مصرفی برای کاهش خطای پیش بینی قیمت، نتیجه مطلوبی در بر ندارد. علت اینست که داده های قیمت خود شامل اطلاعات بار می‌باشد. نتایج بدست آمده از مقایسه دو روش شبکه های عصبی و سریهای زمانی در بازار برق ایران نشان می‌دهد که روش شبکه های عصبی خطای پیش بینی کمتری نسبت به روش سریهای زمانی دارد. ولی زمان بیشتری برای پیش بینی نیاز دارد. در روش شبکه های عصبی برای پیش بینی باید شبکه با داده های گذشته آموزش داده شود. سپس با استفاده از شبکه آموزش داده شده و داده های ورودی جدید پیش بینی انجام شود. یعنی پیش بینی در دو مرحله صورت می گیرد. ثانیاً برای تعیین تعداد لایه ها، نرونهای هر لایه و نرخ یادگیری مطلوب روش سعی و خطا اعمال می شود که اینکار نیاز به زمان محاسبه زیادی دارد. در حالی که در روش سریهای زمانی پیش بینی در یک مرحله صورت می گیرد و نیازی به آموزش ندارد. همچنین برای تعیین مدل مناسب نیازی به سعی و خطا نمی باشد بنابراین زمان محاسبه کمتری دارد. در نتیجه معقول به نظر می رسد که برای پیش بینی قیمت انرژی الکتریکی بازار برق ایران از روش سریهای زمانی استفاده شود. نهایتاً می توان نتیجه گرفت که چنانچه دقت برای ما اهمیت بیشتری داشته باشد و سرعت پیش بینی مهم نباشد استفاده از شبکه های عصبی مناسبتر است. ولی چنانچه سرعت پیش بینی مهم باشد و دقت خیلی مهم نباشد استفاده از سریهای زمانی توصیه می گردد.

مراجع

[۱] احد اسماعیلی کلالق، مجید علومی بایگی، سید محمد رضا رفیعی،" پیش بینی قیمت خرید انرژی در بازار برق ایران "، بیست و یکمین کنفرانس بین المللی برق ، PSC 2006

[۲] M. Shahidehpour and M. Alomoush, *Restructured Electrical Power Systems*, Marcel Dekker Publishers, June 2001.

[۳] E. Hrist, and B. Kirby, “Creating competitive markets for ancillary services”, ORNL/Con-448, Oak Ridge National Laboratory, Oka Ridge, TN, October 1997 .

[۴] A. J. Conejo, J. Conteras, J. M. Arroyo, and de la S. Torre, “Optimal response of an oligopolistic generating company to a competitive pool-based electric power market”, IEEE Trans. Power Syst., to be published .

[۵] B. O. Gross, and F. D. Galiana, “Short-term load forecasting”, Proc. IEEE, Vol.75, No.12, pp.1558-1573, Dec. 1987.

[۶] M. T. Hagan, and S. M. Behr, “The time series approach to short term load forecasting”, IEEE Trans. Power Syst, Vol.2, pp.785-791, Aug. 1987.

[۷] J. Contreras, R. Espinola, F. J. Nogales, and A. J. Conejo, “ARIMA models to predict next-day electricity prices”, IEEE Trans. on Power Syst., Vol.18, No.3, Aug. 2003, pp.1014 – 1020.

[۸] H. S. Hippert, C. E. Pedreira, and R. C. Souza, “Neural networks for short-term load forecasting: A review and evaluation”, IEEE Trans. Power Syst., Vol.16, pp.44-55, Feb.2001.

[۹] B. Ramsay, and A. J. Wang, “A neural networks based estimator for electricity spot-pricing with particular reference to weekend and public holidays”, Neurocomputing, Vol.23, pp.47-57, 1998.

[۱۰] B. R. Szuta, L. A. Sanabria, and T. S. Dillon, “Electricity price short-term forecasting using artifical neural networks”, IEEE Trans.Power Syst., Vol.14, pp851-857, Aug.1999.

[۱۱] Nicolaisen, J. D., Richter Jr, C. W., Sheble, G. B., “Price signal analysys for competitive electric generation companies,” Proc. Conf. Elect. Utility Deregulation and Restructing and Power Technologies, London, U.K., Apr.4-7, 2000, pp.66-71.

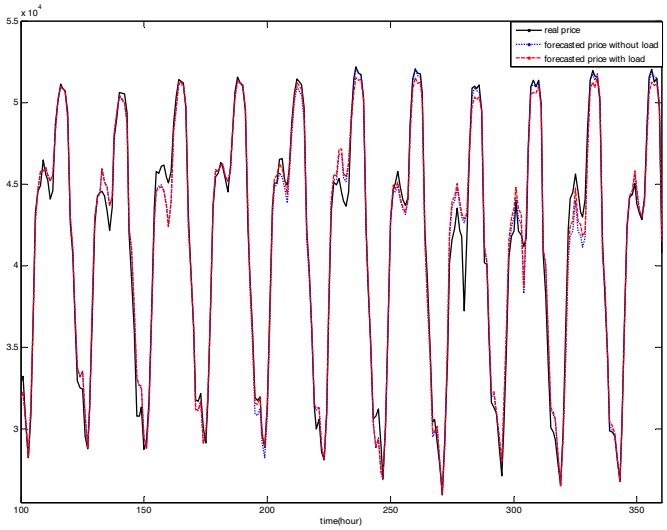
[۱۲] امیر احمری نژاد، حبیب رجبی مشهدی، جواد ساده، " بررسی و تحلیل پیش بینی پذیری قیمت در بازارهای رقابتی انرژی الکتریکی" ، نوزدهمین کنفرانس بین المللی برق ، PSC 2004

پیوست

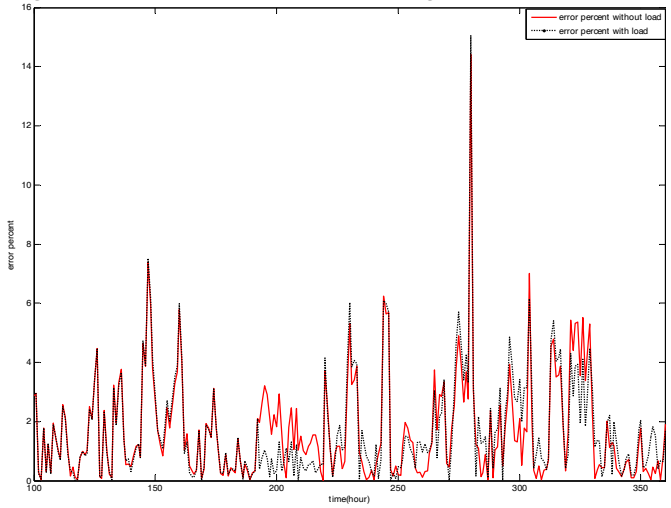
در جدول زیر ۴۸ داده اول مهر ماه ۸۴ مربوط به بـار مصـرفی بر حسب مگا وات ساعت و قیمت انرژی الکتریکی بر حسب ریال بر مگا وات ساعت آورده شده است.

جدول ۱ – داده های بار و قیمت انرژی الکتریکی بازار برق ایران

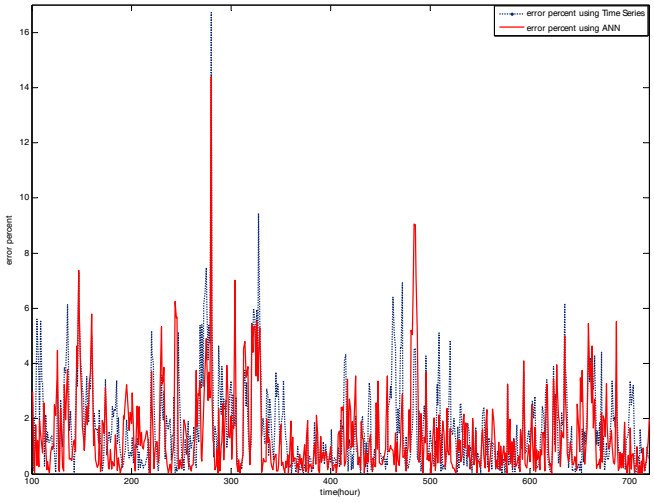
تاریخ	قیمت انرژی بر حسب Rial/MWh	بار مصرفی بر حسب MWh
۸۴/۷/۱ ساعت ۱	47315	21049
۸۴/۷/۱ ساعت ۲	45622	20085
۸۴/۷/۱ ساعت ۳	44112	19615
۸۴/۷/۱ ساعت ۴	42898	19140
۸۴/۷/۱ ساعت ۵	41747	18893
۸۴/۷/۱ ساعت ۶	40083	18069
۸۴/۷/۱ ساعت ۷	36967	17057
۸۴/۷/۱ ساعت ۸	39773	17329
۸۴/۷/۱ ساعت ۹	43920	17935
۸۴/۷/۱ ساعت ۱۰	47170	18795
۸۴/۷/۱ ساعت ۱۱	48866	19493
۸۴/۷/۱ ساعت ۱۲	49348	20107
۸۴/۷/۱ ساعت ۱۳	49966	20710
۸۴/۷/۱ ساعت ۱۴	49992	21194
۸۴/۷/۱ ساعت ۱۵	50029	21087
۸۴/۷/۱ ساعت ۱۶	49735	20878
۸۴/۷/۱ ساعت ۱۷	48603	20225
۸۴/۷/۱ ساعت ۱۸	47842	19771
۸۴/۷/۱ ساعت ۱۹	49004	22856
۸۴/۷/۱ ساعت ۲۰	51339	25605
۸۴/۷/۱ ساعت ۲۱	52042	25450
۸۴/۷/۱ ساعت ۲۲	52207	24690
۸۴/۷/۱ ساعت ۲۳	51502	23436
۸۴/۷/۱ ساعت ۲۴	46869	21672
۸۴/۷/۲ ساعت ۱	45147	21944
۸۴/۷/۲ ساعت ۲	43276	20772
۸۴/۷/۲ ساعت ۳	42267	20096
۸۴/۷/۲ ساعت ۴	41394	19612
۸۴/۷/۲ ساعت ۵	40218	19529
۸۴/۷/۲ ساعت ۶	39188	19204
۸۴/۷/۲ ساعت ۷	36726	18211
۸۴/۷/۲ ساعت ۸	39428	18808
۸۴/۷/۲ ساعت ۹	44427	20701
۸۴/۷/۲ ساعت ۱۰	46922	21408
۸۴/۷/۲ ساعت ۱۱	47711	22152
۸۴/۷/۲ ساعت ۱۲	48406	22858
۸۴/۷/۲ ساعت ۱۳	48987	23073
۸۴/۷/۲ ساعت ۱۴	48963	23553
۸۴/۷/۲ ساعت ۱۵	49171	23651
۸۴/۷/۲ ساعت ۱۶	49201	23364
۸۴/۷/۲ ساعت ۱۷	48824	22689
۸۴/۷/۲ ساعت ۱۸	47928	22708
۸۴/۷/۲ ساعت ۱۹	48135	26289
۸۴/۷/۲ ساعت ۲۰	49486	27888
۸۴/۷/۲ ساعت ۲۱	50025	27127
۸۴/۷/۲ ساعت ۲۲	49586	26370
۸۴/۷/۲ ساعت ۲۳	49501	24639
۸۴/۷/۲ ساعت ۲۴	45375	22743



شکل ۱ – ادامه منحنی پیش بینی قیمت انرژی الکتریکی آبان ماه ۸۴ در دو حالت با و بدون در نظر گرفتن بار به عنوان ورودی همراه با قیمت واقعی



شکل ۲ – ادامه منحنی درصد خطای پیش بینی قیمت انرژی الکتریکی آبان ماه ۸۴ در دو حالت با و بدون در نظر گرفتن بار به عنوان ورودی



شکل ۳ – ادامه منحنی خطای پیش بینی قیمت انرژی الکتریکی با روش سریهای زمانی و شبکه های عصبی برای آبان ماه ۸۴