

مدیریت مصرف و برنامه‌ریزی بهینه یک مصرف‌کننده صنعتی با توجه به تعرفه‌های متفاوت روزانه

سید مهدی ضابطیان حسینی^۱، حبیب رجیبی مشهدی^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد برق _ قدرت، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، mahdi.zabetian@gmail.com

^۲ دانشیار گروه برق، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، h_mashhadi@um.ac.ir

چکیده - مدیریت بار راه حل موثری جهت تغییر شکل منحنی بار مصرف‌کننده است تا اینکه از ظرفیت اضافه بار شبکه در زمان‌های پیک جلوگیری شود. برای برخی مصرف‌کنندگان بزرگ که از تعرفه‌های زمان استفاده برای تامین برق مورد نیاز خود استفاده می‌کنند، این امکان وجود دارد که با توجه به قیمت تعرفه برق، واکنش مناسب را در مقابل قیمت نشان داده و الگوی مصرف خود را بهینه نمایند. در این مقاله به کمک الگوریتم ژنتیک، به تنظیم بهینه رفتار یک مصرف‌کننده بزرگ به عنوان یک مشترک شرکت توزیع با توجه به تعرفه‌های فصلی تامین برق پرداخته شده است.

پایاده‌سازی هدف به این صورت انجام شده است که ابتدا عملکرد روزانه مصرف‌کننده در طول سال با توجه به قیمت‌های تعرفه قراردادی شرکت توزیع، با استفاده از مدل ریاضی برنامه‌ریزی اعداد صحیح صفر و یک مدل‌سازی گردیده، سپس به کمک الگوریتم ژنتیک از طریق جابجایی بارهای مدیریت‌پذیر تلاش در جهت کاهش میزان پیک‌بار و هزینه انرژی مصرفی می‌کند. بررسی نتایج روی یک مثال مورد مطالعه نشان می‌دهد که روش فوق به صورت قابل انعطافی قادر است ضمن رعایت محدودیت‌های فنی، پیک تقاضا و هزینه‌های مصرف‌کننده را تا حد امکان کاهش، ضریب بار منحنی مصرف روزانه را تا حد امکان افزایش دهد.

کلید واژه - الگوریتم ژنتیک، تعرفه زمان استفاده، کنترل بار، مدیریت بار، مدیریت سمت تقاضا.

۱- مقدمه

کردن حساسیت مصرف‌کننده نسبت به تغییرات قیمت برای میرا کردن نوسان قیمت در بازار برق از اهمیت بالایی برخوردار است. بطوریکه پاسخگوئی تقاضای یکی از مفاهیم کلیدی در استانداردهای^۱ FERC است که اخیراً در طراحی بازار عمده فروشی برق مطرح شده است [۱].

از جمله مقالاتی که اخیراً در این زمینه مطرح شده‌اند می‌توان به مرجع [۲] نگاهی داشت که در آن مزایای مدیریت بار برای مصرف‌کنندگان صنعتی بیان شده است، که از آن جمله می‌توان به کاهش پیک تقاضا، کاهش تلفات، افزایش بهره‌وری از تجهیزات در ضریب بار بالاتر اشاره داشت. استفاده از روش‌های هوشمند در زمینه اقدامات مدیریت مصرف نتایج بسیار خوبی به دنبال داشته است. از جمله این روش‌ها، استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک می‌باشد. در مرجع [۳] جهت پیش‌بینی زمان و میزان پیک تقاضا از شبکه عصبی استفاده شده است، ساختار و پارامترهای شبکه عصبی با استفاده از الگوریتم

مدیریت بار، فرآیندی برای انعطاف‌پذیر نمودن منحنی بار مصرفی است. از روش‌های مهم مدیریت مصرف می‌توان به روش کنترل غیرمستقیم اشاره نمود، که متکی بر سیگنال قیمت می‌باشد. در این روش، مصرف‌کننده یا پایانه‌های هوشمند مصرف، با دریافت اطلاعات سیگنال قیمت به صورت بلادرنگ یا صورت دیگر، نسبت به کاهش مصرف اقدام می‌کنند. در دهه‌های اخیر هر دو طرف تولیدکننده و مصرف‌کننده برق متحمل افزایش قیمت برق به علت گران شدن منابع سوختی اولیه و نیز افزایش قیمت سرمایه‌گذاری جهت ساخت و افزایش ظرفیت‌های تولید شده‌اند.

روش‌های کنترل غیرمستقیم بار عموماً مبتنی بر سیگنال قیمت می‌باشند. با تجدید ساختار و ایجاد بازارهای عمده فروشی و خرده‌فروشی، شرکت‌های توزیع برق و بهره‌برداران شبکه علاقمند به مدیریت یا شکل دادن الگوی مصرف شده‌اند. مشخص

^۱ Federal Energy Regulatory Commission

ژنتیک بهینه گردیده‌اند. مرجع [۴] از طریق کنترل بارهای روشنایی و تهویه‌ها به کمک الگوریتم ژنتیک به برنامه‌ریزی منابع پرداخته است، مراجع [۵] و [۶] با هدف پیک‌سایبی و کاهش هزینه‌ها، به کمک شبکه عصبی به جایجایی بارپیک پرداخته‌اند.

با توجه به عملکرد مناسب روش‌های هوشمند در کارهای اخیر در زمینه مدیریت مصرف در این مقاله از الگوریتم ژنتیک برای پیاده‌سازی اقدامات مدیریت مصرف استفاده شده است، در این مقاله بارهای کنترل‌پذیر مصرف‌کننده با در نظر گرفتن اولویت‌بندی اولیه برای آنها مورد بررسی قرار گرفته، توجه بیشتر به قیود و محدودیت‌های عملکرد بارهای کنترل‌پذیر در تنظیم عملکرد آنها به وضوح دیده می‌شود و به منظور کاهش هزینه‌ها و دستیابی به افزایش بهره‌وری مصرف‌کننده به بررسی رفتار مناسب آن با توجه به تعرفه‌های زمانی مختلف فصلی در طول سال پرداخته شده است. روش‌های مدیریت بار بخش ۲ در غالب تنظیم بارهای قابل قطع با توجه به اولویت‌بندی آنها به کمک الگوریتم ژنتیک پیاده‌سازی شده‌اند.

۲- تکنیک‌های مدیریت سمت تقاضا DSM

انتخاب روش‌های مناسب DSM مسئله مهمی برای هر دو طرف مصرف‌کننده و تولیدکننده انرژی الکتریکی می‌باشد، در ادامه روش‌های DSM اعمال شده در بخش صنعتی ذکر شده است [۷]:

۲-۱- بریدن پیک و پرنمودن دره‌ها

کاهش تقاضای پیک، هزینه دریافتی بابت تقاضای مصرف‌کننده را کاهش می‌دهد. این روش جهت کاهش هزینه سرمایه‌گذاری اولیه و هزینه بهره‌برداری استفاده می‌شود. هدف اصلی از بریدن پیک نزدیک شدن تقاضا به تولید موجود می‌باشد، بطوریکه از هزینه‌های زیاد برای سرمایه‌گذاری در بخش تولید جلوگیری به عمل آید. روش پرنمودن دره‌ها به منظور دستیابی به بهره‌وری بالا و هزینه بهره‌برداری پائین‌تر به خاطر ارتقاء ضریب- بار و بهره‌وری از انرژی سیستم می‌باشد. از طریق انتقال بار از دوره‌های با مصرف بالا به دوره‌های با مصرف پایین عمل می‌کند.

۲-۲- کنترل مصرف‌کننده‌نهایی

این روش به کنترل عملکرد وسایل نهائی متنوع جهت بهره‌وری از منابع موجود بدون تغییر در برنامه تولید می- پردازد. کنترل مصرف‌کننده نهائی یکی از زمینه‌های فعال

در بین روش‌های اعمالی DSM است که به دلیل عملکرد بعضی بارهای توده‌ای صنعتی به صورت ایجاد پیک‌ها و دره‌ها در منحنی بارشان مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین برای مصرف‌کنندگان صنعتی فضای لازم جهت مسطح نمودن منحنی بار موجود می‌باشد.

۲-۳- روش اولویت‌بندی بار

در اعمال این روش بارها به دو دسته بارهای قابل قطع و بارهای غیر قابل قطع تقسیم می‌شوند. بارهای غیرقابل قطع دارای تقدم بیشتری نسبت به بارهای قابل قطع هستند. معمولاً در صنعت تقدم بارها با توجه به میزان اهمیت بارها در برنامه تولید توسط سرپرست و ناظر بخش مربوطه تعیین می‌شود.

۲-۴- روش تعرفه‌ای

یکی از روش‌های مهم اقتصادی مدیریت سمت تقاضا، روش- های قیمت‌گذاری مصرف برق و مخصوصاً روش قیمت‌گذاری بر مبنای زمان استفاده است. معمولاً تولیدکننده برای استفاده از تجهیزات خود تحت ظرفیت نامی، قیمت برق را بصورت چندتعرفه و وابسته به زمان مصرف تعریف می‌کند. تولیدکننده تشویق‌هایی را برای مصرف‌کننده در طول دوره کم‌باری در نظر می‌گیرد و همچنین تنبیه‌هایی برای مصرف در طول پیک‌بار اعمال می‌نماید. بنابراین، مقادیر تعرفه‌ها در این روش اثر بسیار مهمی در اطمینان از عملکرد بهینه و پایداری سیستم قدرت و مدیریت تقاضا و نیز با انتقال بار از زمان اوج به زمان کم‌باری دارد [۷]. با اعمال چنین تعرفه‌هایی مصرف‌کننده از مصرف انرژی در ساعات پیک‌بار تولیدکننده اجتناب می‌نماید و تلاش می‌کند در دوره‌های کم‌باری مصرف خود را افزایش دهد. جهت رسیدن به چنین منظوری مصرف‌کننده باید تغییراتی در برنامه عملکرد خود اعمال نماید.

۳- بهینه‌سازی عملکرد واحدهای بار

در این مقاله هدف مدیریت سمت تقاضا و اصلاح الگوی بار مصرفی روزانه یک مصرف‌کننده صنعتی می‌باشد. با توجه به ماهیت غیرمحدب این مساله بهینه‌سازی، مشکلات موجود در روش‌های کلاسیک در بحث بهینه‌سازی داده‌های گسسته و روند کارهای اخیر در استفاده از روش‌های هوشمند در این مقاله از الگوریتم ژنتیک به منظور بهینه‌سازی و تنظیم بارهای کنترل- پذیر استفاده شد. بطوریکه مصرف‌کننده با توجه به الگوی بار، اولویت‌بندی بارهای مصرفی خود و تعرفه‌های قراردادی شرکت

توزیع از طریق انتقال بار پیک به دیگر دوره‌ها اقدام به اصلاح منحنی بار مصرفی می‌پردازد. بارهای با اولویت بالا دارای الگوی بار ساعتی ثابت هستند و قابلیت قطع و جابجایی ندارند درحالیکه بارهای با اولویت پایین، قابل قطع و جابجایی و دارای محدودیت ساعت عملکرد در طول روز هستند.

۳-۱- فرمول‌سازی مسئله

در این مرحله به منظور اصلاح و بهینه‌سازی الگوی بار مصرفی از طریق تنظیم برنامه عملکرد بهینه بارهای مدیریت‌پذیر مصرف‌کننده، تعیین ظرفیت پیک تقاضا از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. پیاده‌سازی الگوریتم ژنتیک تحت نرم‌افزار MATLAB® صورت گرفت و مدت زمان اجرای آن بطور متوسط حدود ۳۶۰ ثانیه بود که برای حالت آفلاین مناسب می‌باشد.

به این منظور کروموزوم‌ها مطابق رابطه (۱) در ابعاد 10×24 طول هر کروموزوم برابر با ۲۴ ساعت شبانه‌روز و تعداد سطر آن برابر با تعداد بارهای قابل قطع و جابجایی در نظر گرفته شده است. هر بیت T_{ij} از کروموزوم می‌تواند مقادیر صفر یا یک را اختیار کند که به ترتیب بیانگر عملکرد و یا عدم عملکرد بار i در ساعت j خواهد بود. در رابطه (۲) مجموع عناصر هر سطر تعداد ساعت عملکرد بار آن سطر را نشان می‌دهد، که از جمله قیود مسئله بهینه‌سازی می‌باشد.

$$T = \begin{bmatrix} T_{1,1} & \dots & \dots & \dots & T_{1,24} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & T_{i,j} & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ T_{10,1} & \dots & \dots & \dots & T_{10,24} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^{24} T_{i,j} = t_i, \quad i = \text{loadnumber} \quad (2)$$

از جمله قیود دیگر این مسئله محدودیت پیوستگی عملکرد برای بعضی از بارهای کنترل‌پذیر می‌باشد، این قید در رابطه (۳) نشان داده شده است.

$$T_{ij}(t) = 1 \rightarrow T_{ij}(t + k_i) = 1, \quad k_i = 1, 2, \dots, K_i \quad (3)$$

مقادیر k_i به عنوان حداقل زمان عملکرد بار i در صورت روشن شدن می‌باشد. این محدودیت در نمونه مورد مطالعه برای بارهای ۱ و ۲ هر یک به میزان ۲ ساعت در نظر گرفته شد. عملگرهای برش و جهش در طول هر سطر به‌طور مستقل اجرا گردیده و قیود مسئله بعد از تولید هر نسل توسط یک زیر برنامه دیگر اعمال می‌شوند.

۳-۲- تابع برازندگی

کمیته نمودن پیک‌بار، هزینه تامین انرژی و افزایش ضریب- بار منحنی بار مصرفی از اهداف این مسئله بهینه‌سازی می‌باشد. لذا در هر مرحله تکرار الگوریتم پس از تعیین برنامه عملکرد بارهای کنترل‌پذیر و پیک‌بار با استفاده از قیمت‌های تعرفه‌ای قراردادی، برازندگی هر کروموزوم با استفاده از تابع برازندگی چندهدفی ترکیبی با ضرایب وزنی k_1 و k_2 از دو بخش هزینه دیماند و هزینه انرژی در نظر گرفته شده و در رابطه (۴) محاسبه گردید. این ضرایب جهت هماهنگی روابط برنامه‌ریزی کوتاه مدت و میان مدت در نظر گرفته شده‌اند.

$$F = k_1 C_{Demand} + k_2 C_{Energy} \quad (4)$$

بخش اول رابطه (۴)، هزینه دیماند در رابطه (۵) از حاصلضرب پیک تقاضا در هزینه دیماند قراردادی محاسبه می‌شود که برای نمونه مورد مطالعه استفاده شد 60¢ در نظر گرفته شد.

$$C_{Demand} = P_{Demand} \times L_{peak} \quad (5)$$

در رابطه (۵)، L_{peak} و P_{Demand} به ترتیب، پیک‌بار مصرف‌کننده و هزینه دیماند قراردادی به ازای هر کیلووات بار مصرفی است. بخش دوم رابطه (۴)، هزینه انرژی مصرفی طبق رابطه (۶)، از حاصلضرب کل بارهای مصرفی ۲۴ ساعت شبانه‌روز در قیمت‌های متناظر ساعتی در تعرفه مربوطه محاسبه می‌شود.

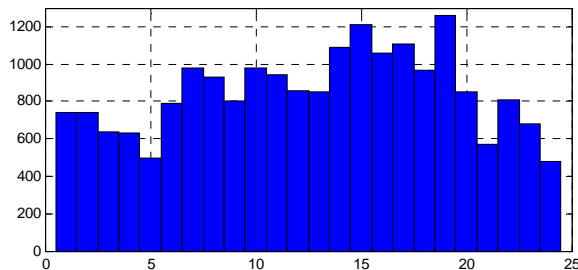
$$C_{Energy} = (L_{Var} \times T + L_{Constant}) \times [P_1 \dots P_{24}]^T \quad (6)$$

در رابطه (۶) با توجه به اولویت‌بندی بارها، $L_{Constant}$ نشانگر الگوی روزانه مصرفی بارهای ثابت مطابق با جدول ۲ و L_{Var} نشانگر الگوی روزانه بارهای مدیریت‌پذیر مطابق با مقادیر بارها در جدول ۳ می‌باشد، ماتریس T خروجی الگوریتم ژنتیک برنامه عملکرد بارهای کنترل‌پذیر است. $L_{Var} \times T$ میزان بار کنترل‌پذیر و $L_{Constant}$ میزان بار غیرقابل کنترل و ثابت در طول ۲۴ ساعت شبانه‌روز را نشان می‌دهند، جمع این دو قسمت الگوی کل بار مصرفی روزانه را تشکیل می‌دهد. ماتریس P قیمت تعرفه‌های قراردادی است.

۳-۳- بررسی عددی مثال مورد مطالعه:

در بخش بررسی عددی، یک کارخانه صنعتی در نظر گرفته شده است که برق مورد نیاز خود را طبق تعرفه‌های قراردادی مطابق با جدول ۱ از شرکت توزیع تامین می‌نماید. بارهای مصرف‌کننده بزرگ مورد مطالعه بنا به اولویت‌بندی به دو دسته تقسیم می‌شوند، یک دسته بارهای با اولویت مطابق با جدول ۲ که قابلیت قطع و جابجایی ندارند.

حالت‌های ۱ و ۲: در ابتدا یک برنامه عملکرد اولیه برای بارهای کنترل‌پذیر این مصرف‌کننده در نظر گرفته شد. الگوی کل بار روزانه مصرفی مطابق شکل ۲ بدست آمد. حالت ۱ در نظر گرفتن این الگوی بار اولیه در شش‌ماهه اول و حالت ۲ در نظر گرفتن همین الگوی بار اولیه برای شش‌ماهه دوم تعریف شدند.



شکل ۱: منحنی بار ساعتی روزانه برای حالت قبل از اعمال DSM

در این حالت‌ها پیک بار مصرف‌کننده ۱۲۶۰ kW حاصل شد. با توجه به تعریف ضریب بار به صورت رابطه (۷)، ضریب بار مصرف‌کننده در این حالت‌ها ۶۵٪ بدست آمد.

$$Load\ Factor = \frac{Average\ Demand}{Peak\ Demand} \% \quad (7)$$

$$L.F. = \frac{19870/24}{1260} \times 100\% = 65.7\%$$

هزینه تامین انرژی که مجموع هزینه دیماند و انرژی براساس تعرفه‌های فصلی به کمک روابط (۵) و (۶)، برای حالت‌های ۱ و ۲ در ادامه محاسبه شدند.

$$C_{Demand} = 1260 \times 0.60 = 756 \$$$

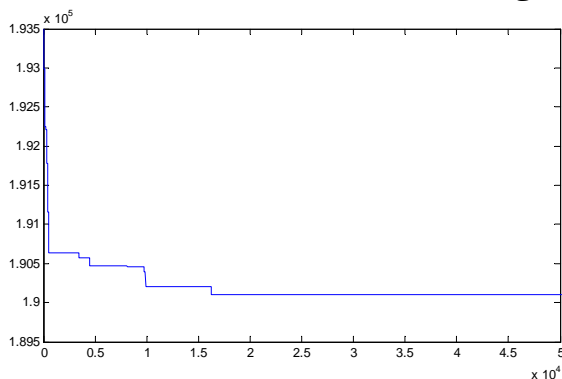
$$C_{Energy-S} = (L \times T + L_{Constant}) \times Tariff_{summer} = 1438.30 \$$$

$$C_{T-Summer} = C_{Demand} + C_{Energy-S} = 2194.30 \$$$

$$C_{Energy-W} = (L \times T + L_{Constant}) \times Tariff_{winter} = 1427.56 \$$$

$$C_{T-Winter} = C_{Demand} + C_{Energy-W} = 2183.56 \$$$

حالت ۳: اجرای برنامه بهینه‌سازی عملکرد بارهای کنترل‌پذیر در شش‌ماهه اول سال، با توجه به تعرفه فصلی تابستان همانطور که در شکل ۲ روند کاهش میزان تابع برازندگی F طبق رابطه (۴) دیده می‌شود.



شکل ۲: روند کاهش تابع برازندگی در بهینه‌نمودن عملکرد واحدها با توجه به تعرفه قراردادی فصلی تابستان

جدول ۱: تعرفه‌های قراردادی شرکت توزیع [۸]

Time	Period	€/kWh
1 May to 31 October		
7 am to 11 am	Mid-Peak	7.6
11 am to 5 pm	On-Peak	9.1
5 pm to 10 pm	Mid-Peak	7.6
10 pm to 7 am	Off-Peak	4.2
1 Nov to 31 April		
7 am to 11 am	On-Peak	9.1
11 am to 5 pm	Mid-Peak	7.6
5 pm to 9 pm	On-Peak	9.1
9 pm to 7 am	Off-Peak	4.2

جدول ۲: میزان کل مصرف ساعتی بارهای ثابت در طول روز

ساعت	میزان بار (kW)	ساعت	میزان بار (kW)
۱	۱۰۰	۱۳	۲۰۰
۲	۱۰۰	۱۴	۳۰۰
۳	۱۰۰	۱۵	۳۰۰
۴	۱۰۰	۱۶	۳۰۰
۵	۱۰۰	۱۷	۳۰۰
۶	۳۰۰	۱۸	۳۰۰
۷	۳۰۰	۱۹	۳۰۰
۸	۳۰۰	۲۰	۱۰۰
۹	۳۰۰	۲۱	۱۰۰
۱۰	۳۰۰	۲۲	۱۰۰
۱۱	۳۰۰	۲۳	۱۰۰
۱۲	۲۰۰	۲۴	۱۰۰

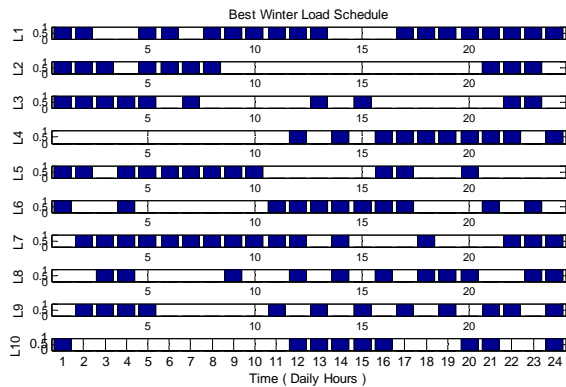
دسته دوم بارهای دارای اولویت پایین‌تر، همراه با محدودیت ساعت عملکرد مطابق با جدول ۳ در طول روز که قابل قطع و جابجایی هستند.

جدول ۳: الگوی مصرف روزانه بارهای قابل قطع

شماره بار	میزان بار	زمان مصرف در طول شبانه‌روز (ساعت) t_i
۱	۱۱۰	۱۸
۲	۱۴۰	۱۰
۳	۱۵۰	۱۰
۴	۱۰۰	۱۰
۵	۱۵۰	۱۲
۶	۱۱۰	۱۱
۷	۱۵۰	۱۶
۸	۱۴۰	۱۱
۹	۱۳۰	۱۲
۱۰	۱۲۰	۹

با توجه به انرژی مصرفی روزانه ۱۵۴۷۰ kW برای بارهای کنترل‌پذیر و ۴۴۰۰ kW برای بارهای غیرکنترل‌پذیر، کل انرژی مصرفی روزانه ۱۹۸۷۰ kW می‌باشد.

در این قسمت چهار حالت برای مصرف‌کننده مورد مطالعه در نظر می‌گیریم و به بررسی و مقایسه نتایج آن‌ها می‌پردازیم. حالت‌های ۱ و ۳ مربوط به تعرفه‌های شش‌ماهه اول (تابستانی) و حالت‌های ۲ و ۴ مربوط به تعرفه‌های شش‌ماهه دوم (زمستانی) می‌باشند.



شکل ۵: برنامه عملکرد زمستانی بارهای قابل قطع بعد از اجرای DSM

$$C_{\text{Demand}} = 930 \times 0.60 = 558 \$$$

$$C_{\text{Energy-W}} = (L \times T + L_{\text{Constant}}) \times \text{Tariff}_{\text{Winter}} = 1349.62 \$$$

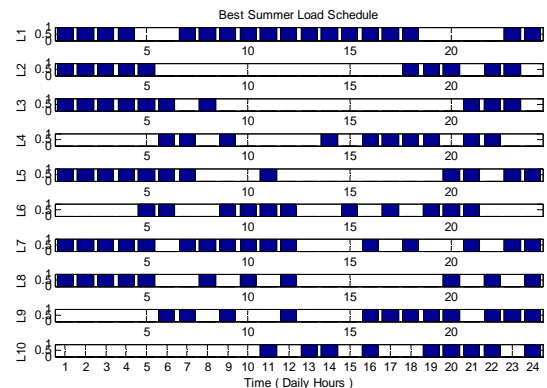
$$C_{\text{T-Winter}} = C_{\text{Demand}} + C_{\text{Energy-W}} = 1907.62 \$$$

در نهایت نتایج بدست آمده از الگوریتم بهینه‌سازی در جدول ۴ و محاسبات به اختصار در جدول ۵ بیان شده‌اند. حالت ۳ بهینه شده‌ی حالت ۱ برای شش‌ماهه اول سال تابستان و حالت ۴ بهینه شده‌ی حالت ۲ برای شش‌ماهه دوم سال زمستان می‌باشد.

جدول ۴: مقایسه بارهای ساعتی حالت‌های ۱ و ۳ و ۴ (واحد هر حسب kW)

ساعت	قبل از اعمال DSM حالت‌های ۱ و ۲	بعد از اعمال DSM تابستان - حالت ۳	بعد از اعمال DSM زمستان - حالت ۴
۱	۷۴۰	۹۴۰	۸۸۰
۲	۷۴۰	۹۴۰	۹۳۰
۳	۶۴۰	۹۴۰	۸۱۰
۴	۶۳۰	۹۴۰	۹۳۰
۵	۵۰۰	۹۴۰	۹۳۰
۶	۷۹۰	۹۴۰	۸۵۰
۷	۹۸۰	۹۴۰	۸۹۰
۸	۹۳۰	۸۵۰	۸۵۰
۹	۸۰۰	۹۰۰	۸۵۰
۱۰	۹۸۰	۸۱۰	۷۱۰
۱۱	۹۴۰	۹۴۰	۸۰۰
۱۲	۸۶۰	۸۴۰	۹۳۰
۱۳	۸۵۰	۴۳۰	۸۲۰
۱۴	۱۰۹۰	۶۳۰	۹۲۰
۱۵	۱۲۱۰	۵۲۰	۸۱۰
۱۶	۱۰۶۰	۹۱۰	۹۲۰
۱۷	۱۱۱۰	۷۵۰	۹۰۰
۱۸	۹۷۰	۹۳۰	۸۰۰
۱۹	۱۲۶۰	۹۰۰	۷۸۰
۲۰	۸۵۰	۸۹۰	۷۲۰
۲۱	۵۷۰	۸۸۰	۸۱۰
۲۲	۸۱۰	۸۸۰	۸۸۰
۲۳	۶۸۰	۹۳۰	۹۰۰
۲۴	۴۸۰	۹۰۰	۸۵۰

بعد از ۵۰۰۰۰ تکرار در مقدار ۱۹۰۱۰۰ ثابت می‌ماند. شکل ۳ خروجی الگوریتم ژنتیک، برنامه بهینه عملکرد بارهای کنترل پذیر می‌باشد.



شکل ۳: برنامه عملکرد تابستانی بارهای قابل قطع بعد از اجرای DSM

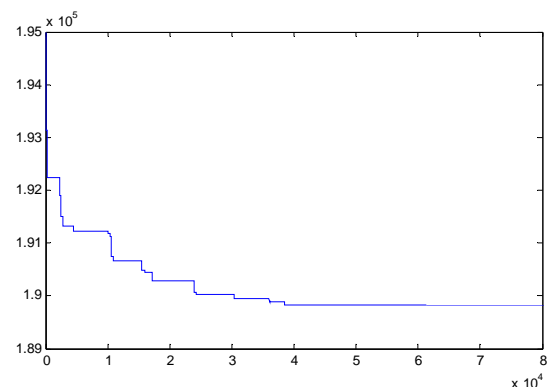
با توجه به مقادیر بهینه بار مصرفی روزانه در شش‌ماهه اول سال مطابق با جدول ۴، پیک بار در الگوی بار این فصل به ۹۴۰ kW رسید. هزینه دیماند و انرژی مصرفی حالت ۳ - زمستان براساس روابط (۵) و (۶)، به صورت زیر محاسبه گردید؛

$$C_{\text{Demand}} = 940 \times 0.60 = 564 \$$$

$$C_{\text{Energy-W}} = (L \times T + L_{\text{Constant}}) \times \text{Tariff}_{\text{Winter}} = 1330.98 \$$$

$$C_{\text{T-Winter}} = C_{\text{Demand}} + C_{\text{Energy-W}} = 1894.98 \$$$

حالت ۴: اجرای برنامه بهینه‌سازی عملکرد بارهای کنترل پذیر در شش‌ماهه دوم سال، با توجه به تعرفه فصلی زمستان همان‌طور که در شکل ۵ روند کاهش میزان تابع برازندگی F طبق رابطه (۴) دیده می‌شود که بعد از ۸۰۰۰۰ تکرار در مقدار ۱۸۹۸۴۰ ثابت می‌ماند.



شکل ۴: روند کاهش تابع برازندگی در بهینه نمودن عملکرد واحدها با توجه به تعرفه قراردادی فصلی زمستان

همچنین با توجه به برنامه عملکرد بهینه بارهای کنترل پذیر در شکل ۶ و مقادیر بهینه بار مصرفی روزانه در ۶ ماهه دوم سال مطابق با جدول ۴، پیک بار در الگوی بار این فصل به ۹۳۰ kW رسید. هزینه دیماند و انرژی مصرفی حالت ۴ - تابستان براساس روابط (۵) و (۶)، در ادامه محاسبه گردید؛

جدول ۵: مقایسه نتایج حاصل در حالت‌های ۳، ۱، ۲ و ۴

ضریب بار	هزینه تامین انرژی (\$)	متوسط انرژی مصرفی ساعتی (kW)	پیک بار (kW)	حالت
٪۶۵/۷	۲۱۹۴/۳۰	۸۲۷/۹۱	۱۲۶۰	حالت ۱
٪۶۵/۷	۲۱۸۳/۵۶	۸۲۷/۹۱	۱۲۶۰	حالت ۲
٪۸۸/۰۸	۱۸۹۴/۹۸	۸۲۷/۹۱	۹۴۰	حالت ۳
٪۸۹/۰۲	۱۹۰۷/۶۲	۸۲۷/۹۱	۹۳۰	حالت ۴

حاکم بر بارهای مدیریت‌پذیر از دیگر نقاط قوت این روش می‌باشد.

نتایج بدست‌آمده مزیت برنامه‌ریزی بهینه بارهای مدیریت‌پذیر براساس قیمت برق مصرفی، جهت کاهش در هزینه‌های تامین برق و تقاضای پیک مصرف‌کننده را به وضوح نشان می‌دهد. بطوریکه برای نمونه مورد مطالعه ۴/۲۵٪ کاهش در پیک تقاضا، ۶۴/۱۳٪ کاهش در هزینه کلی تامین انرژی و ۳۸/۲۲٪ افزایش ضریب بار در شش‌ماهه اول و ۱۹/۲۶٪ کاهش در پیک تقاضا، ۶۴/۱۲٪ کاهش در هزینه کلی تامین انرژی و ۳۲/۲۳٪ افزایش ضریب بار در شش‌ماهه دوم مشهود است.

مقایسه نتایج حاصل نشان دهنده اثرگذاری مناسب این روش از طریق الگوریتم ژنتیک در پاسخگویی مصرف‌کنندگان تابع شرکت توزیع به تعرفه‌های فصلی قراردادی می‌باشد. عملیاتی کردن این طرح برای یک کارخانه واقعی به‌عنوان یک مصرف‌کننده بزرگ از اهداف آتی این تحقیق می‌باشد.

مراجع

- [۱] غلامرضا شرکتی، مصطفی رجبی مشهدی، محمد حسین جاویدی، "ارائه راهکاری جدید برای مدیریت غیرمستقیم مصرف در محیط تجدید ساختار شده"، بیست و دومین کنفرانس مهندسی برق، ۱۳۸۶.
- [2] Ashok, S., Banerjee, R., "Load-management applications for the industrial sector." *Applied Energy*, vol. 66, pp. 105-111, 2000.
- [3] Chih-hsien, K., Michael, J., Chung-ming H., Chih-ming K. "An Adaptive Power System Load Forecasting Scheme Using A genetic Algorithm Embedded Neural Network", *IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference*, vol. 1, pp. 308-311, 1998.
- [4] Kung, C. H., Devaney, M. J., "Power source scheduling and adaptive load managements via a genetic algorithm embedded neutral network", *IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference*, vol. 2, pp. 1061-1065, 2000.
- [5] Babu, P. R., Divya, V. P. S., Venkatesh K. "Application of ANN and DSM Techniques for peak load management a Case study", *IEEE Sustainable Energy Technologies*, pp. 384-388, 2008.
- [6] Babu, P.R., Divya, V.P.S., Srikanth, P., Singh, B.D. "Neural network and DSM techniques applied to an industrial consumer a Case study", *IEEE Compatibility in Power Electronics conferences*, pp. 1-4, 2007.
- [7] Kirschen, D. S., "Demand-Side View of Electricity Markets", *IEEE Transaction on Power Systems*, Vol.18, No.2, pp.520-527, May 2003.
- [۸] سایت هیئت انرژی انتاریو، <http://www.oeb.gov.on.ca>

لازم به‌ذکر است که در تمامی حالات انرژی مورد نیاز مصرف‌کننده بطور کامل تامین شده است، مزایای طرح پیشنهادی این مقاله را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود؛
۱. کاهش پیک مصرف به میزان:

$$\Delta Peak_{summer} = (1260 - 940) / 1260 \times 100\% = 25.4\%$$

$$\Delta Peak_{winter} = (1260 - 930) / 1260 \times 100\% = 26.19\%$$

۲. کاهش هزینه تامین انرژی به میزان:

$$\Delta Cost_{summer} = (2194.30 - 1894.98) / 2194.30 \times 100\% = 13.64\%$$

$$\Delta Cost_{winter} = (2183.56 - 1907.62) / 2183.56 \times 100\% = 12.64\%$$

۳. افزایش در ضریب بار به میزان:

$$\Delta LF_{summer} = (88.08 - 65.7) \% = 22.38\%$$

$$\Delta LF_{winter} = (89.02 - 65.7) \% = 23.32\%$$

۴- نتیجه‌گیری:

کنترل غیرمستقیم تقاضا از طریق تعرفه‌های مبتنی بر زمان استفاده روش مناسبی جهت کنترل بار توسط شرکت‌های برق می‌باشد. در این حالت مشترک می‌تواند با تنظیم بهینه الگوی بار مصرفی خود، پاسخ مناسب در دوره‌های پیک و غیرپیک بار به تعرفه‌های قراردادی داشته باشد. بطوریکه بدون هیچ‌گونه تغییر در میزان انرژی مصرفی خود با برنامه‌ریزی بهینه عملکرد بارهای مدیریت‌پذیر، پیک تقاضای و هزینه تامین انرژی مصرفی خود را کاهش دهد.

شناسایی بارهای مدیریت‌پذیر، با توجه به اولویت‌بندی آن‌ها براساس میزان اهمیت برای مصرف‌کننده تعیین می‌شوند. اصلاح الگوی بار مصرفی به صورت یک مسئله بهینه‌سازی فرمول‌بندی شد. با توجه به غیرخطی و غیرمحدب بودن مسئله مورد مطالعه و مشکلات روش‌های کلاسیک در حل این‌گونه مسائل، الگوریتم ژنتیک به عنوان ابزاری کارآمد مورد استفاده قرار گرفت. علاوه بر این انعطاف‌پذیری الگوریتم ژنتیک در لحاظ نمودن قیود مختلف