

## مکان یابی و تعیین ظرفیت بهینه پستهای فوق توزیع با استفاده از الگوریتم ژنتیک در حضور بارهای غیر قطعی

محمود رضا حقی فام\*

دانشیار بخش برق - دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه تربیت مدرس

مجید شهابی\*\*

فارغ التحصیل کارشناسی ارشد بخش برق - دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه تربیت

مدرس

(تاریخ دریافت ۷۹/۱۲/۲۰، تاریخ تصویب ۸۱/۲/۲۸)

### چکیده

مسأله برنامه ریزی بلند مدت طرح توسعه شبکه توزیع از ابعاد مختلف دارای پیچیدگی های فراوانی بوده چرا که این مسأله دارای تعداد بسیار زیادی متغیر تصمیم گیری است. جایابی بهینه پستهای فوق توزیع و تعیین ظرفیت و حوزه سرویس دهی بهینه آنها یکی از مسائل عمده در طراحی توسعه می باشد. در این مقاله یک روش پیشنهادی برای یافتن تعداد، مکان، تعیین ظرفیت و حوزه سرویس دهی بهینه پستهای فوق توزیع از میان مکانهای کاندیدا برای احداث پست، ارائه گردیده است. با در نظر گرفتن نادقیق بودن پیش بینی بار نواحی، روش پیشنهادی بر اساس الگوریتم ژنتیک و مدل فازی برای میزان توان نواحی برقی مدلسازی شده و همراه با سه روش استاتیکی، پی درپی و شبه پویا طرح توسعه پستهای فوق توزیع برای دوره های مختلف زمانی پیشنهاد می گردد. با انجام آزمایشات گوناگون بر روی یک مثال پایه ای، کارایی روش ارائه شده نشان داده شده است.

**واژه های کلیدی :** پستهای فوق توزیع، جایابی بهینه، حوزه سرویس دهی، مدل فازی، الگوریتم ژنتیک

### مقدمه

\* Haghifam@modares.ac.ir

\*\* Shahabi\_m@ieee.org

زمینه طراحی و توسعه سیستم توزیع ارائه شده اند که در مرجع [۲] مروری بر این روشها یافت می‌شود. مسأله‌ای که در این مقاله به آن پرداخته خواهد شد عبارتست از یافتن مکان، ظرفیت و حوزه سرویس دهی بهینه پستهای فوق توزیع در یک دوره طراحی بلند مدت به روشهای استاتیکی، پی در پی و شبه پویا [۳]. مکان یابی پستها از میان مکانهای کاندیدا برای احداث انجام می‌شود. بحث عدم قطعیت در پیش بینی بار بوسیله یک مدل فازی مناسب برای میزان توان بار در نظر گرفته می‌شود. روش بهینه سازی مورد استفاده، الگوریتم ژنتیک می باشد.

### تشریح مسأله و روش پیشنهادی

هدف اساسی و مسأله مهم موضوع این مقاله تعیین مکان، ظرفیت و حوزه سرویس دهی بهینه پستهای فوق توزیع در طول یک دوره برنامه ریزی بلند مدت می باشد. الگوریتم پیشنهادی بر پایه تئوری مجموعه‌های فازی و الگوریتم بهینه سازی ژنتیک بوده و در طراحی بلند مدت نیز از سه روش استاتیکی، پی در پی و شبه پویا استفاده گردیده است. در ابتدا فرض بر این است که محدوده جغرافیایی خاصی که منطقه مورد مطالعه را تشکیل می دهد، وجود داشته است. منطقه مورد مطالعه برای پیش بینی بار به نواحی کوچکتری (نواحی

طراحی و توسعه سیستم های توزیع انرژی الکتریکی از آن جهت ضروری به نظر می رسد که رشد مصرف انرژی بایستی همواره توسط سیستم بصورت فنی و اقتصادی تامین گردد [۱].

مکان یابی و تعیین ظرفیت پست ها برای توسعه در آینده بطور قاطع از نقطه نظر طراحی و برنامه ریزی بلند مدت سیستمهای توزیع توان الکتریکی به منظور تأمین بار آینده، موثر خواهد بود. مدل‌های دقیق مسائل برنامه ریزی بلند مدت، مدل‌های غیر خطی همراه با متغیرهای گسسته می باشند [۱]. بیشتر توجهات بر روی تعیین مکان بهینه برای جایابی پستها (فوق توزیع وتوزیع)، برنامه ریزی پست و فیدر، یافتن بهترین طرح فیدرکشی و کاهش هزینه از طریق بهینه سازی سطح مقطع هادی متمرکز شده است [۳-۷] و [۱۰-۱۴]. ظرفیت بهینه پستهای فوق توزیع به چگالی بار، آرایش خطوط فوق توزیع، هزینه واحد طول خطوط فوق توزیع و فیدرهای اولیه، قیمت زمین و سایر عوامل منجمله استانداردهای معمول بستگی دارد.

در سالهای اخیر مدلها و الگوریتم های ریاضی و هوشمند فراوانی مانند برنامه ریزی خطی آمیخته با عدد صحیح، روش شاخه و کران و تبادل شاخه و غیره در

بزرگ (شهرها) مساله ای بس دشوار و حجیم خواهد بود، لذا برای مساله جایابی بهینه پستهای فوق توزیع، شبکه پایین دستی (توزیع) را بصورت نواحی برقی همراه با میزان تقاضایشان متمرکز در مراکز ثقل آنها در نظر می گیریم. میزان تقاضا در نواحی برقی توسط پیش بینی بار بدست می آید. با توجه به این مدلسازی از شبکه توزیع تابع هدف و قیود مساله را بصورت زیر بیان می کنیم:

$$\text{Min. } F = k_c \sum_{i=1}^n C_{ssi} \sum_{t=1}^M B^t k_v \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{nl} D_{ij} S_{ij} + k_1 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{nl} D_{ij} S_{ij}^2$$

**s.t.**

(۱)

$$\sum_{j=1}^{nl} S_{ij} < U_{i_{\max}} \quad \text{for } i=1, K, n$$

(۲)

که در آن

$$U_{i_{\max}} = k_{\max} * S_{i_{\max}} \quad \text{for } i=1, K, n$$

$$B = \frac{(1+f)}{(1+\mu)}$$

$$M = P_p - T_T + 1$$

(۳)

n : مجموعه ای از پست های موجود و

کاندیدا

nl : مجموع نقاط بار متصل به پست Am

Dij : فاصله نقطه بار j ام از پست Am

برقی) تقسیم می شود. هر ناحیه برقی به همراه بار مصرفی متناظر در مرکز ثقل آن به عنوان یک نقطه بار تعریف می گردد. برای برنامه ریزی بلند مدت ابتدا کل دوره طراحی (از سال مبنا تا سال افق) را به چندین دوره زمانی متوالی تقسیم می کنیم. علت این امر به سبب محدودیتهای عملی در ساخت و تجهیز پستهای فوق توزیع می باشد که معمولاً این دوره زمانی ۲ تا ۳ سال می باشد. سپس فرض می شود که پیش بینی بار و تعیین مراکز ثقل بار برای نواحی برقی در طول دوره های مختلف زمانی از سال مبنا تا سال افق انجام پذیرفته باشد.

پس از انجام پیش بینی بار نواحی برقی، باید مکانهای کاندیدا برای احداث پست در منطقه مورد مطالعه مشخص گردند. عمل بهینه سازی برای یافتن مکان، تعیین ظرفیت و حوزه سرویس دهی بهینه پستهای فوق توزیع از میان مکانهای کاندیدا برای احداث پست (با رعایت کلیه قیود) در هر دوره زمانی انجام می شود.

### تابع هدف و قیود

از آنجایی که در نظر گرفتن شبکه توزیع با تمام جزئیات (اعم از فیدرها، ترانسفورماتورهای توزیع و هادیها) همراه با پستهای فوق توزیع در یک منطقه تقریباً

بخش مربوط به هزینه پستها با توجه به نرخ تورم و بهره در تابع هدف از مرجع [۵] استفاده گردیده است. شاخص حاصلضرب فاصله در میزان توان بار ناشی از این واقعیت است که بارها باید از نزدیکترین پست تغذیه شوند. همچنین از آنجائیکه می توان مقدار توان نقطه بار را متناسب با جریان (با فرض ولتاژ ثابت) و مقدار فاصله نقطه بار تا پست را متناسب با مقاومت فرض نمود لذا شاخص حاصلضرب توان نقطه بار در فاصله آن تا پست را می توان متناسب با افت ولتاژ و شاخص حاصلضرب مربع توان نقطه بار در فاصله آن تا پست را متناسب با میزان تلفات در نظر گرفت.

ضریب  $k_v$  عبارتست از هزینه انتقال 1 MVA توان از یک نوع هادی به فاصله یک کیلومتری. همچنین ضریب  $k_l$  عبارتست از هزینه میزان تلفات ناشی از عبور 1MVA توان در یک کیلومتر از یک نوع هادی در طول دوره طراحی. از آنجائیکه نقطه تمرکز بار، نقطه مجازی و فرضی است لذا نباید برای یافتن فاصله آن از پست از طریق خیابانها مسیر یابی کرد. یافتن فاصله به طریق شعاعی و مستقیم نیز به دلیل آنکه امکان طی کردن چنین فاصله ای عملاً اندک است روش معقولی نمی باشد. روشی که برای فاصله یابی انتخاب شده است محاسبه فاصله افقی و عمودی و

$S_{ij}$ : میزان توان نقطه بار  $i$ ام متصل به پست  $i$ ام (عدد فازی)

$C_{ssi}$ : مجموع هزینه های زمین مورد نیاز، خرید و نصب تجهیزات پستها (برای پستهای کانیدیدا و توسعه پستهای موجود)

$k_c$ : ضریب وزنی وابسته به هزینه زمین، خرید و نصب تجهیزات پستها

$k_v$ : ضریب وزنی وابسته به هزینه انتقال توان (متناسب با شاخص افت ولتاژ)

$k_l$ : ضریب وزنی وابسته به هزینه اتلاف انرژی

$f$ : نرخ تورم

$\mu$ : نرخ بهره

$k_{max}$ : ضریب وزنی مربوط به حداکثر بهره برداری از پستها (عدد فازی) [قید قابلیت اطمینان]

$S_{i_{max}}$ : حداکثر ظرفیت قابل نصب برای پستهای کانیدیدا؛ و حداکثر ظرفیت نصب شده یا قابل توسعه برای پستهای موجود

$P_p$ : طول دوره طراحی برحسب دوره های زمانی

$T_T$ : دوره زمانی میانی

قیود مسأله عبارتند از تغذیه شدن تمامی نقاط بار، هر نقطه بار حداکثر می تواند از دو پست تغذیه شود و میزان باردهی پستها باید در محدوده مجاز کارکرد آنها قرار داشته باشد.

یک حاشیه اطمینان مناسبی می توان به نتایج واقعی تری دست یافت. میزان توان پیش بینی شده هر نقطه بار در هر دوره زمانی بصورت یک عدد فازی LR مثلثی و نرمال [۸]  $(M = (m, \alpha, \beta)_{LR})$  نشان داده می شود (شکل (۱)).

### مدل فازی برای $K_{max}$

برای لحاظ کردن قید قابلیت اطمینان پستها، یک محدوده ای را برای کارکرد آنها قائل می شویم، این مسأله به صورت حاصلضرب یک عدد فازی LR در ظرفیت نصب شده و یا قابل نصب بیان شده است. به عبارت دیگر میزان باردهی پستها به صورت فازی در نظر گرفته می شود.  $K_{max}$  بصورت عدد فازی مثلثی  $K_{max} = (0.7, 0.5, 0.05)_{LR}$  در نظر گرفته شده است.

### روش بهینه سازی

الگوریتم ژنتیک (GA) الگوریتمی جستجوگر است که بر پایه مکانیسم ژنتیک طبیعی بنا شده است. هدف الگوریتم بهینه کردن یک تابع به نام تابع برازندگی تعریف شده توسط کاربر می باشد [۹]. الگوریتم ژنتیک مورد استفاده در روش پیشنهادی، الگوریتم ژنتیک با اعداد فازی می باشد. بدین صورت که برای محاسبه

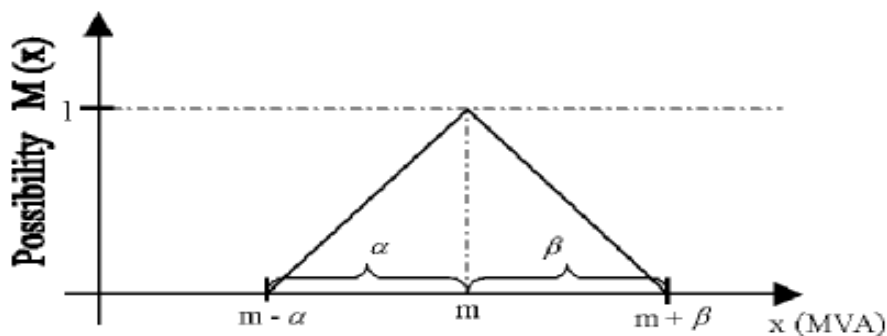
سپس جمع کردن آنها با هم است. تابع هزینه برای ظرفیت های گوناگون پستها بصورت پله ای در نظر گرفته شده است. بدین صورت که قیمت تمام شده برای هر یک از ظرفیتهای استاندارد موجود برای پستهای فوق توزیع عبارتست از هزینه زمین مورد نیاز، تجهیزات، ساختمان، حمل و نقل و نصب.

### مدل فازی برای نقاط بار

برای الگوریتم پیشنهادی میزان توان نقاط بار نواحی در دوره های مختلف زمانی مورد نیاز می باشد. از آنجا که مقادیر توان نقاط بار نواحی در دوره های مختلف زمانی از پیش بینی بار بدست می آیند و خود بحث پیش بینی بار همراه با عدم قطعیت است لذا استفاده از مجموعه های فازی که برای بیان مقادیر نادقیق بکار می رود، مد نظر قرار گرفت. یعنی بجای اینکه از یک عدد قطعی برای بیان میزان توان پیش بینی شده بار استفاده شود، از یک عدد فازی برای میزان توان بار استفاده می کنیم. این امر با توجه به اینکه بحث عدم قطعیت در پیش بینی بار را پوشش می دهد می توان گفت که به واقعیت نزدیکتر خواهد بود. لذا اهمیت این نوع مدلسازی برای بیان مقادیر پیش بینی شده توان نقاط بار نواحی در دوره های مختلف زمانی این است که با

است. بدین ترتیب تمامی محاسبات تابع هدف و برازندگی در الگوریتم ژنتیک با اعداد فازی و قواعد حاکم بر آن انجام می‌شود.

تابع هدف و تابع شایستگی از اعمال جبری بر روی اعداد فازی LR [۸] استفاده می‌شود. همچنین برای مرتب کردن مقادیر فازی برازندگی کروموزومها از رتبه بندی فازی به روش برش- $\alpha$  [۸] استفاده شده



شکل ۱: مدل فازی توان نقطه بار.

$$M(x) = \begin{cases} \frac{x - (m - \alpha)}{\alpha} & m - \alpha < x < m \\ \frac{(\beta + m) - x}{\beta} & m < x < \beta + m \end{cases}$$

$m$ : مقدار نمایی یا میانه

$\alpha$ : پهناي چپ

$\beta$ : پهناي راست

شده است که این مورد در ادامه توضیح داده می‌شود. شکل (۲) ساختار کروموزومها در مسأله را نشان می‌دهد. بخش اول کروموزوم مربوط به عمل تخصیص بار پستها و بخش دوم مختص بحث تقسیم بار در نواحی می‌باشد. در بخش اول کروموزوم، هر ژن یک بیت ۱ یا صفر می‌باشد که نشانگر تغذیه و یا عدم

### ساختار کروموزوم

برای مسأله مورد نظر، کروموزوم در نظر گرفته شده شامل دو بخش اصلی است. بخش اول دارای تعداد  $NS * NL$  ژن و بخش دوم دارای  $NL$  ژن می‌باشد. که  $NL$ ، تعداد نقاط بار و  $NS$  مجموع پستهای موجود و کاندیدا می‌باشد. در کدینگ مسأله، بحث تقسیم بار<sup>۱</sup> نیز در نظر گرفته

$C_p$ : ضریب جریمه (ضریب ثابتی که بزرگ در نظر گرفته می شود)

### اصلاح عملگر جهش ساده و معرفی عملگر جهش تکمیلی

جهش برای هر کروموزوم با احتمال  $P_m$  صورت می گیرد. در این مقاله از دو نوع جهش به شرح زیر استفاده شده است:

- **جهش ساده**: انتخاب یک ژن بصورت تصادفی و جهش آن به یک مقدار تصادفی، البته عمل جهش در هر بخش از کروموزوم بصورت جداگانه انجام می شود.
- **جهش تکمیلی**: انتخاب یک پست بصورت تصادفی و قطع دورترین نقطه بار متصل به آن پست در کروموزوم مورد نظر (صفر کردن ژن مربوط به تغذیه آن نقطه بار توسط پست انتخاب شده).

در هنگام اجرای الگوریتم با استفاده از جهش ساده (در صورت افزایش تعداد ژنها) احتمال اینکه یک پست کاندیدا از میان کاندیداها حذف شود (تمامی ژنهای مربوط به اتصال بارها بدان صفر شود) بسیار اندک و نزدیک صفر خواهد بود. لذا در هنگام اجرای این الگوریتم بصورت ذیل عملگر جهش اصلاح گردید. در هر جهش با یک

تغذیه بار مربوطه توسط پست مورد نظر می باشد. اما بخش دوم کروموزوم که شامل  $NL$  عدد صحیح (بین صفر و ۱۰۰) می باشد برای لحاظ کردن بحث تقسیم بار مورد نظر قرار گرفته است. حال فرض کنید که نقطه باری توسط ۲ پست تغذیه شود. در اینصورت میزان سهم تغذیه بار برای هر پست توسط عدد موجود در ژن مربوطه (شماره نقطه بار) در بخش دوم کروموزوم تعیین می گردد. بطوریکه عدد مربوطه درصد تغذیه بار برای پست اول را نشان میدهد.

### تابع برازندگی

از آنجا که هدف رسیدن به مقدار کمینه تابع هدف است؛ همچنین به منظور لحاظ کردن قیود، تابع برازندگی را بصورت زیر تعریف می کنیم:

$$\text{Fitness} = M - (\text{Obj. Value} + C_p * \text{Infeasibility}) \quad (4)$$

$M$ : یک عدد فازی  $LR$  به اندازه کافی بزرگ

$\text{Obj. Value}$ : مقدار تابع هدف (عدد فازی)

$\text{Infeasibility}$ : میزان غیر عملی بودن کروموزوم (عدد فازی)

اتصال بار مربوطه ۱ می شود. این عمل تا آخرین نقطه بار انجام می پذیرد. بنابراین پس از اتمام کار این زیربرنامه، تمام نقاط بار توسط پستها تغذیه شده و دو قید اساسی مسأله برآورده شده است. برای حفظ این خواص در نسلهای بعدی نیز در هر تکرار و تولید هر کروموزوم جدید، مجدداً زیربرنامه فوق با شروع از ساختار مشخص شده توسط آن کروموزوم و اتصال تصادفی بارهای منفصل بکار گرفته می شود.

### برنامه ریزی بلند مدت

از آنجا که بار سیستم توزیع در طی دوره مورد مطالعه متغیر با زمان می باشد باید تأثیر گذشت زمان را نیز در برنامه ریزی از طریق تعیین زمان مناسب برای احداث هر پروژه در نظر گرفت. در این مقاله سه روش برای برنامه ریزی بلند مدت مورد استفاده قرار گرفت که در زیر به تشریح هر یک می پردازیم:

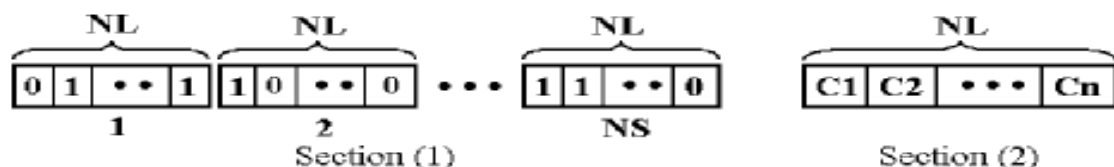
**الف- روش استاتیکی:** در این روش ابتدا کل دوره مطالعه یعنی از سال مبنا تا سال افق به چندین دوره زمانی متوالی تقسیم می شود. سپس برای هر دوره زمانی با توجه به میزان بار(حداکثربار) منطقه و در نظر گرفتن سال مبنا و پستهای موجود آن، عمل بهینه سازی انجام می شود.

احتمال نسبتاً کم یکی از پست های کاندیدا انتخاب شده و تمامی ژنهای مربوط به آن صفر می گردد. این عمل در افزایش سرعت اجرای الگوریتم و کاهش تعداد پستهای انتخابی نقش مثبتی را ایفا می کند. عمل تقاطع بر روی کروموزومهای انتخابی به صورتی انجام می پذیرد که هر یک از بخشهای کروموزومها به صورت جداگانه با هم تقاطع انجام می دهند و فرزندان جدید تولید می کنند. عمل تقاطع در بخش اول به روش جابجایی و در بخش دوم به روش جابجایی یا ریاضی امکان پذیر است.

### معرفی زیر برنامه اصلاحی

زمانی که طول کروموزوم افزایش می یابد (تعداد ژنها زیاد می شود)، پس از گذشت چندین هزار تکرار نیز الگوریتم حتی از یافتن یک جواب قابل قبول (ممکن) ناتوان بود. روش بسیار موثری که باید بکار گرفته می شد آن بود که می بایست از ابتدا مانع سوق یافتن کروموزومها بسمت پاسخ های دارای جریمه شد. زیربرنامه طراحی شده بدین صورت عمل می کند که در تولید جمعیت اولیه با شروع از اولین نقطه بار، آن را بصورت تصادفی به یک یا دو پست (اعم از موجود یا کاندیدا) متصل می کند. به عبارتی بیت متناظر با





شکل ۲ : ساختار کروموزوم برای کدینگ مسأله .

فرایند بهینه سازی برای سال افق مکان و ظرفیت بهینه پستهای فوق توزیعی که باید در طول دوره مطالعه ساخته شوند بدست می آید. در بخش دوم، توسعه متوالی یک مرحله ای برای سیستم توزیع انجام می شود. بدین صورت که از ابتدا برای دوره زمانی اول با توجه به وضعیت موجود سال مبنا و پستهای انتخاب شده از بخش اول بعنوان کاندیداها، عمل بهینه سازی انجام می شود. سپس برای دوره زمانی دوم، دوره زمانی قبل بعنوان وضعیت موجود در نظر گرفته شده و پستهای باقیمانده از بخش اول بعنوان کاندیداها در عمل بهینه سازی شرکت می کنند.

در واقع در روش استاتیکی فرض بر ثابت بودن بار است و عمل بهینه سازی برای هر دوره، جدا و با در نظر گرفتن سال مبنا بعنوان وضعیت موجود انجام می شود. اساساً روش استاتیکی برای زمان طراحی

**ب- روش پی در پی :** در این روش ابتدا کل دوره مطالعه به چندین دوره زمانی متوالی تقسیم می شود. سپس برای دوره زمانی اول عمل بهینه سازی را با وجود پستهای موجود و قابلیت توسعه آنها در سال مبنا انجام می دهیم. پس از اتمام عمل بهینه سازی در دوره زمانی اول، به منظور انجام عمل بهینه سازی در دوره زمانی دوم، پستهایی که در دوره زمانی اول از میان کاندیداها انتخاب شده بودند و همچنین پستهای موجود سال مبنا به عنوان پستهای موجود برای این دوره زمانی در نظر گرفته می شوند. این روند همچنین برای دوره های زمانی بعدی نیز تکرار می شود.

**ج- روش شبه پویا :** در روش شبه پویا کل مسأله طراحی توسعه به دو بخش تقسیم می شود. در بخش اول، یک بهینه سازی استاتیکی برای تغذیه میزان بار سال انتهای دوره طراحی انجام می شود. بعد از

الگوریتم پیشنهادی مقایسه گردید. آزمایشات انجام شده عبارتند از:

الف- در نظر گرفتن شبکه پایه‌ای و میزان بارها در حالیکه پستهای موجود در معرض اضافه بار قرار داشته‌اند.

ب- در نظر گرفتن شبکه و نقاط بار در حالیکه پستهای موجود امکان توسعه داشته‌اند.

ج- افزایش میزان رشد بار در بعضی نواحی (برهم زدن تمرکز بار) همراه با امکان توسعه برای پستهای موجود.

در تمام آزمایشات فوق محل و تعداد پستهای کاندیدا ثابت در نظر گرفته شده است. منطقه مورد مطالعه برای مثال پایه‌ای در شکل (۳) نشان داده شده است. در ادامه، آزمایشات به تفکیک تشریح می‌شوند.

### آزمایش اول

برای سنجش میزان کارایی الگوریتم پیشنهادی، در یک چهارم از منطقه مورد مطالعه (شکل ۳) که شامل ۹ ناحیه بار می‌باشد، عمل جستجوی مستقیم برای بهینه کردن تابع هدف انجام شد. عمل جستجوی مستقیم در ناحیه مورد بحث برای یک دوره زمانی، دو پست موجود و بدون امکان توسعه، دو پست کاندیدا و بدون در نظر گرفتن مدل فازی و بحث تقسیم بار انجام شد. کل ترکیبات بررسی شده در این حالت

مشخص (مقطعی) مناسب می‌باشد چرا که این روش یک روش تک مرحله‌ای بشمار می‌آید. روش پی در پی، روشی چند مرحله‌ای قلمداد می‌شود. این روش به نوعی یک روش شبه پویاست که بصورت مرحله به مرحله تا سال افق طراحی انجام می‌شود و بیشتر برای طراحی با افق زمانی کوتاه مناسب می‌باشد. روش شبه پویا یک روش چند مرحله‌ای بوده و بیشتر برای طراحی با افق زمانی بلند مناسب می‌باشد. در هر صورت هر یک از روشهای فوق دارای خواص مورد نظر خود می‌باشند و با استفاده از آنها می‌توان طرحهای گوناگونی برای یک مسأله فراهم کرد تا طراح بتواند بهتر در مورد استراتژیهای مختلف تصمیم‌گیری نماید.

### مطالعه عددی

به منظور ارزیابی عملکرد الگوریتم پیشنهادی و با توجه به عدم وجود داده‌های دقیق برای یک منطقه واقعی، یک مثال پایه‌ای طراحی شده و سپس آزمایشات مختلفی روی آن صورت پذیرفته است. در ابتدا برای نشان دادن میزان دقت الگوریتم ارائه شده، طی آزمایشی تمامی حالات ممکن برای مسأله مورد نظر تولید شده و نتیجه آن با خروجی نرم افزار

۴<sup>۹</sup> بوده است. بطوریکه عدد ۴، مجموع پستهای موجود و کاندیدا و عدد ۹، مجموع نقاط بار می باشند. مشخصات نقاط بار نواحی، پستهای موجود و کاندیدا در این حالت درجداول (۱) و (۲) آورده شده است.

لازم به ذکر است که در این آزمایش و آزمایشات بعدی مرکز ثقل بار هر ناحیه در مرکز آن متمرکز فرض می شود. نتیجه حاصل از جستجوی مستقیم برای این آزمایش در جدول (۳) نشان داده شده است. همین آزمایش توسط الگوریتم ژنتیک پیشنهادی انجام شد. الگوریتم ژنتیک تقریباً بعد از ۴۵ تکرار (نسل) به جواب بهینه رسید. با افزایش تکرار، تغییری در جواب حاصل نمی شد. با توجه به عملگرهای اصلاحی و زیر برنامه اتصال بار های منقطع بکار رفته در الگوریتم ژنتیک، در کمتر از ۵ فضای جواب، نقطه بهینه بدست آمد.

همانطور که جدول (۳) نشان می دهد این جدول از دو بخش پستهای موجود و پستهای کاندیدای انتخاب شده، تشکیل شده است. در بخش پستهای موجود هر سطر به ترتیب شامل: ۱- نام پست موجود، ۲- ظرفیت نصب شده پست موجود، ۳- میزان باردهی پست موجود (عددی فازی مثلثی که عدد وسط نشانگر میزان توان

باردهی پست با بیشترین امکان و عدد سمت راست حد بالای توان باردهی و عدد سمت چپ حد پایین باردهی با کمترین امکان می باشند)، ۴- ظرفیت پیشنهادی برای پست موجود و ۵- نواحی بار تخصیص داده شده به پست موجود (نواحی برقی که از آن پست موجود تغذیه می شوند).

همچنین در بخش پستهای کاندیدای انتخاب شده، هر سطر به ترتیب شامل: ۱- نام پست انتخاب شده، ۲- میزان باردهی پست انتخاب شده (عدد فازی مثلثی)، ۳- ظرفیت پیشنهادی برای پست انتخاب شده و ۴- نواحی بار تخصیص یافته به پست مورد نظر (نواحی برقی که توسط پست مورد نظر تغذیه می شوند).

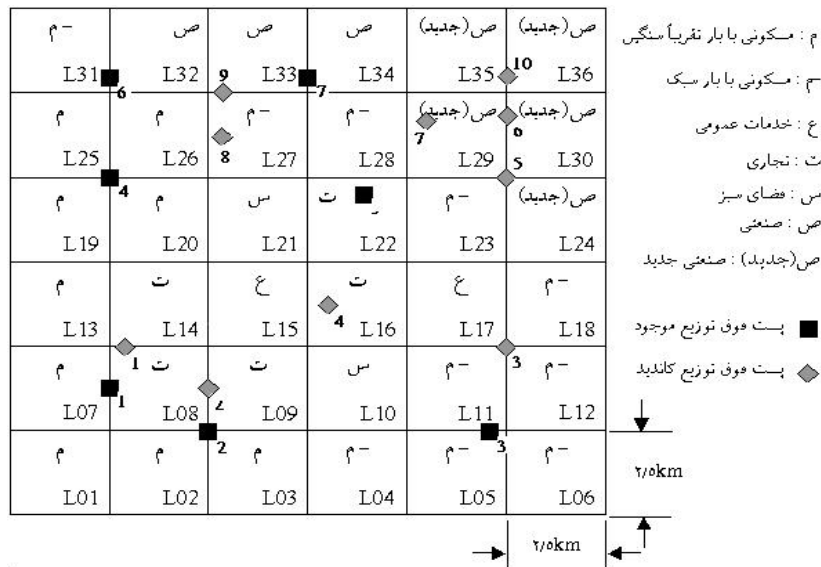
لازم به ذکر است که جداول مربوط به نتایج آزمایشات بعدی نیز دارای همین قالب می باشند.

### آزمایش دوم

در این آزمایش با در نظر گرفتن منطقه مورد مطالعه (شکل ۳) و این مطلب که مقادیر نقاط بار بطوری است که پستهای موجود در معرض اضافه بار قرار دارند و امکان توسعه نیز برای آنها وجود ندارد، یک مطالعه بلند مدت با پستهای موجود و کاندیدا انجام می شود.

دوم با بار ۱۰ MVA و نرخ رشد ۱۰٪ در نظر گرفته شده‌اند. برای لحاظ کردن عدم قطعیت در پیش بینی بار، مقادیر توان بار در دوره‌های زمانی، با یک محدوده ۱۰٪+ و ۱۰٪- در نظر گرفته شد. کل دوره مطالعه شامل ۳ دوره زمانی ۳ ساله می‌باشد.

میزان بار در سال مینا(برحسب MVA) و مقادیر نرخ رشد بار برای مناطق مسکونی با بار سبک، مسکونی با بار سنگین، تجاری، عمومی، فضای سبز و صنعتی به ترتیب عبارتند از ۵ و ۶٪، ۱۰ و ۲٪، ۶ و ۲٪، ۲ و ۱ و ناچیز و ۲۰ و ۲٪. مناطق صنعتی جدید از دوره زمانی



شکل ۳: منطقه مورد مطالعه برای مثال پایه ای.

جدول ۲: مشخصات

ظرفیت نصب شده (MVA)	شماره پست (موجود)
۶۰	۱
۴۵	۲
ظرفیتهای قابل نصب	(کандید)
۶۰ و ۴۵ و ۳۰ و ۱۵	۱
۶۰ و ۴۵ و ۳۰ و ۱۵	۲

جدول ۱: مشخصات نقاط بار. پستهای موجود و کاندیدا.

ردیف	نام ناحیه بار	میزان تقاضا (MVA)	نرخ رشد بار (%)
۱	L01	۱۰	۲
۲	L02	۱۰	۲
۳	L03	۱۰	۲
۴	L07	۱۰	۲
۵	L08	۶	۲
۶	L09	۶	۲
۷	L13	۱۰	۲
۸	L14	۶	۲
۹	L15	۲	میان ناچیز

جدول ۳ : نتایج حاصل از روش جستجوی مستقیم.

**Existing Substations :**

Substation Name	Capacity < MVA >	Loading			Proposed Capacity < MVA >	Allocated Loadpoints			
		Low Band	High Poss.	Up Band		L01	L04	L05	L07
Exis_1	60.00	38.20	38.20	38.20	60.00	L01	L04	L05	L07
Exis_2	45.00	27.59	27.59	27.59	45.00	L02	L03	L06	

**Chosen Candidate Substations :**

Substation Name	Loading			Proposed Capacity < MVA >	Allocated Loadpoints			
	Low Band	High Poss.	Up Band		L08	L09		
New_1	8.37	8.37	8.37	15.00	L08	L09		

جدول ۴ : روش استاتیکی، دوره زمانی سوم.

**Existing Substations :**

Substation Name	Capacity < MVA >	Loading			Proposed Capacity < MVA >	Allocated Loadpoints						
		Low Band	High Poss.	Up Band		(%60)L01	(%53)L02	(%79)L07	(%66)L08	(%35)L09	(%45)L13	(%22)L14
Exis_1	60.00	33.43	37.14	40.86	60.00	(%60)L01	(%53)L02	(%79)L07	(%66)L08	(%35)L09	(%45)L13	(%22)L14
Exis_2	45.00	28.25	31.39	34.53	45.00	(%40)L01	(%47)L02	(%81)L03	(%47)L04	(%18)L06	(%65)L09	(%58)L15
Exis_3	45.00	28.35	31.50	34.65	45.00	(%53)L04	(%86)L05	(%82)L06	L10	(%93)L11	(%17)L17	(%43)L18
Exis_4	60.00	30.91	34.34	37.77	60.00	(%76)L19	(%68)L20	(%65)L25	(%43)L26	(%32)L27	(%18)L31	
Exis_5	45.00	28.01	31.12	34.23	45.00	(%40)L12	(%78)L16	(%67)L21	L22	(%61)L23	(%25)L24	(%69)L28
Exis_6	45.00	28.28	31.42	34.57	45.00	(%24)L19	(%35)L25	(%82)L31	(%73)L32			
Exis_7	60.00	36.30	40.33	44.37	60.00	(%68)L27	(%50)L33	(%73)L34	(%39)L35			

**Chosen Candidate Substations :**

Substation Name	Loading			Proposed Capacity < MVA >	Allocated Loadpoints							
	Low Band	High Poss.	Up Band		(%19)L03	(%21)L07	(%34)L08	(%55)L13	(%78)L14	(%22)L16	(%19)L29	(%40)L30
New_1	18.87	20.96	23.06	30.00	(%19)L03	(%21)L07	(%34)L08	(%55)L13	(%78)L14	(%22)L16		
New_5	28.04	31.15	34.27	45.00	(%14)L05	(%7)L11	(%60)L12	(%83)L17	(%57)L18	(%75)L24	(%19)L29	(%40)L30
New_6	36.99	41.09	45.20	60.00	(%39)L23	(%81)L29	(%60)L30	(%61)L35	(%82)L36			
New_8	18.79	20.88	22.97	30.00	(%42)L15	(%32)L20	(%33)L21	(%57)L26	(%31)L28	(%27)L32		
New_9	18.72	20.80	22.88	30.00	(%50)L33	(%27)L34	(%18)L36					

جدول ۵ : روش پی در پی، دوره زمانی سوم.

**Existing Substations :**

Substatio Name	Capacity < MVA >	Loading			Proposed Capacity < MVA >	Allocated Loadpoints							
		Low Band	High Poss.	Up Band									
Exis_1	60	34.79	38.65	42.52	60	(%58)L01	(%36)L02	(%90)L07	(%74)L08	(%59)L13	(%60)L14		
Exis_2	45	26.60	29.55	32.51	45	(%42)L01	(%64)L02	(%63)L03	(%43)L04	(%12)L06	(%10)L07	(%26)L08	(%23)L09
Exis_3	45	26.53	29.48	32.43	45	(%57)L04	(%81)L05	(%88)L06	(%60)L11	(%41)L12	(%22)L18		
Exis_4	60	36.68	40.75	44.83	60	(%41)L13	(%40)L14	(%75)L19	(%76)L20	(%57)L25	(%56)L26	(%17)L31	
Exis_5	45	28.34	31.49	34.64	45	(%83)L22	(%54)L23	(%42)L24	(%52)L28	(%46)L34			
Exis_6	45	26.75	29.72	32.69	45	(%25)L19	(%24)L20	(%43)L25	(%44)L26	(%83)L31	(%27)L33		
Exis_7	60	35.10	39.00	42.90	60	(%31)L27	(%48)L28	(%40)L32	(%73)L33	(%40)L35			
New_3	30	17.93	19.92	21.91	30	(%19)L05	(%40)L11	(%59)L12	(%19)L16	L17	(%78)L18		
New_6	60	36.90	40.99	45.09	60	(%58)L24	(%53)L29	(%72)L30	(%60)L35	(%65)L36			
New_9	30	18.69	20.77	22.85	30	(%60)L21	(%69)L27	(%60)L32					

**Chosen Candidate Substations :**

Substation Name	Loading			Proposed Capacity < MVA >	Allocated Loadpoints							
	Low Band	High Poss.	Up Band									
New_2	8.95	9.94	10.94	15.00	(%37)L03	(%77)L09						
New_4	9.38	10.43	11.47	15.00	L10	L15	(%81)L16	(%40)L21	(%17)L22			
New_7	28.29	31.43	34.58	45.00	(%46)L23	(%47)L29	(%28)L30	(%54)L34	(%35)L36			

جدول ۶: روش شبه پویا، دوره زمانی سوم.

**Existing Substations :**

Substatio Name	Capacity < MVA >	Loading			Proposed Capacity < MVA >	Allocated Loadpoints							
		Low Band	High Poss.	Up Band									
Exis_1	60	37.58	41.76	45.93	60	(%69)L01	(%21)L03	L07	(%64)L08	(%37)L09	(%48)L13	(%48)L14	(%22)L19
Exis_2	45	26.60	29.56	32.51	45	(%31)L01	(%67)L02	(%79)L03	(%46)L04	(%63)L09			
Exis_3	45	26.83	29.81	32.79	45	(%54)L04	(%88)L05	(%66)L06	(%73)L10	L11	(%19)L16	(%9)L17	(%18)L18
Exis_4	60	29.69	32.99	36.29	60	(%78)L19	(%74)L20	(%56)L25	(%56)L26	(%17)L31			
Exis_5	45	27.79	30.88	33.96	45	(%81)L16	(%99)L21	L22	(%82)L23	(%35)L24	(%63)L28		
Exis_6	45	28.25	31.39	34.53	45	(%44)L25	(%44)L26	(%83)L31	(%58)L32				
Exis_7	60	37.78	41.98	46.18	60	(%1)L21	(%47)L27	(%42)L32	(%31)L33	(%86)L34			
New_3	15	27.72	30.80	33.88	45	(%12)L05	(%34)L06	(%27)L10	L12	(%91)L17	(%82)L18	(%65)L24	(%6)L36
New_1	15	18.84	20.94	23.03	30	(%33)L02	(%38)L08	(%52)L13	(%52)L14	(%68)L15	(%26)L20		
New_7	90	55.41	61.56	67.72	90	(%18)L23	(%53)L27	(%37)L28	L29	L30	L35	(%94)L36	

**Chosen Candidate Substations :**

Substation Name	Loading			Proposed Capacity < MVA >	Allocated Loadpoints							
	Low Band	High Poss.	Up Band									
New_8	18.43	20.48	22.52	30.00	(%32)L15	(%69)L33	(%14)L34					

جدول ۷: روش شبه پویا، دوره زمانی سوم.

**Existing Substations :**

Substation Name	Capacity < MVA >	Loading			Proposed Capacity < MVA >	Allocated Loadpoints								
		Low Band	High Poss.	Up Band										
Exis_1	60	37.56	41.73	45.91	60	(%59)L01	(%39)L02	L07	(%79)L08	(%45)L13	(%28)L14	(%21)L19	(%21)L20	
Exis_2	45	28.09	31.21	34.34	45	(%41)L01	(%61)L02	(%79)L03	(%41)L04	(%7)L06	(%68)L09	(%29)L15		
Exis_3	60	35.85	39.84	43.82	60	(%59)L04	L05	(%93)L06	(%84)L10	L11	(%90)L12	(%83)L17		
Exis_4	60	33.14	36.83	40.51	60	(%79)L19	(%79)L20	(%78)L25	(%58)L26	(%20)L31				
Exis_5	45	28.34	31.49	34.63	45	(%16)L10	(%79)L16	(%49)L18	L21	L22	(%41)L23	(%47)L24	(%43)L28	
Exis_6	45	37.70	41.89	46.08	60	(%22)L25	(%42)L26	(%80)L31	(%87)L32	(%28)L33				
Exis_7	60	37.64	41.82	46.00	60	(%65)L27	(%13)L32	(%72)L33	(%67)L34					
New_1	30	18.81	20.90	22.99	30	(%21)L03	(%21)L08	(%31)L09	(%55)L13	(%72)L14	(%71)L15	(%21)L16		
New_7	75	41.16	45.74	50.31	75	(%17)L17	(%59)L23	(%35)L27	(%57)L28	(%78)L29	(%44)L30	(%33)L34	(%43)L35	(%21)L36

**Chosen Candidate Substations :**

Substation Name	Loading			Proposed Capacity < MVA >	Allocated Loadpoints								
	Low Band	High Poss.	Up Band										
New_10	36.62	40.69	44.76	60.00	(%10)L12	(%51)L16	(%53)L24	(%22)L29	(%56)L30	(%57)L35	(%79)L36		

جدول ۸-۱ : مقادیر توان نقاط بار برای آزمایش چهارم.

دول ۸-۲ : مقادیر توان نقاط بار جدید در دوره زمانی اول.

ردیف	نام ناحیه بار	میزان توان در دوره زمانی اول (MVA)	نرخ رشد بار (%)
۲۲	L24	۱۵	۱۴
۲۳	L29	۱۴	۱۵
۲۴	L30	۱۵	۱۵
۲۵	L35	۱۵	۱۶
۲۶	L36	۱۴	۱۴

ردیف	نام ناحیه بار	میزان توان در سال مینا (MVA)	نرخ رشد بار (%)	ردیف	نام ناحیه بار	میزان توان در سال مینا (MVA)	نرخ رشد بار (%)
۱	L01	۱۰	۱	۱۷	L17	۲	۲
۲	L02	۱۰	۱	۱۸	L18	۵	۷
۳	L03	۱۰	۱	۱۹	L19	۱۰	۱
۴	L04	۵	۴	۲۰	L20	۱۰	۱
۵	L05	۵	۴	۲۱	L21	۱	۰
۶	L06	۵	۴	۲۲	L22	۶	۳
۷	L07	۱۰	۱	۲۳	L23	۵	۸
۸	L08	۶	۱	۲۴	L25	۱۰	۱
۹	L09	۶	۱	۲۵	L26	۱۰	۱
۱۰	L10	۱	۰	۲۶	L27	۵	۶
۱۱	L11	۵	۴	۲۷	L28	۵	۹
۱۲	L12	۵	۴	۲۸	L31	۵	۴
۱۳	L13	۱۰	۱	۲۹	L32	۲۰	۱
۱۴	L14	۶	۱	۳۰	L33	۲۰	۳
۱۵	L15	۲	۱	۳۱	L34	۲۰	۳
۱۶	L16	۶	۱				

می‌باشد. در دوره زمانی سوم با رشد بیش از پیش بار نواحی موجود و جدید که از دوره زمانی دوم بار قابل توجهی داشته‌اند، احتیاج به پست‌های بیشتری خواهد بود. در این حالت پس از انجام عمل بهینه سازی با روشهای مذکور طبق انتظار، پستهایی در منطقه صنعتی جدید و نواحی موجود (از قبل) انتخاب شدند. از آنجایی که در این آزمایش برای پستهای موجود امکان توسعه در نظر گرفته نشده است لذا پس از

برای نمونه نتایج حاصل از بهینه سازی توسط روشهای مذکور در دوره زمانی آخر در جداول (۶ و ۷) آورده شده است.

لازم به ذکر است همانطور که در جداول (۶ و ۷) مشاهده می‌شود در قسمت نواحی بار تخصیص داده شده به پستها، در کنار نام هر ناحیه بار در داخل پرانتز یک عدد به درصد آمده است که بیانگر میزان تغذیه شدن آن ناحیه بار از پست مربوطه (که نام آن در ستون اول همان سطر آمده)

که در جهت حذف اضافه بار، پست جدیدی برگزیده شده است که در ناحیه صنعتی جدید قرار دارد. علاوه بر این همانطوریکه ملاحظه می‌گردد با لحاظ کردن امکان توسعه برای پستهای موجود بخشی از تأمین بار بر عهده پستهای موجود قرار گرفته است که در نتیجه سبب کاهش تعداد پستهای انتخاب شده از بین کاندیداها نسبت به آزمایش قبلی گردیده است. در این آزمایش پستهای موجود سوم و ششم (طبق جدول (۷)) افزایش ظرفیت یافته‌اند.

### آزمایش چهارم

در این آزمایش، با در نظر گرفتن امکان توسعه برای پستهای موجود، مطالعه بلند مدت روی منطقه مورد

بهینه سازی تعداد پستهایی که انتخاب شده‌اند افزایش یافته است.

### آزمایش سوم

در این آزمایش با استفاده از مقادیر توان نقاط بار مانند آزمایش قبل و در نظر گرفتن امکان توسعه برای پستهای موجود، یک مطالعه بلند مدت انجام می‌شود. بعنوان نمونه نتایج حاصل از بهینه سازی برای دوره زمانی سوم به روش شبه پویا در جدول (۷) نشان داده شده است.

همانطور که از جدول (۷) نیز مشاهده می‌گردد، در دوره زمانی سوم با افزایش بیش از پیش بار نواحی موجود و همچنین رشد بار نواحی صنعتی جدید، انتظار می‌رود جهت تأمین اضافه بار، پستی احداث و یا ظرفیت پستهای موجود افزوده گردد. پس از عمل بهینه سازی ملاحظه می‌گردد

### جدول ۹: روش شبه پویا، دوره زمانی سوم.

Existing Substations :													
Substation Name	Capacity < MVA >	Loading			Proposed Capacity < MVA >	Allocated Loadpoints							
		Low Band	High Poss.	Up Band		(%60)L01	(%37)L02	L07	(%72)L08	(%33)L09	(%59)L13	(%60)L14	(%20)L19
Exis_1	60	36.91	41.01	45.11	60	(%40)L01	(%63)L02	(%81)L03	(%28)L08	(%67)L09	(%40)L14	(%15)L20	
Exis_2	45	27.56	30.62	33.69	45	(%19)L03	(%59)L04	L05	(%67)L06	(%38)L10	(%75)L11	(%48)L12	
Exis_3	45	24.56	27.29	30.02	45	(%41)L13	(%80)L19	(%85)L20	(%39)L21	(%56)L25	(%57)L26	(%46)L28	(%15)L31
Exis_4	60	37.21	41.34	45.48	60	L22	(%32)L24	(%36)L30	(%36)L36				
Exis_5	45	37.73	41.92	46.11	60	(%44)L25	(%43)L26	(%85)L31	(%63)L32				
Exis_6	45	26.41	29.34	32.28	45	(%46)L33	(%71)L34	(%35)L35	(%64)L36				
Exis_7	60	56.69	62.99	69.29	90	(%33)L06	(%25)L11	(%52)L12	L17	(%87)L18	(%68)L24	(%64)L30	
New_3	30	56.53	62.81	69.09	90	(%13)L18	(%73)L23	(%17)L27	(%88)L29	(%65)L35			
New_7	90	55.96	62.18	68.40	90	(%41)L04	(%62)L10	L15	L16	(%27)L23	(%54)L28		
New_4	30	18.76	20.85	22.93	30	(%61)L21	(%83)L27	(%12)L29	(%37)L32	(%54)L33	(%29)L34		
New_9	60	37.13	41.26	45.38	60								

Chosen Candidate Substations :													
Substation Name	Capacity < MVA >	Loading			Proposed Capacity < MVA >	Allocated Loadpoints							
		Low Band	High Poss.	Up Band									



زمانی سوم پست جدیدی برای احداث انتخاب نگردد.

### نتیجه گیری

در این مقاله با معرفی و مدلسازی مسأله جایابی، تعیین ظرفیت و حوزه سرویس دهی بهینه پستهای فوق توزیع، روشی بر اساس تئوری مجموعه های فازی و الگوریتم بهینه سازی ژنتیک ارائه گردید. در این روش با استفاده از مدلسازی فازی برای بیان میزان توان پیش بینی شده نقاط بار (نواحی برقی) سعی شده تا با پوشش دادن بحث عدم قطعیت در پیش بینی بار به واقعی تر شدن نتایج کمک کرد. همچنین با استفاده از الگوریتم هوشمند ژنتیکی و با افزودن عملگر جدید به آن سرعت بهینه سازی مسأله بطور قابل ملاحظه ای افزایش یافته است. از طرفی می توان روش پیشنهادی را در یک منطقه کاملاً جدید برای برق رسانی و همچنین توسعه منطقه موجود بعلاوه نواحی جدید اجرا کرد. با اجرای روشهای مختلف برای مطالعه بلند مدت و مقطعی می توان طرحهای گوناگون و در عین حال بهینه برای مسأله یافت که هر کدام می تواند مورد استفاده قرار گیرد و فقط مزیت هر کدام از این روشها کمک در تصمیم گیری بلند مدت یا مقطعی طراح است.

مطالعه (شکل ۳) انجام می شود. در این حالت با تغییر میزان رشد نقاط بار (طبق جدول (۸-۱) و (۸-۲)) نسبت به قبل (آزمایشات قبلی) و به عبارتی بهم زدن تمرکز بار، طراحی بلند مدت بوسیله روشهای مذکور انجام می شود.

به عنوان نمونه نتایج حاصل از بهینه سازی برای دوره زمانی سوم به روش شبه پویا در جدول (۹) نشان داده شده است. در این آزمایش با بهم زدن تمرکز بار و تغییر میزان رشد بار نواحی، بطوریکه در جدول (۸-۱) و (۸-۲) آمده است، طراحی بلند مدت انجام پذیرفته است. تغییرات رشد بار به گونه ای بوده است که مناطق صنعتی جدید و چند ناحیه نزدیک آنها دارای حجم بار زیادی شده اند و این در حالی است که سایر نواحی دارای رشد بار کمتری نسبت به حالت قبل خویش بوده اند. همانگونه که انتظار می رفت و نتایج نیز نشان می دهد چندین پست در ناحیه صنعتی جدید انتخاب شده و ظرفیت پستهای موجود نزدیک به آن منطقه افزایش یافته است.

با توجه به جدول (۹) و رشد بار نواحی، مشاهده می شود که پستهای موجود پنجم و هفتم، و نیز پست انتخاب شده سوم از دوره قبل با یک افزایش ظرفیت به منظور تأمین بار منطقه، سبب شده اند تا در دوره

زمانی خاص، یک تصمیم گیری عاقلانه را انجام دهد. البته لازم به یادآوری است که روش استاتیکی بیشتر برای یک زمان طراحی خاص (مقطعی) و دو روش پی در پی و شبه پویا بیشتر در طراحی‌هایی با افق زمانی بلند مناسب می‌باشند.

همانگونه که از آزمایشات مشاهده شد طرحهای مختلفی ارائه گردید که هر کدام آنها بعنوان یک بهینه بوده‌اند. در حقیقت استراتژیهای مختلفی که ارائه می شود به طراح کمک می کنند تا با مطالعه طرحهای پیشنهادی و در نظر گرفتن شرایط مکانی و

## مراجع

- 1 – Lee Willis, H., Tram, H., Engel, M.V. and Finley, L. (1995). “Optimization applications to power distribution.” *IEEE Computer Applications in Power*, Vol. 8, No.4, PP.12-17.
- 2 – Khator, S. K. and Leung, L. C. (1997). “Power distribution planning: a review of models and issues.” *IEEE Trans. Power System*, Vol. 12, No. 3, PP. 1151-1159.
- 3 - Ramirez-Rasudo, I. J. and Gonen, T. (1991). “Pseudodynamic planning for expansion of power distribution systems.” *IEEE Trans. PWRs*, Vol. 6, No. 1, PP. 245-254.
- 4 – Lee, H., Willis, H., Tram, Engel, M. V. and Finley, L. (1996). “Selecting and applying distribution optimization methods.” *IEEE Copmuter Applications in Power*, Vol. 9, No.1, PP. 12-17.
- 5 - Quintana, V. H., Temraz, H. K. and Hipel, K. W. (1993). “Two-stage power system distribution planning.” *IEE Proc.*, Pt. C, Vol. 140, No. 1, PP. 17-29.

- 6 – Thampson, G. L. and Wall, D. L. (1981). “A branch and bound model for choosing optimal substation location.” *IEEE Trans. PAS-100*, No. 5, PP. 2683-2687.
- 7 - Miranda, V. et al., (1994). “Genetic algorithms in optimal multi-stage distribution network planning.” *IEEE Trans. Power System*, Vol. 9, No.4, PP. 1927-1933.
- 8 – Dubois, D. and Prade, H. (1980). *Fuzzy sets and systems: Theory and Applications*, Academic.
- 9 - Goldberg, D. E. (1989). *Genetic Algorithms in search, optimization, and machine learning*, Addison-Wesley.
- 10 - Wang, Z. et al. (2000). “A practical approach to the conductor size selection in planning radial distribution systems,” *IEEE Trans. Power Delivery*, Vol. 15, No.1, PP. 350-354.
- 11 - Blanchard, M., Delorme, L., Simard, C. and Nadeau, Y. (1996). “Experience with optimization software for distribution system planning..” *IEEE Trans. Power System*, Vol. 11, No.4, PP. 1891-1898.
- 12 – Lo, K. L. and Nashid, I. (1996). “Interactive expert system for optimal design of electricity distribution systems.” *IEEE Proc.-Gener. Transm. Distrib.*, Vol. 143, No. 2, PP. 151-156.

۱۳ - بی تعب، پ. “طراحی بهینه شبکه های توزیع نیرو با استفاده از روش هوشمند(الگوریتم ژنتیک).” پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی، دانشگاه تربیت مدرس، (۱۳۷۴).

۱۴ - بهمن پور. "برنامه ریزی پست و فیدر در سیستمهای توزیع نیروی بزرگ به روش الگوریتم ژنتیک." پانزدهمین کنفرانس بین المللی برق، جلد ۳، آبان (۱۳۷۹).

## واژه های کلیدی به ترتیب استفاده در متن

### 1 – Load Splitting