کمینه‌سازی هزینه خرید برق از بازار برق با اعمال یک الگوریتم کاربردی به پیش‌بینی نیاز مصرف

مهدی علومی بایگی me_oloomi@yahoo.com
مصطفی رجبی مشهدی mrajabim@yahoo.com
حمید موسوی hamidmousavi@hotmail.com
غلامرضا غلامی زه‌آب gholami_ziuv@yahoo.com
دفتر بازار برق
شرکت برق منطقه‌ای خراسان

با حمایت واحد تحقیقات شرکت توزیع نیروی برق استان خراسان رضوی

کلمات کلیدی: پیش‌بینی نیاز مصرف ، جریمه آزمون ناموفق مصرف، بازه بهینه پیش‌بینی نیاز مصرف، قدرت درخواستی، انرژی مصرفی ، هزینه خرید برق

چکیده

یکی از وظایف آتی شرکتهای توزیع پس از راه‌اندازی بازار خرده‌فروشی خرید انرژی الکتریکی مورد نیاز محدوده خود از بازار عمده‌فروشی یا برق منطقه‌ای است. انرژی الکتریکی مورد نیاز هر شرکت باید از بازار برق خریداری شود و خریدار بابت خرید برق باید هزینه‌های مربوطه که عبارتند از قدرت درخواستی، انرژی مصرفی و جریمه آزمون ناموفق مصرف را پرداخت نماید. پروسه خرید بدین صورت است که خریدارن برق مورد نیاز خود را روز قبل از مصرف پیش‌بینی نموده و برای بازار برق ارسال می‌نمایند. روشهای بسیاری برای پیش‌بینی نیاز مصرف وجود دارد. پیش‌بینی نادرست نیاز مصرف باعث افزایش هزینه خرید انرژی الکتریکی می‌گردد. در این مقاله یک الگوریتم ابتکاری و کاربردی ارائه شده است که با اعمال آن به برنامه پیش‌بینی نیاز مصرف منجر به کاهش جریمه آزمون ناموفق مصرف و هزینه‌های قدرت درخواستی خواهد شد. الگوریتم ارائه شده بازه مجاز و بهینه خطا را شناسایی نموده و با توجه به این بازه، پیش‌بینی اولیه را بگونه‌ای تصحیح می‌نماید که احتمال افزایش متوسط قدرمطلق خطا از حد مجاز کاهش یابد. در این مقاله الگوریتم پیشنهادی به شبکه برق خراسان به عنوان یک شرکت خریدار اعمال شده و نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که استفاده از این الگوریتم هزینه متوسط خرید برق را کمینه خواهد نمود.

۱- مقدمه

قبل از ایجاد تجدید ساختار در صنعت برق کشور، پیش‌بینی بار برای کل کشور انجام شده و سپس با توجه به نتایج بدست آمده از این پیش‌بینی, شبکه مورد بهره‌برداری قرار می‌گرفت. در ساختار سنتی پیش‌بینی نادرست عواقب زیر را به دنبال دارد.: ۱) پیش‌بینی بیشتر از نیاز مصرف منجر به زیاد شدن رزرو گردان و درنتیجه هزینه‌های مرتبط با آن می‌گردد ۲) پیش‌بینی کمتر از نیاز مصرف منجر به افت فرکانس، ناپایداری شبکه و در مدار قرار دادن واحدهای خاموش و هزینه‌های مرتبط با آن می‌گردد.

پس از تجدید ساختار در صنعت برق کشور, پیش‌بینی نیاز مصرف ساعتی توسط شرکتهای برق منطقه‌ای انجام شده و به تبع شفاف‌سازی هزینه‌ها، پیش‌بینی نادرست نیاز مصرف باعث می‌شود که شرکتهای برق منطقه‌ای جریمه گردند.

در آینده و با راه‌اندازی بازار خرده‌فروشی پیش‌بینی نیاز مصرف توسط شرکتهای توزیع انجام خواهد شد و عواقب پیش‌بینی نادرست متوجه این شرکتها خواهد بود.

روشهای متفاوتی برای پیش‌بینی کوتاه مدت بار وجود دارد [۱]، روشهای ابتدایی عموما بر پایه روشهای آماری و با توجه به منحنی بار روزانه استوار است [۲][۳][۴]، اما در سالهای اخیر پیش‌بینی کوتاه مدت بار، بیشتر با روشهای هوش مصنوعی انجام شده که از جمله آنها می‌توان به شبکه عصبی [۵]، فازی- عصبی تطبیقی [۶] و عصبی– فازی [۷] اشاره نمود. هدف از ارائه این مقاله پیش‌بینی نیاز مصرف نیست بلکه هدف کاهش یا بهینه نمودن هزینه‌های خرید برق از بازار برق است. در نگاه اول ممکن است تصور شود که پیش‌بینی نیاز مصرف با خطای کم، هزینه خرید برق را حداقل می‌نماید اما قوانین حاکم بر بازار برق ایران [۸] بگونه‌ای تدوین شده که پیش‌بینی با خطای کم تنها پارامتر کاهش هزینه‌های خرید برق نمی‌باشد. به عبارت دیگر مطابق قوانین بازار برق ایران پیش‌بینی کمتر یا بیشتر از نیاز مصرف به خریدارن هزینه‌های متفاوتی را تحمیل می‌نماید. از اینرو این مقاله با هدف کاهش هزینه‌های خرید برق تدوین شده است و برای این منظور در بخش دوم پس از بررسی نحوه خرید برق در بازار برق، عوامل موثر در کاهش هزینه‌های خرید برق در بخش سوم شناسایی شده و در بخش چهارم راهکارها و الگوریتم پیشنهادی ارائه گردیده است و در پایان به نتایج بدست آمده از اعمال این الگوریتم به شبکه خراسان اشاره شده است.

۲- نحوه خرید برق در بازار برق ایران

پس از راه‌اندازی بازار خرده‌فروشی، شرکتهای توزیع بایستی برق مصرفی خود را از بازار برق مطابق رویه‌های بازار برق ایران [۱۰][۱۱] خریداری نمایند. برای خرید انرژی الکتریکی مصرفی هر منطقه، شرکت توزیع مربوطه باید نیاز مصرف خود را بصورت ساعتی برای سه روز آینده، پیش‌بینی و ارسال نمایند. همچنین شرکتهای توزیع می‌توانند تا ساعت ۱۰ روز قبل از بازار پیش‌بینی خود را تصحیح نمایند. پس از سپری شدن روز بازار و تعیین مصرف واقعی انرژی، شرکت توزیع باید مبلغ C ریال بابت مصرف انرژی الکتریکی پرداخت نماید که از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$C = \sum_{i=1}^{24} \left(cp_r(i) + cu_e(i) + cp(i) \right) \qquad (۱)$$

که در این رابطه:

C مبلغ قابل پرداخت بابت مصرف انرژی الکتریکی روزانه

$cp_r(i)$ مبلغ قدرت درخواستی ساعت iام

$cu_e(i)$ مبلغ انرژی مصرفی ساعت iام

$cp(i)$ مبلغ جریمه آزمون ناموفق مصرف ساعت iام

همچنان که در رابطه (۱) مشاهده می‌شود، هزینه مصرف انرژی به سه پارامتر قدرت درخواستی، انرژی مصرفی و جریمه آزمون ناموفق مصرف وابسته است. در بخشهای بعد هر یک از این پارامترها تعریف شده و به نقش آنها در خرید انرژی الکتریکی اشاره شده است.

۲-۱) قدرت درخواستی

برای خرید برق، باید انرژی الکتریکی مورد نیاز قبل از مصرف از بازار برق درخواست شود و خریدار باید هزینه‌های مربوط به قدرت درخواست شده را پرداخت نماید (چه این انرژی مصرف شود و چه مصرف نشود). قدرت درخواستی در هر ساعت بصورت ماکزیمم " نیاز مصرف پیش‌بینی شده" و "انرژی مصرف" طبق رابطه زیر تعریف می‌شود.

$$p_r(i) = Max\left(lf(i), u_e(i) \right) \qquad (۲)$$

که در این رابطه:

$p_r(i)$ قدرت درخواستی ساعت iام

$lf(i)$ نیاز مصرف پیش‌بینی شده برای ساعت iام

$u_e(i)$ مصرف ساعت iام

هزینه‌ای که باید بابت قدرت درخواستی در ساعت iام توسط خریدار به بازار برق پرداخت گردد از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$cp_r(i) = p_r(i) \times c_r(i) \qquad (۳)$$

که:

$c_r(i)$ نرخ قدرت درخواستی ساعت iام

۲-۲) انرژی مصرفی

یکی دیگر از پارامترهای موثر در محاسبه هزینه خرید برق انرژی مصرفی است که در رابطه (۱) به آن اشاره شده است. خریدار علاوه براینکه هزینه‌های مربوط به قدرت درخواستی را باید پرداخت نماید، هزینه‌های مربوطه به انرژی مصرفی را نیز باید پرداخت نماید. هزینه‌ای که باید بابت انرژی مصرفی پرداخت شود از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$cu_e(i) = u_e(i) \times c_e(i) \qquad (۴)$$

که در این رابطه:

$u_e(i)$ انرژی مصرفی در ساعت iام

$c_e(i)$ نرخ انرژی مصرفی در ساعت iام

۲-۳) جریمه آزمون ناموفق مصرف

در صورت اختلاف پیش‌بینی نیاز مصرف هر ساعت با مصرف واقعی، خریدار مشمول پرداخت جریمه آزمون ناموفق مصرف می‌گردد، چرا که تولیدکننده به اندازه نیاز مصرف پیش‌بینی شده هزینه نموده است. برای محاسبه جریمه، درصد خطای پیش‌بینی نیاز مصرف برای ساعت iام بصورت زیر تعریف شده است.

$$e(i)\% = \frac{u_e(i) - lf(i)}{u_e(i)} \times 100 \qquad (۶)$$

در صورتی که قدرمطلق خطای پیش‌بینی نیاز مصرف هر ساعت بیشتر از مقدار مجاز باشد خریدار مشمول پرداخت خسارت می‌شود. مقدار مجاز قدرمطلق خطای پیش‌بینی نیاز مصرف هر ساعت در بازار برق ایران عبارتند از:

الف) در ساعات پیک ۲٪ برای هر ساعت

ب) در ساعات عادی ۵٪ برای هر ساعت

ج) در ساعات کم باری ۱۰٪ برای هر ساعت

مبلغ جریمه آزمون ناموفق مصرف از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$cp(i) = \begin{cases} \left(u_e(i) - lf(i)\right)\left(Max\left(cg\left(i, j_1\right)_{j1=1,2,\ldots T_g}\right) - p_a(i)\right) \\ \qquad if \quad u_e(i) \succ lf(i) \\ \left(lf(i) - u_e(i)\right)\left(Max\left(cg\left(i, j_1\right)_{j1=1,2,\ldots T_g}\right) - p_f\right) \\ \qquad if \quad u_e(i) \prec lf(i) \end{cases} \qquad (۷)$$

که در این رابطه:

$p_a(i)$ قیمت متوسط موزون پذیرفته شده ساعت iام

p_f قیمت سوخت (متوسط کشور)

از طرفی اگر متوسط قدرمطلق خطای پیش‌بینی نیاز مصرف از حد مجاز بیشتر گردد خریداران مشمول پرداخت جریمه در همه ساعات می‌گردند. مقدار مجاز متوسط قدرمطلق خطای پیش‌بینی نیاز مصرف در بازار برق ایران عبارتند از:

الف) ۱٪ برای متوسط قدر مطلق خطا ساعات پیک

ب) ۲٪ برای متوسط قدر مطلق ساعات عادی

ج) ۳٪ برای متوسط قدر مطلق ساعات کم باری

در صورت رخداد حادثه در شبکه و بروز خاموشی یا افت فرکانس به دلایل کمبود تولید و یا حوادث ناشی از سهل‌انگاری و بهره‌برداری نادرست خریدارن، نیاز مصرف بصورت زیر محاسبه می‌شود.

$$u_r(i) = u_e(i) + u_d(i) + u_f(i) \qquad (۸)$$

که در این رابطه:

$u_d(i)$ خاموشی در ساعت iام

$u_f(i)$ معادل افت فرکانس در ساعت iام

خطای پیش‌بینی نیاز مصرف هر ساعت از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$e(i)\% = \frac{u_r(i) - lf(i)}{u_r(i)} \times 100 \qquad (۹)$$

در این حالت اگر قدرمطلق خطای پیش‌بینی نیاز مصرف بیشتر از مقدار مجاز خطا باشد، در فرمولهای خطا به جای مصرف مقدار نیاز مصرف قرار خواهد گرفت.

۳- عوامل موثر در کاهش هزینه‌های خرید برق

با توجه به توضیحات ارائه شده در بخش قبل می‌توان دریافت که وجود خطای زیاد در پیش‌بینی نیاز مصرف می‌تواند باعث

افزایش هزینه خرید انرژی الکتریکی از بازار برق گردد. چرا که پیش‌بینی نادرست علاوه بر اینکه شرکت خریدار را مشمول پرداخت جریمه آزمون ناموفق مصرف می‌کند ممکن است باعث افزایش هزینه قدرت درخواستی گردد. در این بخش ابتدا تاثیر نحوه پیش‌بینی نیاز مصرف مصرف بر جریمه آزمون ناموفق مصرف و سپس قدرت درخواستی بررسی خواهد شد

۳-۱. تاثیر پیش‌بینی بر جریمه آزمون ناموفق مصرف

برای بررسی تاثیر پیش‌بینی نیاز مصرف بر جریمه آزمون ناموفق مصرف با توجه به رابطه (۷) ملاحظه می‌شود که اگر پیش‌بینی نیاز مصرف بیش‌تر یا کمتر از مقدار مصرف باشد این پیش‌بینی بر مبلغ جریمه آزمون ناموفق مصرف تاثیرگذار است.

در حقیقت طبق رابطه (۷) نرخ جریمه آزمون ناموفق مصرف در حالتی که پیش‌بینی بیش از نیاز مصرف است برابر با $Max\left(cg(i,j1)\right|_{j1=1,2,...T_g}\right)- p_f$ خواهد بود. با توجه به اینکه در وضعیت کنونی بازار برق $Max\left(cg(i,j1)\right|_{j1=1,2,...T_g}\right)= 54000 \quad R/Mwh$ و قیمت سوخت نیز ثابت ($p_f = 9046 \quad R/Mwh$) است، نرخ جریمه آزمون ناموفق مصرف در حالتی که مقدار پیش‌بینی نیاز مصرف بیش از مصرف باشد برابر $Max\left(cg(i,j1)\right|_{j1=1,2,...T_g}\right)- p_f = 44954 \quad R/Mwh$ خواهد بود.

از طرفی نرخ جریمه آزمون ناموفق مصرف اگر پیش‌بینی نیاز مصرف کمتر از مصرف باشد برابر با $Max\left(cg(i,j1)\right|_{j1=1,2,...T_g}\right)- p_a(i)$ است ، که $Max\left(cg(i,j1)\right|_{j1=1,2,...T_g}\right)= 54000 \quad R/Mwh$ و با بررسی های آماری انجام شده در وضعیت کنونی بازار برق قیمت متوسط موزون پذیرفته شده در ساعت کم بار بین $p_f = 23000 \quad R/Mwh$ و $p_f = 46000 \quad R/Mwh$ ، در ساعت عادی بین $p_f = 31000 \quad R/Mwh$ و $p_f = 51000 \quad R/Mwh$ و در ساعت پیک بین $p_f = 39000 \quad R/Mwh$ و $p_f = 52000 \quad R/Mwh$ متغیر است. بنابراین نرخ جریمه آزمون ناموفق مصرف در بهترین و بدترین حالت طبق جدول زیر خواهد بود.

جدول (۱). نرخ جریمه در ساعت مختلف

ساعات	حداقل قیمت متوسط موزون در وضعیت فعلی (ریال)	حداقل قیمت متوسط موزون در وضعیت فعلی (ریال)	حداکثر نرخ جریمه (ریال)	حداقل نرخ جریمه (ریال)
کم باری	۲۳۰۰۰	۴۶۰۰۰	۳۱۰۰۰	۸۰۰۰
عادی	۳۱۰۰۰	۵۱۰۰۰	۲۳۰۰۰	۳۰۰۰
پیک	۳۹۰۰۰	۵۲۰۰۰	۱۵۰۰۰	۲۰۰۰

با توجه به مطالب ذکر شده می‌توان نتیجه گرفت که نرخ جریمه آزمون ناموفق مصرف در حالتی که پیش‌بینی نیاز مصرف بیش از مصرف است خیلی بیشتر از نرخ جریمه آزمون ناموفق مصرف در حالتی است که پیش‌بینی نیاز مصرف کمتر از مصرف باشد. برای روشن‌تر شدن موضوع مطلب را با یک مثال پیگیری می‌نماییم.

مثال ۱.

فرض کنید که پیش‌بینی نیاز مصرف یک ساعت خاص در ساعات کم باری ۱۷۵۰ مگاوات‌ساعت و مصرف ۱۵۰۰ مگاوات‌ساعت باشد در این صورت درصد قدرمطلق خطا $\left|\frac{1500-1750}{1500}\times 100\right| = \left|-16.6\%\right| = 16.6\%$ خواهد بود از طرفی اگر پیش‌بینی نیاز مصرف همان ساعت خاص ۱۲۵۰ مگاوات‌ساعت باشد درصد قدرمطلق خطا همان مقدار یعنی $\left|\frac{1500-1250}{1500}\times 100\right| = \left|16.6\%\right| = 16.6\%$ خواهد بود. مبلغ جریمه آزمون ناموفق مصرف این مثال در جدول زیر خلاصه شده است.

جدول (۲). جریمه و نرخ جریمه مثال (۱)

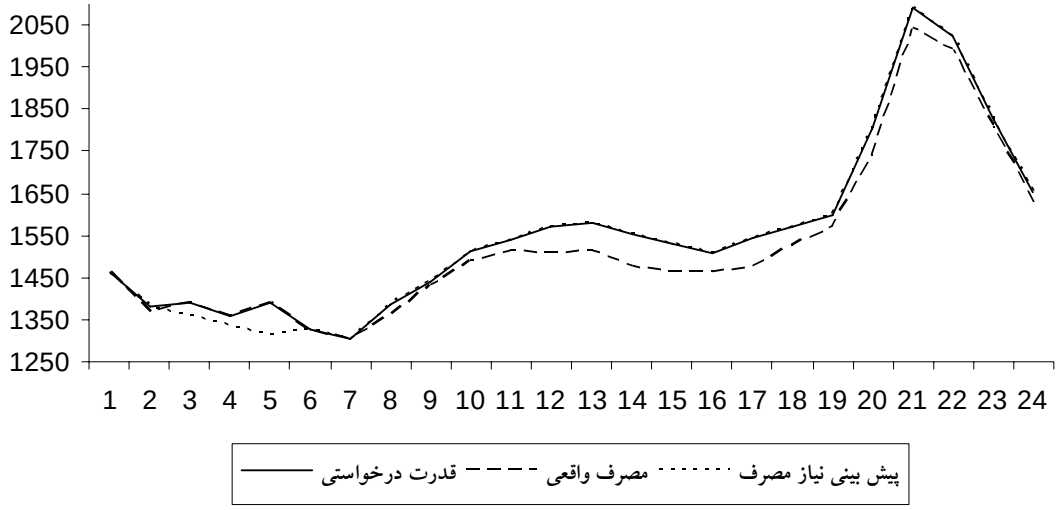
جریمه (ریال)	نرخ جریمه (ریال)	اختلاف (مگاوات)	
۱۱۲۳۸۵۰۰	۴۴۹۵۴	۲۵۰	پیش‌بینی □ مصرف
۷۷۵۰۰۰۰	۳۱۰۰۰	۲۵۰	پیش‌بینی □ مصرف
۲۰۰۰۰۰	۸۰۰۰	۲۵۰	پیش‌بینی □ مصرف

همچنان که در جدول بالا مشاهده می‌شود در صورتی که پیش‌بینی نیاز مصرف کمتر از مصرف باشد جریمه آزمون ناموفق مصرف بین ۲۰۰ هزار ریال تا ۷/۷۵ میلیون ریال خواهد بود در صورتی که اگر پیش‌بینی بیشتر از مصرف باشد جریمه ۱۱/۲ میلیون ریال خواهد بود به عبارت دیگر در صورتی که پیش‌بینی بیش از مصرف باشد جریمه ۱/۴۵ تا ۵۶ برابر بیشتر از حالتی است که پیش‌بینی کمتر از مصرف باشد.

توجه به این مسئله از دید دیگر نیز قابل بررسی است. فرض کنید پیش‌بینی نیاز مصرف برای ساعات کم باری بگونه‌ای باشد که خطای پیش‌بینی نیاز مصرف ۱۰- درصد گردد در این صورت جریمه آزمون ناموفق مصرف برابر ۷/۵ میلیون ریال خواهد بود. حال اگر پیش‌بینی نیاز مصرف کمتر از مصرف باشد برای این که مبلغ جریمه ۷/۵ میلیون شود (با توجه به قیمت برق) خطای باید بین ۱۶٪ و ۶۲٪ باشد.

۳-۲. تاثیر پیش‌بینی بر قدرت درخواستی

طبق رابطه (۲) قدرت درخواستی از ماکزیمم "پیش‌بینی نیاز مصرف" و "نیاز مصرف" بدست می‌آید. شکل (۱) قدرت درخواستی برای یک نمونه واقعی را نشان می‌دهد.



شکل(۱). نمونه‌ای از قدرت درخواستی برای یک روز خاص

با توجه به توضیحات ارائه شده در صورتی که پیش‌بینی نیاز مصرف بیش از مصرف باشد قدرت درخواستی برابر با مقدار پیش‌بینی خواهد بود و در صورتی که پیش‌بینی کمتر از مصرف باشد، قدرت درخواستی برابر میزان مصرف انرژی واقعی خواهد بود. بنابراین به ازای هر یک درصد افزایش پیش‌بینی نیاز مصرف از مصرف واقعی، قدرت درخواستی نیز یک درصد افزایش می‌یابد که این امر باعث افزایش هزینه خرید انرژی الکتریکی می‌گردد.

۴- راهکارها

با توجه به مطالب ذکر شده در بخش قبل خریداران انرژی الکتریکی سعی می‌کنند، پیش‌بینی نیاز مصرف خود را تا حد امکان کمتر از مقدار واقعی اعلام نمایند. چرا که این امر علاوه بر اینکه خریداران را از حداقل شدن قدرت درخواستی مطمئن می‌کند، در صورت جریمه شدن نرخ جریمه کمتر از حالتی است که پیش‌بینی بیشتر از مصرف واقعی باشد. اما باید

توجه داشت که پیش‌بینی کمتر از نیاز مصرف نیز پیامدهای زیر را بدنبال خواهد داشت.

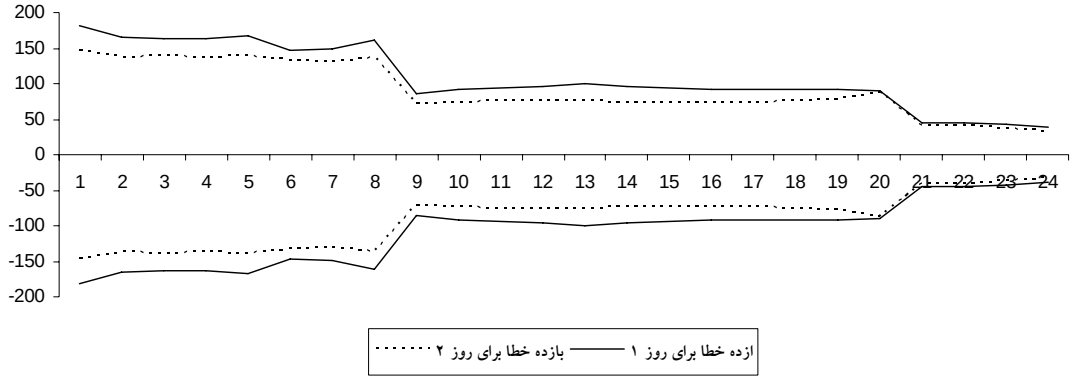
۱-افزایش احتمال جریمه شدن بدلیل افزایش قدرمطلق خطا

۲-افزایش احتمال جریمه شدن بدلیل افزایش متوسط قدرمطلق خطا

۳-افزایش شاخص جریمه خطای پیش‌بینی نیاز مصرف و نیاز مصرف واقعی شرکت برق منطقه‌ای

جهت کاهش این پیامدها لازم است برای پیش‌بینی نیاز مصرف کمتر از مصرف تدابیری اندیشیده شود تا اثرات این عواقب کاهش یابد.

از رابطه (۶) می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش مصرف بازه مجاز برای پیش‌بینی نیاز مصرف افزایش می‌یابد به عنوان مثال اگر مصرف در یک ساعت خاص ۱۵۰۰ مگاواتساعت باشد در این صورت برای اینکه خریدار مشمول جریمه آزمون ناموفق مصرف نگردد باید پیش‌بینی نیاز مصرف بین ۱۴۷۰ تا ۱۵۳۰ مگاواتساعت باشد یعنی میزان خطای پیش‌بینی از نیاز مصرف می‌تواند ۳۰ مگاواتساعت باشد اما اگر مصرف ۲۵۰۰ مگاواتساعت باشد برای اینکه خریدار مشمول پرداخت جریمه آزمون ناموفق مصرف نگردد باید نیاز مصرف را بین ۲۴۵۰ تا ۲۵۵۰ مگاواتساعت پیش‌بینی نمود، یعنی میزان خطای پیش‌بینی از نیاز مصرف می‌تواند ۵۰ مگاواتساعت باشد برای وضوح بهتر مقدار خطای پیش‌بینی از نیاز مصرف برای دو روز مختلف که دارای مصرف متفاوت است در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل (۲). مقایسه بازه خطا برای دو روز مختلف

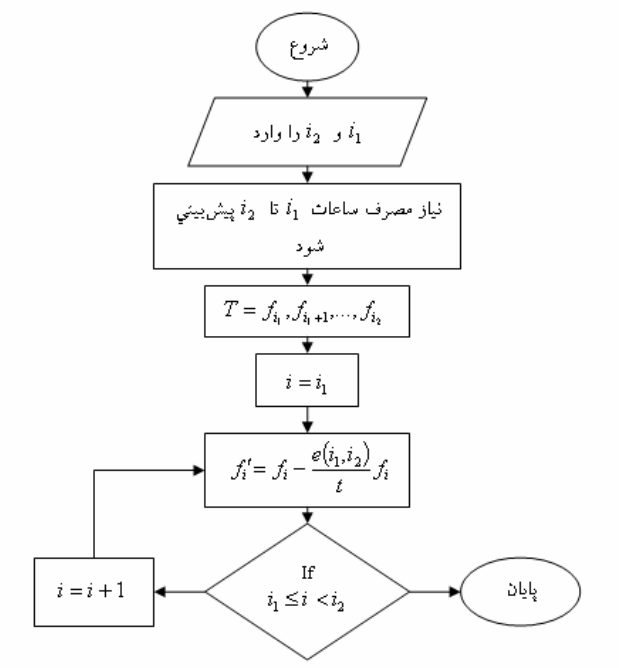
همانطور که ملاحظه می‌شود. برای کاهش هزینه خرید انرژی الکتریکی بهتر است پیش‌بینی نیاز مصرف کمتر از میزانی باشد که امکان مصرف آن وجود دارد. اما نکته مهم این است که نیاز مصرف چه مقدار کمتر پیش‌بینی شود. برای این منظور لازم است به این نکته توجه داشت که در صورت تجاوز متوسط قدر مطلق خطا از حد مجاز، خریداران مشمول پرداخت جریمه می‌گردند.

از اینرو پیش‌بینی نیاز مصرف باید بگونه‌ای باشد که اولا خریدار مشمول پرداخت جریمه برای افزایش متوسط خطای از مقدار مجاز نگردد و ثانیا در ساعاتی که مصرف بیشتر است، خریدار با توجه به افزایش بازه مجاز خطا، آزادی بیشتری در پیش‌بینی نیاز مصرف دارد.

با توجه به نکات ذکر شده این ایده در ذهن القا می‌شود که برای پیش‌بینی کمتر در هر ساعت باید به مصرف و حد مجاز متوسط خطا توجه داشت.

در ادامه الگوریتم پیشنهادی برای تصحیح پیش‌بینی نیاز مصرف ارائه شده است. همچنان که ذکر شد پیش‌بینی اولیه باید تصحیح و مقدار آن کمتر از میزانی باشد که امکان مصرف آن وجود دارد تا قسمتی از هزینه خرید انرژی الکتریکی کاهش یابد. الگوریتم پیشنهادی میزان کاهش در پیش‌بینی نیاز مصرف را با توجه به پارامترهای مصرف پیش‌بینی شده و حد مجاز متوسط خطا انجام می‌دهد. بنابراین پیشنهاد معقول این است که کاهش پیش‌بینی بصورتی انجام شود که اولا در صورت پیش‌بینی دقیق اولیه خریدار مشمول پرداخت جریمه از بابت افزایش متوسط خطا از حد مجاز نگردد و ثانیا چون بازه

مجاز خطا متناسب با افزایش مصرف افزایش می‌یابد در ساعاتی که مصرف بیشتر پیش‌بینی می‌شود کاهش پیش‌بینی نیاز مصرف بیشتر از ساعاتی باشد که مصرف کمتر پیش‌بینی می‌شود. الگوریتم پیشنهادی در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل(۳). الگوریتم پیشنهادی برای پیش‌بینی کمتر از نیاز مصرف

در این الگوریتم i_1 و i_2 ساعاتی را نشان می‌دهد که پیش‌بینی بین این دو ساعت تصحیح خواهد شد. $f_{i_1}, f_{i_1+1}, \ldots, f_{i_2}$ پیش‌بینی اولیه نیاز مصرف در ساعات i_1 تا i_2 و $f'_{i_1}, f'_{i_1+1}, \ldots, f'_{i_2}$ پیش‌بینی نهایی و کاهش یافته برای ساعات i_1 تا i_2 را نشان می‌دهد. $e(i_1,i_2)$ حد مجاز متوسط قدرمطلق خطا است که در ساعات کم باری، عادی و پیک متفاوت است.

الگوریتم پیشنهادی به شبکه برق خراسان اعمال شده است و نتایج بدست آمده در جداول ضمیمه (۱) و (۲) خلاصه شده است. ضمیمه (۱) مبلغ جریمه آزمون ناموفق مصرف و قدرت درخواستی برای پیش‌بینی اولیه و پیش‌بینی با الگوریتم پیشنهادی (که پیش‌بینی اولیه را تصحیح نموده) برای یک نمونه واقعی را نشان می‌دهد. در این نمونه پیش‌بینی نیاز مصرف اولیه بجز ساعت ۲۰ کمتر از مصرف واقعی بوده است. همچنان که داده‌های جدول ضمیمه (۱) نشان می‌دهد الگوریتم پیشنهادی باعث شده است که مبلغ جریمه آزمون ناموفق مصرف ۷/۸ میلیون ریال افزایش یافته و مبلغ قدرت درخواستی ۳/۹ میلون ریال کاهش یابد، یعنی اعمال این الگوریتم به پیش‌بینی اولیه باعث می‌شود شرکت خریدار مبلغ ۳/۹ میلیون ریال پرداخت اضافه داشته باشد.

ضمیمه (۲) مبلغ جریمه آزمون ناموفق مصرف و قدرت درخواستی برای پیش‌بینی اولیه و پیش‌بینی با الگوریتم پیشنهادی، برای یک نمونه واقعی دیگر را نشان می‌دهد. در این نمونه پیش‌بینی نیاز مصرف اولیه در اکثر ساعات بیش از مصرف واقعی بوده است. همچنان که در جدول این ضمیمه مشاهده می‌شود مبلغ جریمه آزمون ناموفق مصرف ۳۳/۵ میلیون ریال و مبلغ قدرت درخواستی ۵۶/۲ میلیون ریال کاهش یافته است یعنی اعمال این الگوریتم به پیش‌بینی اولیه در مجموع ۸۹/۷ میلیون ریال مبلغ پرداختی بابت خرید انرژی الکتریکی کاهش یافته است.

بررسی جداول ارائه شده در ضمیمه‌های ۱و ۲ نشان می‌دهد که اگر پیش‌بینی نیاز مصرف برابر مصرف باشد اعمال الگوریتم پیشنهادی به این پیش‌بینی شرکت برق منطقه‌ای را مشمول پرداخت جریمه آزمون ناموفق مصرف ننموده و هزینه قدرت درخواستی حداقل مقدار خود خواهد بود، در صورتی که پیش‌بینی نیاز مصرف کمتر از مصرف باشد اعمال الگوریتم

پیشنهادی به پیش‌بینی نیاز مصرف باعث می‌شود که جریمه آزمون ناموفق مصرف کمی افزایش یابد و هزینه قدرت درخواستی تغییری ننماید و اگر پیش‌بینی نیاز مصرف بیشتر از مصرف باشد اعمال الگوریتم پیشنهادی به پیش‌بینی نیاز مصرف باعث می‌شود که جریمه آزمون ناموفق مصرف و هزینه قدرت درخواستی مبلغ قابل توجهی کاهش یابد.

۵- نتیجه‌گیری

پیش‌بینی نیاز مصرف دارای عدم قطعیت بوده و به پارامترهای مختلف وابسته است از اینرو همیشه دارای خطا بوده و این خطا باعث افزایش هزینه خرید انرژی الکتریکی خریداران از بازار برق می‌گردد.

افزایش هزینه خرید انرژی الکتریکی در صورتی که پیش‌بینی نیاز مصرف بیش از مصرف باشد باعث می‌شود جریمه آزمون ناموفق مصرف ۱/۴۵ تا ۵۶ برابر بیش از حالتی باشد که پیش‌بینی کمتر از مصرف است. از طرفی به ازای هر یک درصد افزایش پیش‌بینی نیاز مصرف از مصرف واقعی، قدرت درخواستی نیز یک درصد افزایش می‌یابد که این امر باعث افزایش هزینه خرید انرژی الکتریکی می‌گردد. بنابراین خریداران تمایل به اعلام پیش‌بینی نیاز مصرف کمتر از مصرف واقعی دارند.

در این مقاله با اعمال یک الگوریتم ابتکاری به خروجی برنامه پیش‌بینی نیاز مصرف سعی شده است که هزینه خرید انرژی کمینه گردد. الگوریتم پیشنهادی به شبکه خراسان اعمال شده و صرفا جهت مقایسه دو روز خاص انتخاب و در ضمیمه ۱ و ۲ به آنها اشاره شده است. نتایج نشان می‌دهد که اعمال این الگوریتم به پیش‌بینی نیاز مصرف در حالتی که پیش‌بینی بیش از مصرف واقعی بوده هزینه خرید به میزان قابل توجهی کاهش یافته و در حالتی که پیش‌بینی کمتر از مصرف واقعی بوده اعمال الگوریتم به پیش‌بینی منجر به افزایش جزیی در خرید انرژی از بازار شده است.

الگوریتم استفاده شده در این مقاله بر اساس تعیین بازه مجاز خطا وابسته به میزان مصرف ساعتی و همچنین متوسط قدرمطلق خطا، بهترین گزینه را جهت به حداقل رساندن هزینه خرید انرژی ارائه می‌کند.

این الگوریتم برای کلیه شرکتهای خریدار مانند شرکتهای توزیع کاربرد دارد و به شرایط منطقه وابسته نمی‌باشد.

مراجع

[1]. Murray, F., 1996, forecasting methodologies for electricity supply systems, Dublin: *Ph.D. thesis*, School of Electronic Engineering, Dublin City University, Ireland.

[2]. G.Gross and F.D. Galiana, "Short-term Load Forecasting" Proc IEEE. Vol 75, No. 12, PP 1558-1573, Dec 1987

[3]. E.D. Farmer, M.J. Potton "Development of on Line Load Prediction Techniques with rest From Tails in the South-West Region of the CEGB" Pro. IEEE, Vol. 115, No. 10, PP. 1549-1558, 1968

[4]. J.Toyoda, M.S.Chen, Y.Inoue, " An Application of State Estimation to Short-Term Load Forecasting" Part 1, IEEE Trans on Power App and Syst, Vol. PAS-80, No. 7, PP 1683-1688, 1970

[5]. *Hippert, H.S.; Pedreira, C.E.; Souza, R.C.;*" Neural networks for short-term load forecasting: a review and evaluation", Power Systems, IEEE Transactions on , Volume: 16 , Issue: 1 , Feb 2001 ,Pages:44 – 55.

[۶]. محمودیعقوب‌نژاد "پیش‌بینی بار کوتاه مدت با شبکه‌های فازی-عصبی تطبیقی" پروژه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، آبان ۷۷

[7]. *Ling, S.H.; Leung, F.H.F.; Lam, H.K.; Tam, P.K.S.;*" Short-term electric load forecasting based on a neural fuzzy network", Industrial Electronics, IEEE Transactions on , Volume: 50 , Issue: 6 , Dec. 2003 , Pages:1305 – 1316.

[۹]. آیین نامه تعیین روش نرخ و شرایط خرید و فروش برق در شبکه برق کشور

[۱۰]. "محاسبه جرایم خطای پیش‌بینی نیاز مصرف خریداران برق" رویه شماره ۴، بازار برق ایران

[۱۱]. "اعلام نیاز مصرف خریداران برق" رویه شماره ۳، بازار برق ایران