PSC2009
24rd International Power System Conference
09-F-PDS-0267
بیست و چهارمین
کنفرانس بین‌المللی برق

تعیین منحنی بار روزانه مصرف‌کننده‌های فاقد ثبات در سیستم توزیع شهر تهران با استفاده از برنامه‌ریزی خطی

حامد ولی‌زاده حقی، محمدعلی نکویی و محمد توکلی بینا
دانشکده برق، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
تهران، ایران

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی خطی، بهینه‌سازی، منحنی بار، سیستم توزیع

چکیده

در این مقاله، روش جدیدی مبتنی بر روش برنامه‌ریزی خطی برای تعیین منحنی بار مصرف‌کننده‌های منفرد بخشی از سیستم توزیع شهر تهران استفاده شده است. استفاده از ثبات (logger data) برای تمام این مصرف‌کننده‌ها از نظر اقتصادی ممکن نیست. بنابراین در این روش پس از جداسازی منحنی‌های بار ثبت شده از مصرف تجمعی اندازه-گیری شده، بخش مربوط به مصرف‌کننده‌های فاقد ثبات بدست می‌آید. سپس بر اساس منحنی‌های بار نوعی دسته‌بندی شده مربوط به انواع مصرف‌کننده‌ها می‌توان منحنی بار هرکدام را تعیین نمود. این کار توسط برنامه‌ریزی خطی به عنوان یک روش بهینه‌سازی انجام شده است. این روش بر اساس داده-های اندازه‌گیری‌شده از یک پست توزیع ۲۰-kV/۴۰۰-V در شهر تهران توسعه یافته است. مقایسه نتایج بدست‌آمده از این الگوریتم جدید و داده‌های اندازه‌گیری شده، تطابق مناسبی را نشان می‌دهد.

۱- مقدمه

توسعه بازار برق در ابتدا شامل معرفی بازار عمده فروشی است که مصرف‌کننده‌های بزرگ را در بر می‌گیرد. در این مرحله، استفاده از ثبات‌های زمانی منحنی بار میسر بوده و قیمت‌گذاری انرژی مصرف‌کننده‌های بزرگ بر اساس منحنی بار ساعتی انجام می‌گیرد. با وجود توسعه بازار برق و زمانی که بازار خرده فروشی معرفی می‌گردد، استفاده از ثبات منحنی بار برای مصرف‌کننده‌های خرد انتهایی مقرون به صرفه نبوده و روش‌های دیگری برای استخراج منحنی بار این مصرف-کننده‌ها مورد نیاز می‌باشد.

برای اندازه‌گیری منحنی بار به طور کلی دو روش معرفی شده است [۱]:

- *مدل ناحیه‌ای*: تعیین منحنی بار متوسط تعدادی از مصرف‌کننده‌ها طی دوره زمانی معین و تخصیص منحنی بار بدست آمده برای تمام مصرف‌کننده‌های شبکه مورد نظر.
- *مدل گروهی*: دسته‌بندی مصرف‌کننده‌های با منحنی

بار مشابه در یک گروه و اختصاص منحنی بار نمونه از پیش تعیین شده برای تمام آن‌ها.

ضوابط مختلفی برای بدست آوردن مدل گروهی منحنی بار وجود دارد که همه آن‌ها اساسا بر مبنای اندازه‌گیری‌های کافی بدست می‌آیند. از نقطه نظر نوع داده‌های استفاده شده برای تعیین منحنی‌های بار سه روش قابل شناسایی است. دسته اول *منحنی‌های ایستا* هستند که از داده‌های قدیمی موجود بدست می‌آیند، دسته دوم *منحنی‌های پویا* هستند که از داده‌های در حال نمونه‌برداری استفاده می‌کنند، و دسته سوم مربوط به الگوهای ثابت و قابل برنامه‌ریزی است.

روش‌های مذکور در بسیاری از کشورها مانند فنلاند، نروژ، انگلستان، آلمان و سوئد انجام شده است و انتخاب آن‌ها بر اساس نوع کاربرد مورد نظر بوده است. به عنوان مثال در کشور فنلاند از مدل گروهی برای تعیین منحنی بار گروه مصرف‌کننده‌های خانگی کم‌مصرف و پرمصرف استفاده شده است در حالی که استفاده از مدل ناحیه‌ای در کشور سوئد ترجیح داده شده است [۱]. با این وجود، مدل گروهی در بسیاری از موارد مناسب‌تر از مدل ناحیه‌ای عمل می‌کند [۲].

مقالات متعددی موضوع تعیین منحنی بار گروهی از مصرف-کننده‌ها را مطرح کرده‌اند [۹]–[۲]. لازم به ذکر است که در این مقالات از دو روش عمده استفاده شده است. مقالات [۶]–[۳] منحنی بار را از طریق سیستم‌های پیمایش بار استخراج می‌کنند که بر مبنای گروه‌های از پیش تعیین شده مصرف‌کننده‌ها صورت می‌پذیرد. مقالات دسته دوم منحنی-های بار را با استفاده از روش‌های شناسایی الگو از روی شکل منحنی بار به عنوان سری زمانی معین می‌سازند [۹]–[۷]. ایراد روش اول اینست که اندازه‌گیری بایستی در زمانی طولانی تداوم داشته باشد. با این حال روش‌های نوع دوم انعطاف‌پذیری بیشتری را در عمل ایجاد می‌کنند.

بنابراین، استفاده از روش‌های شناسایی الگو به همراه مدل گروهی می‌تواند مناسب باشد. در این مقاله با استفاده از این نتیجه‌گیری و روش برنامه‌ریزی خطی منحنی بار مصرف-کننده‌های بخشی از شبکه توزیع شهر تهران معین شده است. در روش ارائه شده ناهمخوانی بین تخمین‌های اولیه منحنی بار و منحنی بار اندازه‌گیری شده در پست/فیدر HV/MV با استفاده از برنامه‌ریزی خطی حذف شده است تا مقادیر واقعی منحنی بار مصرف‌کننده‌ها به صورت بهینه بدست آید. ابتدا منحنی بار تجمعی در پست‌های مختلف اندازه‌گیری شده و پس از گروه‌بندی منحنی بار نوعی مصرف‌کننده‌ها، پروفایل بار هر کدام با استفاده از *تخمین‌گر برنامه‌ریزی خطی*[1] جداسازی شده است. همچنین در الگوریتم معرفی شده برای حذف نویز اندازه‌گیری از *نویز-زدایی با تبدیل موجک*[2] استفاده شده است.

۲- منحنی بار تجمعی اندازه‌گیری شده و تخصیص منحنی بار نوعی

همان‌گونه که در مقدمه ذکر شد، مدل معرفی شده در این مقاله بر اساس منحنی بار تجمعی اندازه‌گیری شده و منحنی بار نوعی محاسبه شده مربوط به گروهی از مصرف‌کننده‌ها پایه‌ریزی شده است. در زیربخش‌های بعد منحنی بار تجمعی و ویژگی آن معرفی شده، منحنی‌های بار نوعی محاسبه شده ارائه می‌گردد.

۲-۱- منحنی بار تجمعی

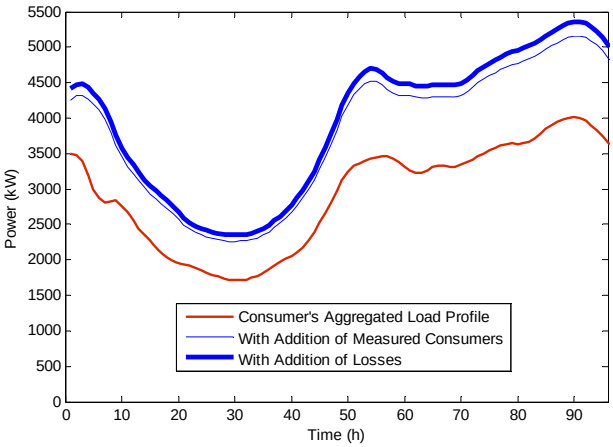
از دید متصدی شبکه، منحنی بار سیستم یا مجموعه‌ای از تاسیسات برقی شامل ورودی خالص ساعتی به شبکه است. منحنی بار تجمعی در این حالت برابر است با مصرف توان الکتریکی که با کسر کردن تلفات شبکه و منحنی‌های بار مصرف‌کننده‌های دارای ثبات از منحنی بار کل سیستم بدست می‌آید. منحنی بار تجمعی بدست آمده الگوی زمانی مصرف را برای مجموع مصرف‌کننده‌های فاقد ثبات زمانی مجزا نشان می‌دهد که ارتباط کاملی با انرژی مصرف شده توسط آن‌ها دارد. نمونه‌ای از این منحنی در شکل ۱ برای بخشی از سیستم توزیع غرب تهران (شکل ۲) بدست آمده است.

[1] Linear Programming Estimator
[2] Wavelet Denoising

۲-۱- منحنی‌های بار نوعی

منحنی‌های بار نوعی گروهی از مصرف کننده‌ها را می‌توان بر اساس اندازه‌گیری منحنی‌های بار مصرف‌کننده‌های تکی برآورد کرد. انجام این کار در سه مرحله صورت می‌پذیرد:

- اندازه‌گیری و پیش‌آمایش داده‌های مصرف‌کننده‌ها.
- دسته‌بندی مصرف‌کننده‌ها بر حسب شکل منحنی بار.



شکل ۱: منحنی بار تجمعی (قرمز رنگ) که با افزودن منحنی‌های بار مصرف‌کننده‌های دارای ثبات و محاسبه تلفات به منحنی بار کل سیستم بدل می‌شود.

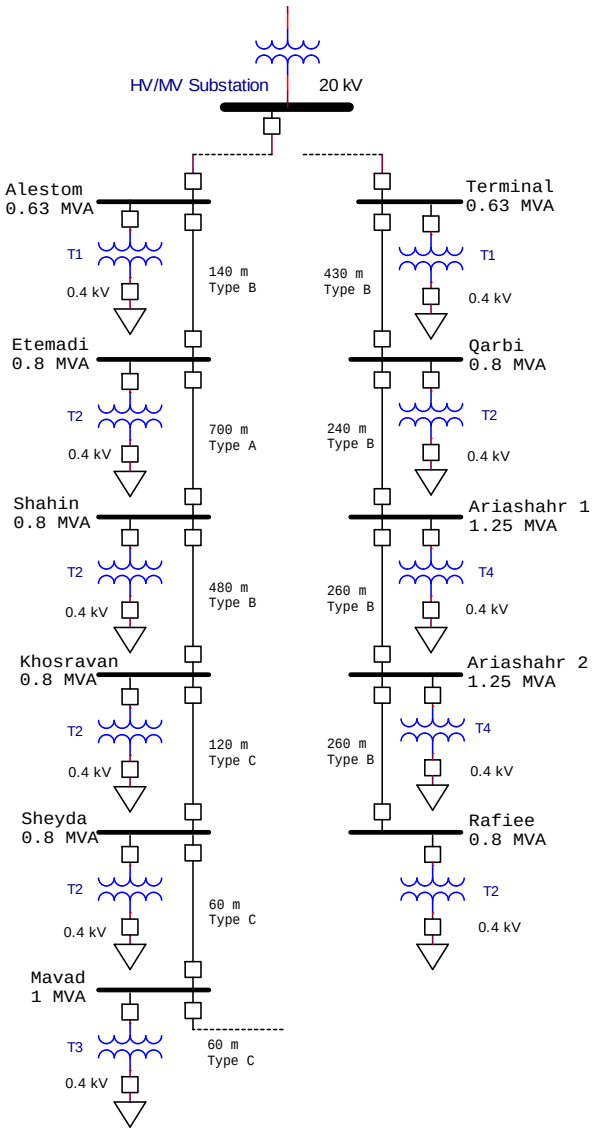
- تخصیص منحنی‌های بار نوعی بدست آمده برای گروه‌های مختلف مصرف‌کننده‌ها.

روشی برای انجام این کار در مرجع [۲] بر اساس الگوریتم FCM[1] مطرح شده است. با پیاده‌سازی این الگوریتم برای داده‌های مصرف‌کننده‌های واجد شرایط پست شکل ۲ پنج گروه با منحنی‌های بار نشان داده شده در شکل ۳ بدست آمده است. لازم به ذکر است که مصرف‌کننده‌های واجد شرایط با حداقل مصرف ۲۰ kW انتخاب شده‌اند. توجه به این امر زمانی بیشتر آشکار خواهد شد که بازار برق ایران کاملا استقرار یابد. در این حالت، به مصرف‌کننده‌های واجد شرایط حق انتخاب داده می‌شود تا از DISCO[2]های مختلف بسته به قیمت برق پیشنهادی، برق خریداری کنند.

در بخش بعد، روش استفاده شده برای حذف نویز اندازه‌گیری معرفی می‌شود. نویز-زدایی موجک در این پژوهش این امکان را می‌دهد که دقت الگوریتم برنامه‌ریزی خطی برای همخوان کردن منحنی بار مصرف‌کننده‌ها و منحنی بار تجمعی اندازه-گیری شده، به‌طور چشمگیری بهبود یابد.

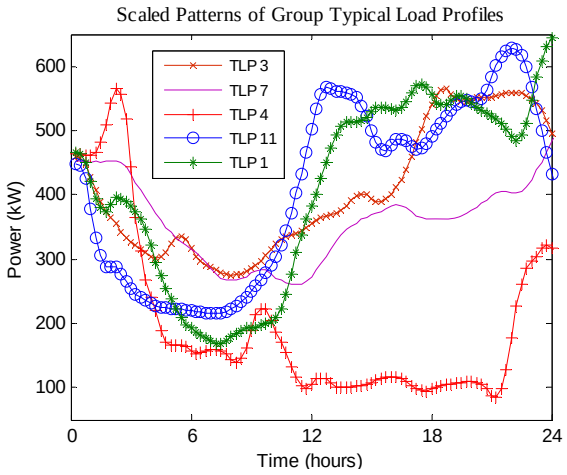
۳- حذف نویز داده‌های اندازه‌گیری شده

نویز-زدایی موجک اساس تبدیل موجک است که در زیر به اختصار توضیح داده می‌شود. اصول عملکرد این تبدیل به صورت زیر است:



شکل ۲: دیاگرام تک خطی شبکه توزیع مورد مطالعه.

[1] Fuzzy C-Means clustering [13]
[2] DIStribution COmpany



شکل ۳: منحنی‌های بار نوعی بدست آمده برای پنج گروه از مصرف کننده‌ها (داده‌ها برای نمایش بهتر مقیاس‌بندی شده‌اند).

۱) در مرحله اول، تابع موجک انتخاب می‌شود.

۲) ضرایب تجزیه تبدیل با اعمال تابع موجک روی سری داده‌های مورد نظر بدست می‌آید که شاخصی از میزان تشابه سری با تابع موجک است.

۳) مکان تابع موجک در طول سری داده‌ها تغییر داده می‌شود. سپس مراحل ۱ و ۲ تکرار می‌شود تا زمانی که کل شکل موج تحلیل شود.

۴) مقیاس تابع موجک تغییر داده می‌شود. سپس مراحل ۱ تا ۳ تکرار می‌شود. بدین‌طریق، مجموعه جدیدی از ضرایب تبدیل برای سطوح تفکیک[1] پایین‌تر حاصل می‌گردد.

۵) مرحله ۴ برای تمامی سطوح تفکیک مورد نیاز تکرار می‌شود.

فرایند تبدیل موجک برای تعداد محدودی از مکان‌ها و سطوح تفکیک انجام می‌شود که تبدیل موجک گسسته[2] نام دارد. با استفاده از این تکنیک، ضرایب تجزیه تبدیل موجک داده‌ها با رابطه زیر بدست می‌آید:

$$p_{mn}^{W} = 2^{-\frac{m}{2}} \sum_{t=0}^{T-1} p_t \, \mathrm{w}\left(\frac{t - n\cdot 2^m}{2^m}\right) = 2^{-\frac{m}{2}} \sum_{t=0}^{T-1} p_t \, \mathrm{w}_{mn}(t) \qquad (۱)$$

که در آن w(.) تابع موجک انتخاب‌شده، p_t مقدار درایه tام سری داده‌ها، T طول سری و p_{mn}^{W} ضریب تجزیه متناظر با مکان n و سطح تفکیک m است. لازم به ذکر است که اگر تعداد داده‌ها (T) بر 2^m قابل قسمت باشد، تعداد ضرایب در هر سطح تفکیک برابر $T/2^m$ خواهد بود. در برخی موارد، برای تسریع محاسبات، عبارت ۱ را به فرم امتزاج (کانولوشن) در نظر گرفته و از FFT برای محاسبه آن استفاده می‌کنند.

تعاریف «سری تقریب»، $A_m \ (m=1,\ldots,M)$ و «سری جزئیات»، $D_m \ (m=1,\ldots,M)$ به صورت زیر قابل بیان است:

$$A_m = \sum_n p_{mn}^{\Phi} \varphi_{mn}(t)\,; \quad m=1,\ldots,M \qquad (۲)$$

$$D_m = \sum_n p_{mn}^{\Psi} \psi_{mn}(t)\,; \quad m=1,\ldots,M \qquad (۳)$$

که در آن $\varphi_{mn}(t)$ و $\psi_{mn}(t)$ توابع موجک پدر و مادر بوده و p_{mn}^{Φ} و p_{mn}^{Ψ} ضرایب بدست آمده از رابطه ۱-ج هستند. لازم به ذکر است که $A_m \ (m=1,\ldots,M)$ و $D_m \ (m=1,\ldots,M)$ به شکل سری هستند؛ یعنی داریم $A_m=\{A_{m1},\ldots,A_{mT}\}$ و $D_m=\{D_{m1},\ldots,D_{mT}\}$.

بدین ترتیب، سری زمانی اصلی $p_h \ (h=1,\ldots,T)$ به صورت زیر قابل بازسازی است:

$$p_h = D_1 + \cdots + D_M + A_M \qquad (۱۰)$$

که به عنوان تجزیه با چند سطح تفکیک شناخته می‌شود.

در کاربرد نویز-زدایی مبتنی بر تبدیل موجک مراحل زیر اجرا می‌گردد:

۱) *تجزیه*: موجک و سطح تجزیه N انتخاب و تجزیه سیگنال مورد نظر (در اینجا منحنی بار اندازه‌گیری شده) تا سطح مطلوب انجام می‌شود.

۲) *محدوده‌گذاری ضرایب جزئیات*: محدوده‌ای برای هر سطح تجزیه از ۱ تا N انتخاب و به سری جزئیات اعمال می‌شود.

۳) *بازسازی*: عکس تبدیل موجک برای سری تقریب اصلی سطح N و سری جزئیات تغییر یافته سطوح ۱ تا N (در مرحله ۲) انجام شده و سیگنال نویز-زدایی شده باز سازی می‌شود.

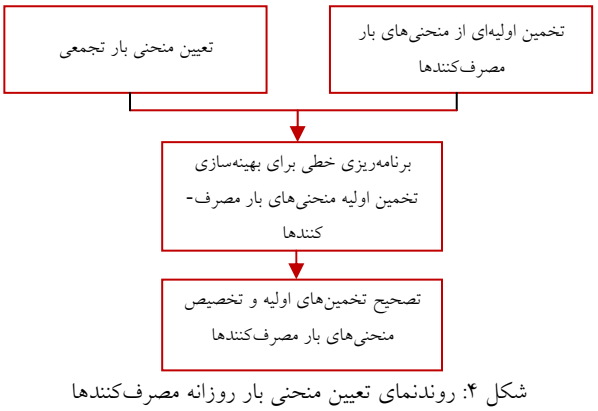
[1] Resolution level
[2] Discrete Wavelet Transform (DWT)

در پایان ذکر چند نکته مناسب به نظر می‌رسد. اول اینکه، در اینجا برای تعیین موجک مادر مناسب برای انجام نویز-زدایی آزمایش‌های مختلفی با موجک‌ها و با سطوح تجزیه مختلف انجام شد که استفاده از موجک Symlet مرتبه ۱۰ با سطح ۳ خطای میانگین مربعات بین منحنی بار اندازه‌گیری شده و نویز-زدایی شده را به حداقل رساند. دوم اینکه، طول بازه انتخاب شده از سری داده‌ها برای اعمال تبدیل موجک باید طوری انتخاب شود که داده‌های با رفتار مشابه را شامل شود. این امر باعث جلوگیری از تخمین‌های غیردقیق و موضعی می‌شود. در نهایت، لازم به ذکر است که ابزارهای عددی مربوط به الگوریتم‌های فوق همراه با محیط مناسب برای پیاده‌سازی تخمین‌گر برنامه‌ریزی خطی در نرم‌افزار MATLAB [۱۱] موجود می‌باشد. این امر یکی از دلایل انتخاب این نرم‌افزار برای پیاده‌سازی مدل‌ها و الگوریتم‌های ارائه‌شده در این مقاله است.

۴- فرمول‌بندی مسئله

۴-۱- الگوریتم استفاده شده

تعیین منحنی بار روزانه مصرف‌کننده‌های فاقد ثبات در سیستم‌های توزیع را می‌توان مطابق روندنمای شکل ۴ انجام داد.



شکل ۴: روندنمای تعیین منحنی بار روزانه مصرف‌کنندها

سه مرحله نشان داده شده در شکل ۴ به صورت زیر انجام می‌شوند:

۱) تعیین منحنی بار تجمعی؛ ادغام مصرف‌کننده‌های با رفتار مشابه در گروه‌های مختلف، تخمین اولیه منحنی بار گروه و تخصیص منحنی بار نوعی مناسب برای گروه متناظر در سطح سیستم.

۲) تصحیح تخمین اولیه منحنی بار مصرف‌کننده‌ها توسط برنامه‌ریزی خطی؛ این روش بهینه‌سازی بایستی ناهمخوانی یا خطای بین منحنی بار تجمعی و مجموع منحنی‌های بار بازسازی شده مصرف-کننده‌ها را حداقل نماید. این کار با تصحیح منحنی بار گروه‌های مختلف مصرف‌کننده‌ها انجام می‌گیرد. ضمنا در طی بهینه‌سازی بایستی کل انرژی مصرفی در بازه زمانی مورد نظر ثابت بماند. نتایج بدست آمده از برنامه‌ریزی خطی تغییرات لازم تخمین اولیه منحنی بار مصرف‌کننده‌ها را در هر ۱۵ دقیقه معین می‌سازد.

۳) نهایتا منحنی بار مصرف‌کننده‌ها تنظیم شده و به عنوان منحنی بار واقعی معین می‌گردد.

۴-۲- فرمول‌بندی تحلیلی مسئله برنامه‌ریزی خطی

مدل اولیه مبتنی بر الگوریتم بخش ۴-۱ معادل است با:

$$\mathbf{y} = h(\mathbf{x}) + \mathbf{e} \qquad (۴)$$

که در آن، $\mathbf{y}$ بردار m-بعدی حاوی اطلاعات منحنی بار تجمعی، $\mathbf{x}$ ماتریس $n \times m$ حاوی منحنی‌های بار بازسازی شده، $h(.)$ عملگر خطی مناسب و $\mathbf{e}$ بردار m-بعدی خطا است.

این مدل به شکل متعارف معادلات تخمین حالت است که می‌توان با برنامه‌ریزی خطی آن را حل نمود [۱۲ و ۱۴]. در اینجا مبتنی بر مدل [۱۰] از روش برنامه‌ریزی خطی برای به حداقل رساندن خطای بین منحنی بار تجمعی و مجموعه منحنی بار مصرف‌کننده‌ها استفاده می‌شود. روش مورد استفاده شامل تعیین مقادیر مورد نیاز برای تصحیح منحنی‌های بار تخمین زده شده برابر ΔP_{ik}^{+} و ΔP_{ik}^{-} است. این مقادیر طی فرایند بهینه‌سازی بین دو حد بالا و پایین تغییر داده می‌شوند تا همخوانی لازم حاصل گردد. لازم به ذکر است که طی این

فرایند بایستی انرژی مصرفی ثابت بماند که برابر با مساحت زیر منحنی بار در دوره زمانی معین است.

نتیجه حاصله از بهینه‌سازی عبارت است از $2\times m\times n$ تصحیحات منفی و مثبت که n تعداد گروه‌های مصرف‌کننده‌ها و m تعداد بازه‌های زمانی ۱۵ دقیقه‌ای می‌باشد. فرمول‌بندی مدل در قالب مسائل برنامه‌ریزی خطی با توجه به شرایط مذکور به صورت زیر است:

$$\begin{aligned}
\min \quad & f\left(\Delta P_{ik}^{+},\Delta P_{ik}^{-}\right)=\sum_{i=1}^{p}\sum_{k=1}^{m}u_{ik}\left(\Delta P_{ik}^{+}+\Delta P_{ik}^{-}\right)\\
\text{such that} \quad & \sum_{i=1}^{p}\left(\Delta P_{ik}^{+}-\Delta P_{ik}^{-}\right)=P_{AP,k}-\sum_{i=1}^{p}P_{RLP,ik}\\
& \Delta P_{ik}^{+}+\Delta P_{ik}^{-}+x_{add,ik}=2\cdot q\cdot\sigma_{ik}\\
& \sum_{k=1}^{m}\left(\Delta P_{ik}^{+}-\Delta P_{ik}^{-}\right)=0 \qquad (۵)\\
& \Delta P_{ik}^{+},\Delta P_{ik}^{-}\geq 0\\
& k=1,....,m\\
& i=1,....,p;\quad p\leq n
\end{aligned}$$

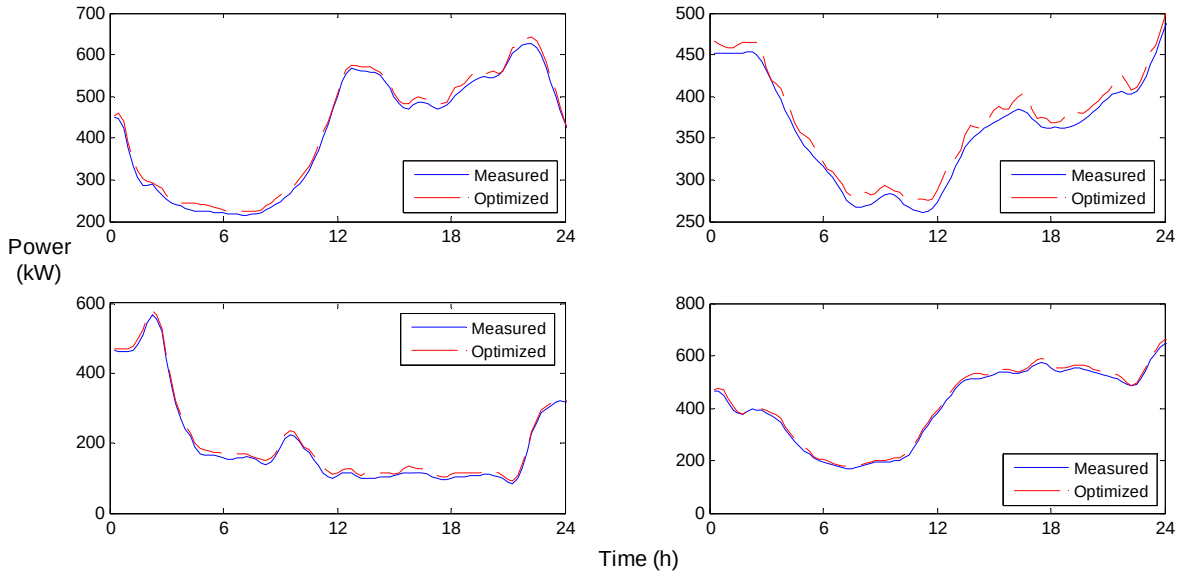
که در آن پارامترهای معرفی نشده عبارتند از:

- $P_{AP,k}$: مقدار k–ام منحنی بار تجمعی $\mathbf{z}$؛
- $\sum_{i=1}^{p}P_{RLP,ik}$: مجموع مقادیر k–ام منحنی‌های بار بازسازی شده ($h(\mathbf{x})$ در رابطه ۴)؛
- σ_{ik}: انحراف معیار استاندارد منحنی بار بازسازی شده i–ام در بازه زمانی k–ام؛
- q: ضریبی برای تعریف بازه‌ای از توزیع منحنی بار بازسازی شده؛
- u_{ik}: ضرایب وزنی برای معین نمودن دقت، $u_{ik}\in(0,1]$؛
- $x_{add,ik}$: متغیر فرضی برای بهبود همگرایی بهینه‌سازی.

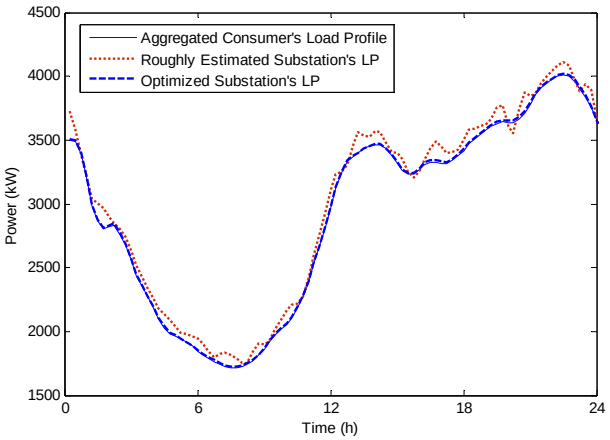
۵- نتایج حاصله در فیدر مورد بررسی

به منظور تایید دقت الگوریتم استفاده شده، نتایج پیاده‌سازی آن در سیستم توزیع شکل ۲ با منحنی‌های بار نوعی شکل ۳، در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است. اندازه‌گیری‌ها در ۱۳۸۰ انجام شده‌اند و فرض‌های زیر اعمال شده است:

- مصرف‌کننده‌ها با استفاده از مدل گروهی طبقه‌بندی شده و دارای منحنی نوعی مربوطه می‌باشند. همچنین فقط مصرف‌کننده‌های واجد شرایط ذکر شده در بخش ۲-۱ لحاظ شده‌اند.



شکل ۶: مقایسه نتایج حاصل از تعیین منحنی‌های بار مصرف‌کننده‌ها و داده‌های عملی برای چهار گروه از مصرف‌کنندها.



شکل ۵: مقایسه منحنی بار تجمعی اندازه‌گیری شده مصرف‌کننده‌ها، نتیجه بهینه‌سازی و تخمین اولیه حاصل از مدل گروهی.

- انرژی مصرفی هر گروه از مصرف‌کننده‌ها در بازه زمانی معین (مثلا یک روزه) مشخص است.
- از تلفات صرف نظر شده است. لازم به یادآوری است که تلفات تخمین زده شده را می‌توان با کم کردن از منحنی بار تجمعی بدست آمده در پست لحاظ نمود.
- منحنی بار تجمعی شکل ۵ که برای مقایسه استفاده شده است، از منحنی‌های بار اندازه‌گیری شده مصرف‌کننده‌ها استخراج شده است.

منحنی بار تجمعی اندازه‌گیری شده مصرف‌کننده‌ها، نتیجه بهینه‌سازی و تخمین اولیه حاصل از مدل گروهی در شکل ۵ نشان داده شده است. همان‌گونه که از این شکل مشخص است، رفتار منحنی‌ها مشابه است اما اختلافی که بین تخمین اولیه و منحنی واقعی وجود دارد بایستی توسط الگوریتم برنامه‌ریزی خطی به حداقل برسد. با توجه به شکل ۵ کاملا واضح است که این حداقل سازی به خوبی انجام شده و منحنی بار تجمعی بهینه‌سازی شده همخوانی کاملی با مقادیر واقعی دارد. همچنین منحنی بار تعیین شده برای چهار گروه از مصرف‌کننده‌ها در شکل ۶ همراه با مقادیر اندازه‌گیری شده نشان داده شده است که تطابق مناسبی را نشان می‌دهد.

۶- نتیجه‌گیری

روشی مبتنی بر برنامه‌ریزی خطی برای تعیین منحنی بار مصرف‌کننده‌های منفرد بخشی از سیستم توزیع شهر تهران استفاده شد. فرمول‌بندی این روش ارائه شد. به علاوه روش نویز-زدایی موجک برای حذف نویز داده‌های اندازه‌گیری شده منحنی بار معرفی و استفاده گشت. پس از جداسازی منحنی‌های بار ثبت شده از مصرف تجمعی اندازه‌گیری شده، بخش مربوط به مصرف‌کننده‌های فاقد ثبات بدست آمد. سپس بر اساس منحنی‌های بار نوعی دسته‌بندی شده مربوط به انواع مصرف‌کننده‌ها منحنی بار هر کدام تعیین شدند.

این روش بر اساس داده‌های اندازه‌گیری‌شده از یک پست توزیع ۲۰-kV/۴۰۰-V در شهر تهران توسعه یافته است. مقایسه نتایج بدست‌آمده از این الگوریتم جدید و داده‌های اندازه‌گیری شده، تطابق مناسبی را نشان می‌دهد.

مراجع

[1] Metering, Load Profiles and Settlement in Deregulated Markets (2000). *http://lge.deec.uc.pt /ensino/gesee/DocsSeminarios/8-Metering_and_ LoadProfiles.pdf* [Online]

[2] D. Gerbec, S. Gasperic, I. Smon, and F. Gubina, “Allocation of the load profiles to consumers using probabilistic neural networks,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 20, no. 2, pp. 548–555, May 2005.

[3] C. S. Chen, J. C. Hwang, and C.W. Huang, “Application of load survey systems to proper tariff design,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 12, no. 4, pp. 1746–1751, Nov. 1997.

[4] J. A. Jardini, C. M. V. Tahan, M. R. Gouvea, S. U. Ahn, and F. M. Figueiredo, “Daily load profiles for residential, commercial and industrial low voltage consumers,” *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 15, no. 1, pp. 375–380, Jan. 2000.

[5] C. S. Chen, J. C. Hwang, Y. M. Tzeng, C. W. Huang, and M. Y. Cho, “Determination of customer load characteristics by load survey system at taipower,” *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 11, no. 3, pp. 1430–1436, Jul. 1996.

[6] G. Chicco, R. Napoli, P. Postolache, M. Scutariu, and C. Toader, “Customer characterization options for improving the tariff offer,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 18, no. 1, pp. 381–387, Feb. 2003.

[7] G. Chicco, R. Napoli, F. Piglione, P. Postolache, M. Scutariu, and C. Toader, “Options to classified electricity customers,” in *Proc. Medpower Conf.*, Athens, Greece, 2002.

[8] D. Gerbec, S. Ga˘speri˘c, I. ˘Smon, and F. Gubina, “An approach to customers daily load profile determination,” in *Proc. IEEE Power Eng. Soc. Summer Meeting*, vol. 1, Chicago, IL, 2002, pp. 587–591.

[9] B. D. Pitt and D. S. Kirschen, “Application of data mining techniques to load profiling,” in *Proc. IEEE PICA Conf.*, 1999, pp. 131–136.

[10] M .Falcao, H. O. Henriques, “Load Estimation in Radial Distribution Systems Using Neural Networks and Fuzzy Set Techniques”, *IEEE Power Eng. Soc. Summer Meeting*, July 2001, vol. 2, pp. 1002- 1006.

[11] The Math Works, MATLAB. (2009), http://www.mathworks.com.

[12] M. E. Baran and A Kelley, “State estimation for real-time monitoring of distribution systems,” *IEEE Trans. Power Sys.*, vol. 9, no.3, pp. 1601-1609, 1994.

[13] H.-J. Zimmermann, *Fuzzy Set Theory and its Applications*, 3rd Ed., Kluwer, Boston, 1996.

[14] V. Miranda, J. Peremi. J T Sarawa, “Experiences in state estimation models for distribution systems including fuzzy systems,” in *Proc. SPT’95*, no. SPT IC 08-07-0453, June, 1995.