برنامه‌ریزی توسعه توأم پست‌ها و خطوط فوق توزیع به کمک الگوریتم‌های ژنتیک GA، اجتماع مورچگان AC و ترکیب ژنتیک با اجتماع مورچگان GA & AC

وحید امیر، حسین سیفی، محمدصادق سپاسیان و غلامرضا یوسفی

چکیده: در این مقاله کاربرد روش‌های جدید بهینه‌سازی در توسعه توأم پست‌ها و خطوط فوق توزیع مطرح می‌شود. این روش، ترکیبی بهینه از کاندیدهای توسعه پست‌ها و خطوط فوق توزیع به منظور حداقل‌کردن تابع هدف را مشخص می‌کند، در حالی که قیود مختلف توسعه شبکه و احتمال پیشامد خطای یگانه در خطوط و ترانسفورماتورها را در نظر می‌گیرد.

در کاندیداهای مختلف توسعه پست‌ها و شبکه، ساخت خطوط یا نصب پست‌های جدید یا افزایش ظرفیت خطوط و پست‌ها در نظر گرفته می‌شود. همچنین در برنامه‌ریزی توسعه ارائه‌شده، ناحیه سرویس‌دهی، ظرفیت بهینه و نوع ترانسفورماتورهای پست‌های فوق توزیع (HV/MV) مشخص می‌شود. در این تحقیق، روش الگوریتم ژنتیک، الگوریتم مورچگان و روش ترکیبی الگوریتم مورچگان و ژنتیک که برای حل این مسأله پیشنهاد شده است، مقایسه می‌شوند. همچنین نتایج، با برنامه‌ریزی توسعه جداگانه پست‌ها و شبکه فوق توزیع روی شبکه نمونه مقایسه می‌شود.

کلید واژه: **برنامه‌ریزی توسعه سیستم، برنامه‌ریزی توسعه توأم پست‌ها و شبکه فوق توزیع، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم مورچگان، ترکیب الگوریتم ژنتیک و مورچگان.**

۱- مقدمه

مطالعات سیستم‌های قدرت به طور کلی به دو بخش بهره‌برداری و برنامه‌ریزی تقسیم می‌شود که برنامه‌ریزی توسعه سیستم قدرت شامل تعیین ویژگی، نوع، زمان و محل نصب تجهیزات جدید در سیستم قدرت می‌باشد، به طوری که با رشد بار در آینده، سیستم قدرت به طور مطلوب و با کمترین هزینه قادر به تأمین بار باشد [۱].

از آنجا که حل مسأله برنامه‌ریزی توسعه با در نظر گرفتن تمام تجهیزات به طور هم‌زمان کار دشواری می‌باشد، به طور معمول مطالعات برنامه‌ریزی توسعه در بخش‌های مختلف مجزا از هم صورت می‌گیرد. در نظر گرفتن مطالعات برنامه‌ریزی توسعه به طور مجزا احتمال پیداشدن جواب‌هایی با درجه مطلوبیت بالا را کاهش می‌دهد. بنابراین بهترین روش توسعه وقتی حاصل می‌شود که توسعه شبکه و پست‌ها به صورت توأم صورت بگیرد. اصولاً بهترین جواب‌ها برای مطالعات برنامه‌ریزی توسعه وقتی حاصل می‌شود که همه تجهیزات اضافه‌شونده به شبکه به طور توأم در نظر گرفته شوند [۲].

توسعه شبکه فوق توزیع و پست‌های فوق توزیع بخشی از گزینه‌های توسعه سیستم قدرت می‌باشد. به طور معمول و به دلیل گستردگی و بزرگی مسأله، توسعه شبکه و پست‌ها به صورت جداگانه انجام می‌شود، به این ترتیب که پس از مشخص‌شدن میزان توسعه پست‌ها و مشخص‌شدن ظرفیت و میزان بار هر یک از پست‌های فوق توزیع، به حل مسأله برنامه‌ریزی توسعه شبکه فوق توزیع پرداخته می‌شود. بیشتر مطالعات در زمینه برنامه‌ریزی توسعه خطوط و پست‌های فوق توزیع به طور جداگانه می‌باشد و تحقیقات بسیار اندکی در زمینه توسعه توأم پست‌ها و خطوط فوق توزیع صورت گرفته است [۳] تا [۶]. در سال ۲۰۰۱ برای نخستین بار روشی مناسب برای توسعه هم‌زمان پست‌ها و خطوط فوق توزیع به همراه تولید پراکنده ارائه شد [۷]. در این مدل با مشخص‌بودن بار برای هر مکان پست، به بررسی میزان ظرفیت بهینه پست‌ها و تولیدات پراکنده برای هر مکان و چگونگی توسعه شبکه فوق توزیع پرداخته شده و اثر توسعه هم‌زمان بر روی هزینه کل، مورد بررسی قرار گرفته است. در [۲] همین مسأله با کمک الگوریتم ژنتیک به طور هم‌زمان حل شده است.

این مقاله با رویکردی جدید نسبت به برنامه‌ریزی توسعه پست‌ها و خطوط فوق توزیع به طور توأم، به ارائه مدلی جدید برای این مسأله پرداخته است. در این مدل، ترکیب بهینه‌ای از کاندیداهای توسعه پست‌ها و خطوط فوق توزیع انتخاب می‌شود، به طوری که هزینه توسعه، حداقل شده و قیود مختلف و احتمال پیشامد خطای یگانه در خطوط و ترانسفورماتورها در نظر گرفته شود.

همچنین برنامه‌ریزی توسعه، ناحیه سرویس‌دهی، ظرفیت بهینه و نوع ترانسفورماتورهای پست‌های فوق توزیع (HV/MV) را مشخص می‌کند. در این تحقیق، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم مورچگان و روش نوینی که بر اساس ترکیب الگوریتم مورچگان و ژنتیک است، برای حل این مسأله پیشنهاد و با هم مقایسه شده است. این الگوریتم‌ها روی شبکه‌ای نمونه، که به دلیل گستردگی مدل و چک‌کردن خیلی از جزئیات به طور فرضی و بر اساس داده‌های موجود در شبکه واقعی بوده، اجرا شده و نتایج حاصل با برنامه‌ریزی جداگانه توسعه پست‌ها و شبکه فوق توزیع مقایسه شده است.

در این مقاله، ابتدا به بیان مسأله و مشخص‌کردن اطلاعات ورودی خروجی و تابع هدف پرداخته شده و سپس روند کلی حل مسأله مورد بررسی قرار می‌گیرد. در ادامه، به معرفی الگوریتم‌های ژنتیک، مورچگان و ترکیب مورچگان و ژنتیک و روش پیاده‌سازی آنها برای حل این مسأله پرداخته و نتایج حاصل از اجرای این الگوریتم‌ها روی شبکه نمونه مورد

این مقاله در تاریخ ۱۱ مهر ماه ۱۳۸۵ دریافت و در تاریخ ۲۸ خرداد ماه ۱۳۸۶ بازنگری شد.

وحید امیر، گروه برق، دانشگاه آزاد اسلامی نراق و جاسب، نراق ،صندوق پستی ۳۷۹۶۱، ایران (email: vahid_amir1382@yahoo.com).

حسین سیفی، گروه قدرت، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، صندوق پستی ۱۴۳-۱۱۴۱۱۵، ایران (email: seifi_ho@modares.ac.ir).

محمدصادق سپاسیان، گروه قدرت، دانشگاه صنعت آب و برق، تهران، ایران، (email: sepasian@pwut.ac.ir).

غلامرضا یوسفی، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، صندوق پستی ۳۶۴-۱۴۱۱۵، ایران (email: yousefi@modares.ac.ir).

Archive of SID

www.SID.ir

بررسی و تحلیل واقع می‌شود.

۲- بیان مسأله

هدف مسأله برنامه‌ریزی توسعه توأم پست‌ها و خطوط فوق توزیع، تعیین هم‌زمان مکان و ظرفیت پست‌ها و خطوط فوق توزیع، حوزه سرویس‌دهی پست‌ها، نوع فیدرهایی که مراکز بار را به پست‌های فوق توزیع متصل می‌کند و همچنین نوع و ظرفیت بهینه ترانسفورماتورها می‌باشد، به طوری که تابع هدف کمترین مقدار را داشته باشد و قیود مسأله برآورده شود. اطلاعات ورودی، تابع هدف، قیود مسأله و اطلاعات خروجی در زیربخش‌های ذیل آورده شده است.

۲-۱ اطلاعات ورودی

برای حل این مسأله به یک سری اطلاعات اولیه احتیاج است تا برنامه توسعه بهینه بر اساس این اطلاعات موجود به دست آید. اطلاعات شامل موارد زیر می‌باشد:

- اطلاعات مراکز بار
- پست‌های موجود
- مکان پست‌های کاندیدا
- شبکه موجود فوق توزیع
- خطوط کاندیدای فوق توزیع
- کلاسه‌های مختلف پست
- کلاسه‌های مختلف ترانسفورماتورها
- کلاسه‌های مختلف فیدرها
- هزینه توان تلفاتی به ازای یک واحد توان تلفاتی

۲-۲ تابع هدف

از آنجا که برای هر مسأله بهینه‌سازی می‌بایست تابع هدف آن معرفی شود، در این قسمت به معرفی پارامترهای مختلف مؤثر در تابع هدف این مسأله که در (۱) آورده شده، پرداخته می‌شود که به ترتیب شامل هزینه‌های لازم برای افزایش ظرفیت پست‌های موجود یا نصب پست جدید، هزینه توان تلفاتی در فیدرها، هزینه توان تلفاتی ثابت و متغیر در ترانسفورماتورها، هزینه احداث خطوط فوق توزیع و هزینه احداث فیدرها می‌باشد. به عبارتی، تابع هدف برابر مجموع هزینه‌های ناشی از توسعه هم‌زمان پست‌ها و خطوط فوق توزیع می‌باشد

$$\begin{aligned} F = & \sum_{i=1}^{Nlse+Nlsc} C_{ss}(ssg(i)) \\ & + \sum_{i=1}^{Nlse+Nlsc} \sum_{j=1}^{nl_i} K_{LLij} D_{LSij} P_{Lij}^{2} \\ & + \sum_{i=1}^{Nlse+Nlsc} K_{LSSi} + K_{LSi} P_{Si}^{2} \\ & + \sum_{i=1}^{Nlse+Nlsc} \sum_{j=1}^{Nlse+Nlsc} K_{CN}(Ng_{ij}) D_{SSij} \\ & + \sum_{i=1}^{Nlse+Nlsc} \sum_{j=1}^{nl_i} K_{CF}(f_{ij}) D_{LSij} \end{aligned} \qquad (۱)$$

که در آن nl_i تعداد بارهای متصل‌شده به پست iام، $Nlse$ تعداد پست‌های موجود، $Nlsc$ تعداد مکان پست‌های کاندیدا و D_{LSij} طول فیدر برای اتصال بار j ام به پست iام است

$$\begin{aligned} & D_{LSij} = |X_{Si} - X_{Lj}| + |Y_{Si} - Y_{Lj}| \\ & i \in Nlse + Nlsc \quad , \quad j \in nl_i \end{aligned} \qquad (۲)$$

و در آن D_{SSij} فاصله بین پست iام و j ام مطابق با (۳) است

$$\begin{aligned} & D_{SSij} = \sqrt{(X_{Si} - X_{Sj})^{2} + (Y_{Si} - Y_{Sj})^{2}} \\ & i, j \in Nlse + Nlsc \end{aligned} \qquad (۳)$$

که در آن $ssg(i)$ میزان افزایش ظرفیت پست موجود یا میزان ظرفیت پست جدید iام و $C_{SS}(ssg(i))$ میزان هزینه افزایش ظرفیت پست iام به میزان $ssg(i)$ یا میزان هزینه ایجاد پست جدید iام با ظرفیت $ssg(i)$ که این هزینه‌ها شامل زمین مورد نیاز، هزینه نصب تجهیزات پست‌ها و ترانسفورماتورهای مورد نیاز (برای پست‌های جدید یا توسعه‌یافته) می‌باشد.

P_{Lij}: میزان بار نقطه j ام متصل به پست iام.

K_{LLi}: ضریب وزنی وابسته به هزینه تلفات در فیدرها با توجه به نوع فیدر انتخابی بین بار j ام و پست iام.

K_{LSi}: ضریب وزنی وابسته به هزینه تلفات متغیر ترانسفورماتورهای پست با توجه به نوع آنها و بار پست iام.

P_{Si}: مجموع بار پست iام.

K_{LSSi}: هزینه تلفات ثابت ترانسفورماتورهای پست با توجه به نوع ترانسفورماتورهای موجود در پست iام و هزینه توان تلفاتی.

Ng_{ij}: نوع خطوط ایجادشده بین پست iام و j ام.

f_{ij}: نوع فیدر ایجادشده بین بار j ام و پست iام.

$K_{CF}(f_{ij})$: ضریب هزینه ایجاد فیدر که وابسته به نوع فیدر f_{ij} بر حسب میلیون تومان بر km می‌باشد.

$K_{CN}(Ng_{ij})$: ضریب هزینه ایجاد خطوط فوق توزیع وابسته به نوع خط Ng_{ij} بر حسب میلیون تومان بر km می‌باشد.

۲-۳ قیود مسأله

برنامه توسعه بهینه علاوه بر اینکه از نظر هزینه باید کمترین هزینه را داشته باشد باید از نظر فنی و عملی قابل پیاده‌سازی باشد و یک سری قیود فنی را برآورده کند. قیود در نظر گرفته‌شده برای این مسأله شامل موارد زیر می‌باشد:

- تمام نقاط بار تغذیه شود.
- میزان افت ولتاژ هر مرکز بار (که با میزان حاصل‌ضرب توان در فاصله متناسب است) با توجه به نوع فیدر مربوط به آن نباید بیشتر از افت ولتاژ مجاز برای هر مرکز بار باشد.
- میزان توان انتقالی از ترانسفورماتورها در حد مجاز باشد.
- میزان بار وصل‌شده به پست‌ها از حداکثر میزان ظرفیت پست‌ها (با در نظر گرفتن میزان رزرو پست‌ها) کمتر باشد.
- توان انتقالی از خطوط فوق توزیع و فیدرها کمتر از حد مجاز ظرفیت خطوط و فیدرهای انتخابی در آن مسیر باشد.
- مساحت موجود برای احداث پست بیشتر از مساحت پست انتخابی برای آن مکان باشد.
- نوع فیدرها و خطوط از نظر اینکه کابل یا خطوط هوایی باشند با موقعیت جغرافیایی منطقه متناسب باشد.
- تعداد مراکز بار وصل‌شده به پست از تعداد بی‌های مربوط به فیدرهای پست کمتر باشد.
- تعداد خطوط فوق توزیع وصل‌شده به یک پست از تعداد بی‌های خطوط فوق توزیع پست کمتر باشد.
- در اثر پیشامد خطای یگانه در خطوط و ترانسفورماتورها، قیدی از قیود سیستم نقض نشود و تمام بارها تغذیه شوند.

Archive of SID
www.SID.ir

۲-٤ اطلاعات خروجی

اطلاعات خروجی مطابق با تعریف مسأله، برابر با جواب بهینه توسعه هم‌زمان پست‌ها و خطوط فوق توزیع می‌باشد که شامل موارد زیر است:

- تابع هدف (شامل هزینه‌ها به تفکیک)
- میزان افزایش ظرفیت پست‌های موجود
- ظرفیت و مکان پست‌های جدید
- نحوه تخصیص بار به پست‌ها
- نوع فیدرهای وصل‌کننده بار به پست‌ها
- نوع و ظرفیت ترانسفورماتورهای مورد نیاز در حالت بهینه
- خطوط اضافه‌شده به شبکه فوق توزیع
- میزان تلفات در فیدرها و ترانسفورماتورها

۳- روش‌های حل مسأله

۳-۱ روند کلی حل مسأله

در این مسأله پارامترهایی که نقش اساسی در مسأله اعمال می‌کنند و باید انتخاب شوند، یکی میزان ظرفیت قابل توسعه برای پست‌ها و ظرفیت پست‌های جدید و دیگری انتخاب خطوط جدید فوق توزیع می‌باشد. پس از پیداشدن این دو پارامتر به پیداکردن دیگر پارامترها و اطلاعات (نظیر نوع پست، نوع فیدر، تخصیص بار و هزینه‌ها و ...) پرداخته می‌شود. لذا الگوریتم‌هایی که ارائه می‌شوند نقش اصلی را در پیداکردن بهینه این دو پارامتر خواهند داشت که توضیح داده خواهد شد.

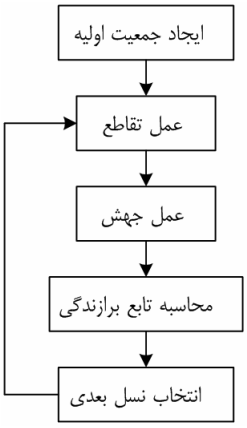
آنچه در این بخش بیان می‌شود، نحوه حل مسأله پس از پیداشدن دو پارامتر اصلی (ظرفیت پست‌ها و نوع خطوط) و محاسبه بقیه پارامترهای مورد نیاز و برآورد قیود در این مسأله می‌باشد که تقریباً در تمام الگوریتم‌ها یکسان است. مراحل زیر شامل روند کلی و زیربرنامه‌های کمکی برای حل مسأله پس از انتخاب ظرفیت پست‌ها و خطوط جدید می‌باشد.

۳-۱-۱ مرحله تخصیص بارها و پیداکردن نوع خطوط فیدر مناسب برای متصل‌کردن مراکز بار به پست‌های فوق توزیع

در این مرحله پس از مشخص‌شدن ظرفیت پست‌های انتخاب‌شده، به کمک یک فرآیند ابتکاری، بارها طوری به پست‌ها تخصیص داده می‌شوند که مجموع حاصل‌ضرب توان در فاصله بار، حداقل شود و در عین حال قیودی مانند افت ولتاژ برای بارها، ظرفیت مجاز فیدرها و همچنین تغذیه‌شدن تمام بارها با توجه به حداکثر ظرفیت پست‌ها رعایت شوند. اگر در این مرحله تمام بارها با توجه به قیودی که گفته شد تخصیص داده نشوند، این زیربرنامه اعلام خواهد کرد که ظرفیت‌های توسعه داده شده پست‌ها قادر به تأمین بارها به طور مطلوب نمی‌باشند.

۳-۱-۲ مرحله محاسبه توان عبوری از خطوط فوق‌توزیع و سطح ولتاژ پست‌ها

از آنجا که مدل در نظر گرفته شده برای برآورد رفتار شبکه، مدل پخش بار مستقیم می‌باشد، در این مرحله با توجه به شبکه موجود و خطوط انتخابی، ماتریس سوسپتانس شبکه تشکیل می‌شود و سپس با توجه به بار هر یک از پست‌ها که در مرحله قبل مشخص شده، توان عبوری از خطوط در حالت کار عادی شبکه محاسبه می‌شود. در این مرحله قید ظرفیت خطوط چک می‌شود. موضوع دیگر که در این مرحله مورد توجه قرار می‌گیرد، مسأله سطح ولتاژ پست‌ها و توان عبوری از ترانسفورماتورهای تبدیل ولتاژ می‌باشد که با توجه به خطوط وصل‌شده به هر یک از پست‌ها به دست آورده می‌شود.



شکل ۱: روند کلی الگوریتم ژنتیک.

۳-۱-۳ مرحله برآورد پیشامد خطای یگانه

در این مرحله پیشامد خطای یگانه خطوط و ترانسفورماتورهای موجود در پست‌ها و اینکه آیا شبکه و پست‌های موجود نسبت به پیشامد خطای یگانه مقاوم هستند یا خیر، بررسی می‌شود.

۳-۱-٤ مرحله انتخاب نوع پست‌ها در هر مکان از بین کلاسه پست‌ها

در این مرحله پس از بررسی‌های انجام‌شده روی خطوط و پست‌ها و ظرفیت آنها، نوع پستی که در هر مکان جدید می‌تواند قرار گیرد، ارزیابی و از بین کلاسه‌های پست‌ها، پستی که بتواند محدودیت‌های موجود در هر مکان را با کمترین هزینه برآورده کند، انتخاب می‌شود.

این چهار مرحله تقریباً در تمام الگوریتم‌هایی که ارائه خواهد شد، یکسان است. ورودی این چهار مرحله، اطلاعات ورودی به همراه ظرفیت پست‌ها و خطوط جدید می‌باشند و خروجی این چهار مرحله مجموع کل اطلاعات مورد نیاز و نتایج بررسی قیود مسأله می‌باشند. پس از این مراحل، نوبت به محاسبه تابع هدف مسأله می‌رسد. تعداد تکرار این مراحل و پیداکردن جواب نهایی این مسأله بسته به نوع الگوریتم حل و بزرگی مسأله می‌تواند متفاوت باشد.

۳-۲ الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک[1] (GA)، یک الگوریتم جستجوگر است که بر پایه مکانیسم ژنتیک طبیعی ایجاد شده که طی سالیان گذشته توسعه‌ای رو به تکامل داشته است که اصول اولیه‌ای از این الگوریتم در ضمیمه ۶-۱ آمده است [۸]. الگوریتم ژنتیک در حل این مسأله دو نقش اساسی زیر را ایفا می‌کند:

- انتخاب کاندیداهای توسعه پست‌ها از بین کاندیداهای موجود، برای تعیین میزان افزایش ظرفیت پست‌های موجود و ظرفیت پست‌های جدید.
- انتخاب کاندیدهای خطوط برای توسعه شبکه فوق توزیع.

پس از پیداشدن این دو پارامتر اصلی با توجه به فرآیند کلی حل مسأله که در بخش قبل اشاره شد، بقیه پارامترها از قبیل ناحیه سرویس‌دهی پست‌ها، نوع فیدرها، نوع پست‌ها و نوع ترانسفورماتورها و ... مشخص می‌شود.

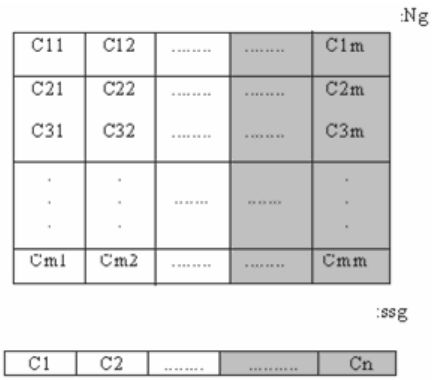
در شکل ۱ روند کلی الگوریتم ژنتیک نشان داده شده است.

الگوریتم ژنتیک ارائه‌شده برای این مسأله دارای دو کروموزوم می‌باشد.

1. Genetic Algorithm

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۲: کروموزوم‌های مورد استفاده در الگوریتم ژنتیک.

یک کروموزوم به صورت رشته‌ای که دارای Nlse + Nlsc ژن و دیگری به صورت ماتریسی دوبعدی که دارای Nlse + Nlsc + Nt در Nlse + Nlsc + Nt ژن می‌باشد، همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود. در این الگوریتم Nlse نشان‌دهنده تعداد پست‌های موجود، Nlsc نشان‌دهنده تعداد مکان‌های پست‌های کاندیدا و Nt نشان‌دهنده تعداد پست‌های انتقال است که شبکه فوق توزیع را تغذیه می‌کنند. در کروموزومی که با نام Ng نشان داده شده است، هر ژن یک شماره دارد که از صفر شروع شده و تا حداکثر تعداد کاندیداهای موجود برای توسعه خطوط در آن مسیر می‌تواند باشد. در کرموزوم دوم که با نام ssg معرفی شده، هر ژن نشان‌دهنده میزان افزایش ظرفیت پست موجود و ظرفیت پست‌های جدید انتخاب‌شده می‌باشد.

برای این الگوریتم، عملگرهای تقاطع متفاوتی با احتمال تقاطع متفاوت در نظر گرفته می‌شود که با توجه به میزان تأثیر آنها در جواب، به صورت جابجایی از یک نقطه یا چند نقطه می‌تواند باشد.

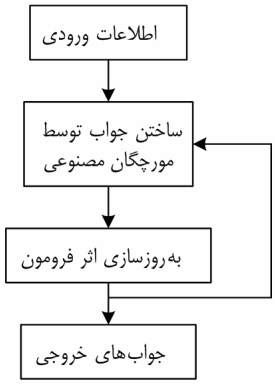
در این مسأله، عملگرهای جهش متفاوتی به منظور رسیدن به جواب‌های مطلوب‌تر ارائه شده است، به این ترتیب که با کمک تغییر تصادفی یک یا چند ژن و همچنین جهش‌های اصلاحی، سعی شده است تا از واگرایی جواب‌ها جلوگیری به عمل آید. جهش‌های اصلاحی به کار رفته اینگونه است، که اگر در مکانی پستی موجود نباشد، باید تمام خطوط متصل به آن حذف گردند. ارائه این نوع جهش‌ها به منظور رسیدن به جواب مناسب‌تر و در زمان قابل قبول‌تر برای مسأله، توسط الگوریتم صورت می‌گیرد.

در مسأله مورد نظر هدف، رسیدن به میزان کمینه تابع هدف با لحاظ‌کردن قیود موجود در مسأله است، از اینرو می‌توان تابع برازندگی را به صورت زیر بیان نمود

$$Fitness = M - (Obj.Value + \sum_{i=1}^{N} (Pf_i * Infeasibility(i))) \quad (۴)$$

که در آن M یک عدد به اندازه کافی بزرگ، $Obj.Value$ مقدار تابع هدف، Pf_i ضریب جریمه برای غیر عملی بودن شماره iام، $Infeasibility(i)$ نشان‌دهنده غیر عملی بودن و N تعداد کل حالات غیر عملی شدن جواب است $(i \in N)$. $Infeasibility(i) = 0$ اگر حالت iام عملی‌نبودن رخ ندهد و $Infeasibility(i) = 1$ اگر حالت iام عملی‌نبودن رخ دهد.

عمل انتخاب به گونه‌ای است که شاخص حضور کروموزوم‌ها با برازندگی بیشتر در جمعیت جدید زیادتر باشد. در الگوریتم ارائه‌شده در این مسأله، از انتخاب نخبگان و انتخاب به کمک چرخ گردان، به منظور پیداکردن جمعیت اولیه برای تکرارهای بعدی استفاده شده است.



شکل ۳: روند کلی الگوریتم مورچگان.

۳-۳ الگوریتم مورچگان[1]

با توجه به معرفی مفاهیم و اصول الگوریتم مورچگان که در پیوست ۶-۲ آمده است و مطابق با شکل ۳، الگوریتم مورچگان از دو بخش اساسی، یکی تشکیل جواب به کمک اطلاعات ابتکاری و میزان فرومون موجود در بین کاندیداها و دیگری به روزسازی فرومون، تشکیل شده است [۹] تا [۱۳]. الگوریتم مورچگان در حل این مسأله دو نقش اساسی دارد.

- تخصیص بارها به پست‌های فوق توزیع و در نتیجه مشخص‌شدن ظرفیت قابل توسعه و تعیین پست‌های جدید.
- مشخص‌کردن خط اضافه‌شونده به شبکه فوق توزیع.

با توجه به این مطلب، در ابتدا می‌بایستی روشی برای تشکیل جواب با توجه به اطلاعات ابتکاری و میزان فرومون موجود در مسیرها ارائه گردد.

اصولاً برای تشکیل جواب‌ها روش‌های مختلفی می‌توان ارائه کرد. به نظر می‌رسد روشی در این بین موفق است که با نوع مسأله بهینه‌سازی سازگاری بیشتری داشته باشد. از اینرو در الگوریتم مورچگان ارائه‌شده برای حل مسأله برنامه‌ریزی توسعه توأم پست‌ها و شبکه فوق توزیع، سعی شده که روش پیداکردن جواب، هماهنگی لازم را با مسأله داشته باشد تا به جواب بهتری دست یافته شود.

روش حل بدین ترتیب است که در هر تکرار ابتدا مراکز بار از بزرگ به کوچک مرتب می‌شوند. ابتدا فرض می‌شود که مورچه‌ای مصنوعی در داخل بزرگترین مرکز بار قرار می‌گیرد. وظیفه این مورچه مصنوعی بردن این مرکز بار به نقطه تولید انرژی (پست‌های تولید در این مسأله) می‌باشد. پس از وصل‌کردن این بار، نوبت به بارهای بعدی توسط این مورچه می‌رسد تا تمام این بارها از بزرگ به کوچک به مراکز تولید برده شوند. پس از برده‌شدن تمام مراکز بار به پست‌های انتقال، با توجه به خصوصیاتی که توسط حرکت مورچه در این مسیرها به وجود می‌آید، یک جواب برای مسأله پیدا می‌شود.

طریقه حرکت مورچه بدین ترتیب است که پس از آنکه مورچه مصنوعی در داخل یکی از مراکز بار قرار گرفت، در مرحله اول باید مورچه قبل از حرکت به سمت پست‌های انتقال، مرکز بار را به یکی از پست‌های موجود یا جدید پست فوق توزیع ببرد. در حقیقت این مرحله بیان‌کننده تخصیص یک مرکز بار به پست فوق توزیع و انتخاب پست فوق توزیع می‌باشد. روش حرکت بدین ترتیب است که ابتدا باید مورچه این نکته را در نظر بگیرد که پستی را که برای حرکت خود مورد توجه قرار می‌دهد، باید قادر به تأمین بار مورد نظر باشد، لذا مورچه باید به حداکثر ظرفیت پست و میزان بار متصل‌شده به آن توجه کند. اگر پست ظرفیت کافی

1. Ant Algorithm

Archive of SID
www.SID.ir

داشته باشد، باید به این نکته توجه شود که با توجه به نوع فیدرهای موجود برای مسأله و افت ولتاژ مجاز آن بار، آیا فیدری وجود دارد که بتواند این بار را با کمترین هزینه به آن پست وصل کند. اگر جواب مثبت بود، احتمالی را مورچه برای انتخاب آن پست، بر اساس اطلاعات ابتکاری و میزان فرومون موجود در این مسیر در نظر می‌گیرد. در صورت عدم امکان انتخاب آن پست توسط مورچه، احتمال انتخاب آن را صفر در نظر می‌گیرد. این احتمال را مورچه برای تمام پست‌ها چه موجود و چه کاندیدا به دست می‌آورد که با توجه به مطالب گفته شده و تحقیقات مشابه می‌توان فرمول زیر را برای بدست آوردن آن در نظر گرفت [۱۲] و [۱۳].

$$P_{ij}^{k}(t)=\frac{[\tau_{ij}(t)]^{\alpha_1}.[\eta_{ij}]^{\beta_1}}{\sum_{l\in N_i^K}[\tau_{il}(t)]^{\alpha_1}[\eta_{ij}]^{\beta_1}} \qquad (۵)$$

$$\eta_{ij}=1/(\text{هزینه اتصال بار } i \text{ام به پست } j \text{ام با کمترین هزینه}) \qquad (۶)$$

که در آن $\tau_{ij}(t)$ میزان اثر فرومون در بین بار iام و پست jام در تکرار tام الگوریتم، $P_{ij}^{k}(t)$ احتمال بردن بار iام به پست jام توسط مورچه kام، α_1 نشان‌دهنده میزان اهمیت فرومون (τ) در انتخاب مسیرها توسط مورچه، β_1 نشان‌دهنده میزان اهمیت اطلاعات ابتکاری (η) در انتخاب مسیرها توسط مورچه و N_i^K تعداد پست‌هایی که قادر به تأمین بار iام هستند.

همان‌طور که در (۵) مشاهده می‌شود، هرچه پست‌ها به این مرکز بار نزدیک‌تر باشند، با احتمال بیشتری انتخاب می‌شوند و هرچه τ در این مسیر بیشتر باشد، نشان‌دهنده عبور مورچه‌های بیشتری از این مسیر در تکرارهای قبل است و لذا با احتمال بیشتری انتخاب می‌شود. لازم به ذکر است که در تکرار اول برای جلوگیری از موهومی‌شدن مقدار احتمال بالا، یک مقدار اولیه کم، به عنوان مقدار τ اولیه در نظر گرفته می‌شود که با τ_0 نشان داده می‌شود. زیرا اگر مقدار τ در لحظه اول $(t=0)$ برابر صفر باشد مطابق (۵) میزان احتمال در تکرارهای اول عدد موهومی می‌شود که این درست نمی‌باشد.

پس از این مرحله، مورچه باید به سمت پست انتقال به عنوان مرکز تولید حرکت کند. در این مرحله مورچه به مسیرهای وصل‌شده به پستی که در آن قرار دارد، نگاه می‌کند که این مسیرها شامل خطوط موجود یا خطوط کاندیدای وصل‌شده به آن پست می‌باشند. مورچه برای هر یک از مسیرها، احتمالی را مطابق با (۷) در نظر می‌گیرد، که به کمک روش احتمالی چرخ گردان، یکی از مسیرها برای حرکت مورچه انتخاب می‌شود

$$P_{ij}^{k}(t)=\frac{[\tau_{ij}(t)]^{\alpha_2}.[\eta_{ij}]^{\beta_2}}{\sum_{l\in N_i}[\tau_{il}(t)]^{\alpha_2}[\eta_{ij}]^{\beta_2}} \qquad (۷)$$

$$\eta_{ij}=1/(\text{هزینه خط } j \text{ ام متصل به پست } i \text{ام}) \qquad (۸)$$

که در آن $\tau_{ij}(t)$ میزان اثر فرومون روی خط jام متصل به پست iام در تکرار tام الگوریتم، $P_{ij}^{k}(t)$ احتمال خارج‌شدن مورچه kام از پست iام توسط خط jام، α_2 نشان‌دهنده میزان اهمیت فرومون (τ) در انتخاب خطوط توسط مورچه، β_2 نشان‌دهنده میزان اهمیت اطلاعات ابتکاری (η) در انتخاب خطوط توسط مورچه و N_i تعداد خطوط موجود یا کاندید که می‌توانند به پست iام متصل شوند.

نکته‌ای که در اینجا باید ذکر شود این مطلب است که به منظور رسیدن به جواب بهتر، لیستی به نام لیست ممنوعه تهیه شده است، که مورچه به هر پست که وارد می‌شود شماره آن پست را در لیست وارد می‌کند و اگر در ادامه مسیر، خطی به یکی از این پست‌ها وصل شد احتمال انتخاب آن خط صفر در نظر گرفته می‌شود. این موضوع از حرکت طولانی‌مدت مورچه به منظور رسیدن به پست انتقال جلوگیری می‌کند. به هر حال این حرکت مورچه تا جایی ادامه می‌یابد که مورچه به منابع تولید انرژی برسد. پس از رسیدن مورچه به پست انتقال، مورچه لیست ممنوعه خود را برای حمل مرکز بار بعدی به پست انتقال خالی می‌کند.

این عمل برای بقیه بارها نیز تکرار می‌شود و در پایان اینکه تمام مراکز بار به مراکز تولید انتقال داده شدند، جواب مسأله با توجه به مسیرهایی که توسط مورچه طی شده است و کاندیداهایی که توسط مورچه در این حرکت‌ها انتخاب شده و در حافظه مورچه ذخیره شده‌اند، تشکیل می‌شود. بدین منظور، مسیرهای انتخاب‌شده توسط مورچگان در بین پست‌ها به عنوان گزینه توسعه شبکه در نظر گرفته می‌شود و مسیرهای بین مرکز بار و پست فوق توزیع، نشان‌دهنده تخصیص بار به پست و نوع فیدر و در نهایت ظرفیت توسعه داده شده پست‌ها یا ظرفیت پست‌های جدید می‌باشند.

در انتخاب‌ها توسط مورچگان برای بهترشدن جواب‌ها و جلوگیری از انتخاب بیش از اندازه پست‌ها و خطوط و هزینه ناشی از آنها برای جواب، این نکته در نظر گرفته شده که اگر پستی یا خطی توسط این مورچه در قبل در واقع به عنوان کاندید توسعه انتخاب شده بود، احتمال بیشتری دارد که دوباره توسط همین مورچه انتخاب شود. این موضوع از گسترش و توسعه بیش از اندازه و غیر اقتصادی پست و شبکه جلوگیری می‌کند. برای در نظر گرفتن این موضوع، مورچه برای محاسبه احتمال انتخاب این مسیر از ضریب تشویق استفاده می‌کند.

دومین بخش اصلی الگوریتم مورچگان به‌روزسازی اثر فرومون است. این بخش وظیفه انتقال اطلاعات را به طور غیرمستقیم از نسلی از جواب‌ها به نسلی دیگر بر عهده دارد. در حقیقت این عمل با تغییر فرومون در مسیرها به انتخاب صحیح‌تر مورچگان در تکرارهای بعد کمک می‌کند.

برای به‌روزسازی فرومون‌ها و زمان آن، روش‌های مختلفی ارائه شده است [۹] تا [۱۱]. در این میان از روش به‌روزسازی فرومون پس از یک تکرار[1] برای الگوریتم ارائه‌شده استفاده شده است، که با توجه به نوع مسأله مناسب‌تر می‌باشد. زمان به‌روزسازی فرومون در این روش در پایان پیداکردن جواب‌ها برای مورچگان مطابق با فرمول‌های زیر است

$$F=Obj.Value+\sum_{i=1}^{N}(Pf_i*Infeasibility(i)) \qquad (۹)$$

که در آن $Obj.Value$ مقدار تابع هدف، Pf_i ضریب جریمه[2] برای غیر عملی‌بودن شماره iام، $Infeasibility(i)$ نشان‌دهنده عملی‌نبودن جواب و N تعداد کل حالات عملی‌نشدن جواب است $(i\in N)$. $Infeasibility(i)=0$ اگر حالت iام عملی‌نبودن رخ ندهد و $Infeasibility(i)=1$ اگر حالت iام عملی‌نبودن رخ دهد.

$$\tau_{ij}(t+1)=\rho.\tau_{ij}(t)+\Delta\tau_{ij}^{loc}+\Delta\tau_{ij}^{gb} \qquad (۱۰)$$

$$\Delta\tau_{ij}^{loc}=\frac{Q_{loc}}{F_{loc}} \qquad (۱۱)$$

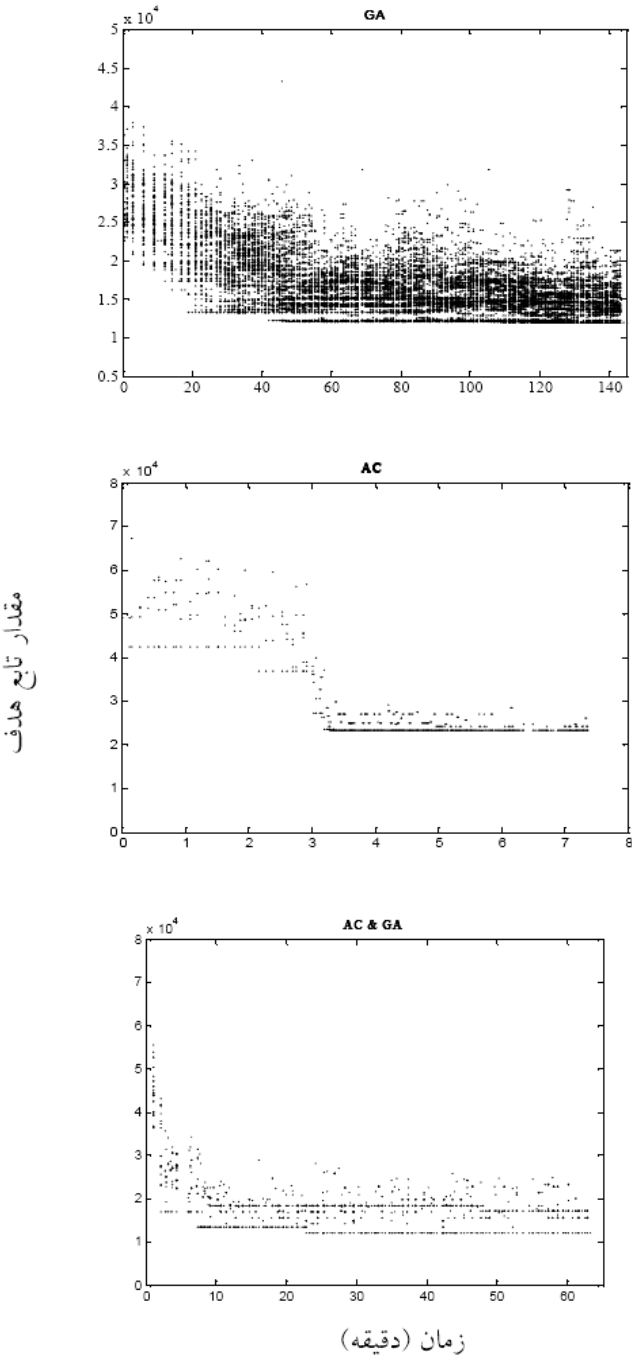
$$\Delta\tau_{ij}^{gb}=\frac{Q_{gb}}{F_{gb}} \qquad (۱۲)$$

که در آن ρ میزان پایایی اثر فرومون و یا $(1-\rho)$ معرف میزان تبخیر فرومون، Q_{gb} و Q_{loc} اعدادی ثابت، F_{gb} و F_{loc} به ترتیب نشان‌دهنده

1. Ant Cycle
2. Penalty Factor

Archive of SID

www.SID.ir



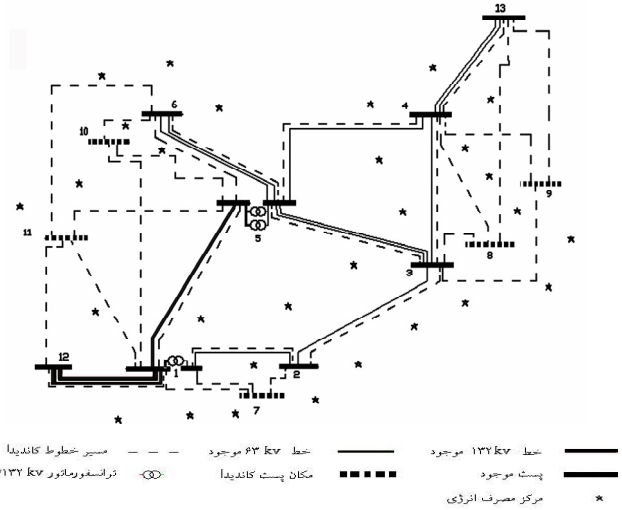
شکل ۴: چگونگی تراکم جمعیتی جواب‌ها نسبت به زمان در الگوریتم‌های ارائه‌شده.

میزان F ناشی از بهترین جواب‌ها در طول تمام تکرارها و بهترین جواب در تکرار tام و $\Delta\tau_{ij}^{gb}$ و $\Delta\tau_{ij}^{loc}$ نشان‌دهنده میزان تغییر فرومون ناشی از بهترین جواب‌ها در طول تمام تکرارها و بهترین جواب در تکرار tام در مسیر بین i و j است.

برای مؤثرکردن بیشتر به‌روزسازی فرومون همان‌طور که در بالا نیز دیده می‌شود، تغییرات فرومون ناشی از بهترین جواب در این تکرار $\Delta\tau_{ij}^{loc}$ و بهترین جواب در طول تمام تکرارها تاکنون $\Delta\tau_{ij}^{gb}$ در نظر گرفته شده است

$$\rho(t)=\begin{cases}\rho_0+(\rho_1-\rho_0)\times(t-t_0)^2 & t<t_0\\ \rho_0 & t\geq t_0\end{cases} \qquad (۱۳)$$

پس از پایان این دو مرحله، در الگوریتم مورچگان یک تکرار از این الگوریتم به پایان می‌رسد و این تکرارها تا آنجا که یکی از شرایط خاتمه (که می‌تواند موارد بیان‌شده در زیر باشد) تحقق یابد، ادامه می‌یابد.



شکل ۵: شبکه نمونه ۱.

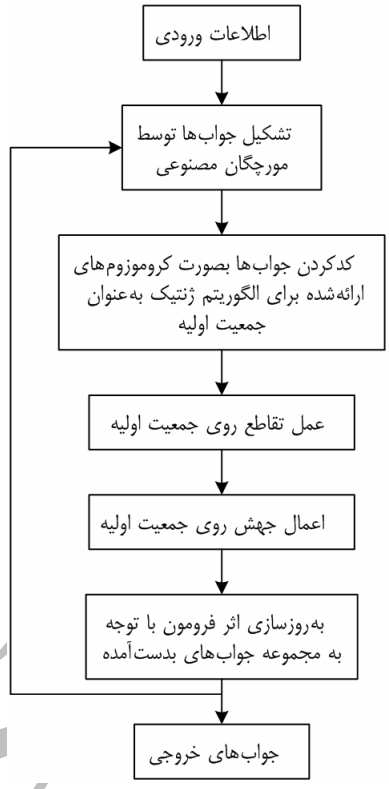
نکته‌ای مهم که در مورد این الگوریتم باید اشاره کرد، انتخاب مقادیر پارامترهای مؤثر در جواب الگوریتم از جمله β، Q، α، ρ و تعداد مورچگان می‌باشد که بسته به ابعاد مسأله قابل تغییر است. به طور کلی در تنظیم پارامترها می‌توان به این موارد اشاره کرد که برای ρ مقادیر کمتر از ۰/۵ همگرایی را کند می‌کند و مقادیر نزدیک به یک باعث پیداشدن جواب نامطلوب می‌شود. مقادیری نزدیک به ۰/۸۵ در پیداکردن جواب مطلوب مفید می‌باشد. از طرف دیگر افزایش مقدار Q در همگرایی سریع‌تر جواب مؤثر است و این افزایش سرعت همگرایی ممکن است مانع رسیدن به جواب بهینه شود. پارامتر β و α در انتخاب کاندیداها توسط مورچگان اثر خود را می‌گذارد. تحقیقات نشان می‌دهد اثر Q و α مشابه یکدیگر می‌باشند. هرچه α بزرگ‌تر شود، سرعت همگرایی بیشتر می‌شود و اگر α بیش از اندازه زیاد شود همگرایی جواب بسیار سریع اتفاق افتاده و جواب‌ها به جواب بهینه محلی منجر می‌شوند. از اینرو بهتر است α بین ۱ تا ۱/۵ انتخاب شود. β نشان‌دهنده میزان تأثیر اطلاعات ابتکاری در انتخاب جواب‌ها است. اصولاً مقادیر کم β، مثلاً $\beta=0$ باعث می‌شود که جواب‌ها، همگرا نشده و مقادیر بزرگ‌تر β باعث همگرایی سریع‌تر آن می‌شود. اگر مقادیر β بزرگ باشد، الگوریتم بسیار سریع به جواب‌های بهینه محلی همگرا می‌شود. لذا مناسب است که β حدود اعداد ۲ و ۳ باشد.

۳-٤ روش ترکیبی الگوریتم ژنتیک و مورچگان

در [۱۴] اشاره شده که به نظر می‌آید روش‌های ترکیبی[1] بهینه‌سازی، نقش مطلوبی در افزایش سرعت و جواب مسائل بهینه‌یابی داشته باشند. از اینرو از ترکیب روش‌های مختلفی، مثل ترکیب آبکاری فولاد و ژنتیک، ترکیب آبکاری فولاد و جستجوی ممنوعه استفاده شده است. در مسأله توسعه پست و شبکه فوق توزیع با بررسی جمعیت جواب‌ها مطابق شکل ۴ که بر روی شبکه نمونه نشان داده شده در شکل ۵ انجام شده، مشخص می‌شود الگوریتم ژنتیک از نظر آماری دارای پراکندگی بیشتر جمعیتی نسبت به الگوریتم مورچگان است و این برای پیداکردن جواب بهتر، مناسب می‌باشد. ولی در عوض سرعت بهبود متوسط جمعیت جواب‌ها به سمت جواب بهینه در این الگوریتم کم است و این باعث می‌شود که شاید جواب‌ها به سمت جواب بهینه مطلق همگرا نشود. این در حالی است که الگوریتم مورچگان دارای پراکندگی جمعیتی کم است و

1. Hybrid Method

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۶: روند کلی حل روش ترکیبی GA و AC.

جمعیت جواب‌ها زود همگرا می‌شوند ولی در عوض سرعت میل جواب‌ها به سمت جواب بهینه، بالا است. این درست همان چیزی است که فکر ترکیب این دو الگوریتم و ایجاد بهبود عملکرد جمعیت جواب‌ها و در نتیجه بهترشدن جواب‌ها را باعث می‌شود، که این موضوع در مقالات دیگر در نظر گرفته نشده است.

لذا در این روش، با ترکیب الگوریتم مورچگان و ژنتیک سعی شده به نحوی از این خصوصیت متضاد در این دو الگوریتم استفاده شود. روند کلی حل روش ترکیبی در شکل ۶ ارائه شده است.

در این روش ابتدا یک سری جواب‌ها توسط مورچگان مصنوعی تشکیل شده و سپس اطلاعات این جواب‌ها به صورتی در می‌آید که برای الگوریتم ژنتیک مفید باشد، سپس این جواب‌ها به عنوان جمعیت اولیه برای الگوریتم ژنتیک نقش ایفا کرده و از روی این جواب‌ها، جمعیت بعدی به کمک الگوریتم ژنتیک ساخته می‌شود. در پایان این مرحله با توجه به روشی که در الگوریتم مورچگان بیان شد، به‌روزسازی فرومون بر اساس کل جواب‌های به وجود آمده صورت می‌گیرد و دوباره مراحل تکرار می‌شود.

با توجه به مطالب گفته‌شده، می‌توان توضیحی مناسب با رفتار مورچگان و رفتار تناسلی آنها بدین شرح بیان کرد که در هر تکرار ابتدا مورچه‌های موجود جواب‌هایی را برای مسأله پیدا می‌کنند و سپس بر اساس زاد و ولدی که ناشی از جفت‌گیری آنها صورت می‌گیرد، فرزندانی از آن نسل اولیه مورچگان به وجود می‌آیند که جواب‌های وابسته به این فرزندان خصوصیات جواب‌های والدینشان را دارا می‌باشند.

اجرای الگوریتم نشان داده که جواب‌های فرزندان در کل بهتر از جواب‌های والدینشان است. در این الگوریتم با توجه به جهش‌ها و تقاطع‌هایی که صورت می‌گیرد از همگرایی جواب‌ها قبل از رسیدن به بهینه مطلق جلوگیری می‌شود. در پایان هر تکرار، خصوصیات و اثرات نسل به وجود آمده به کمک اثرات فرومون به نسل‌های بعد جواب‌ها در تکرارهای بعدی الگوریتم، منتقل می‌شوند.

جدول ۱: اطلاعات هزینه‌های توسعه پست و شبکه فوق توزیع شبکه نمونه ۱ به تفکیک هزینه‌ها.

انواع برنامه‌ریزی توسعه پست و شبکه	مجموع هزینه نصب فیدرها و تلفات سیستم	هزینه توسعه پست‌ها	هزینه توسعه خطوط فوق توزیع	هزینه کل (میلیون تومان)
توسعه پست و شبکه به صورت جداگانه	۲۲۰۴	۴۷۱۶	۴۳۱۰	۱۱۲۲۱
توسعه پست و شبکه به صورت توأم	۲۱۰۹	۴۸۶۰	۳۱۹۶	۱۰۱۶۶

همان‌طور که در بررسی آماری جمعیت جواب‌ها، مطابق شکل ۴ دیده می‌شود در روش ترکیبی الگوریتم ژنتیک و مورچگان، جمعیت علاوه بر اینکه پراکندگی مناسب را دارد، سرعت خوبی برای میل متوسط جواب‌ها به جواب‌های بهینه را دارا می‌باشد. در واقع همین باعث سرعت و دقت بالای این الگوریتم نسبت به دو روش قبلی شده است.

٤- نتایج عددی

برای بررسی توانایی‌های مدل و الگوریتم‌های معرفی‌شده آزمایش‌هایی انجام شده که نتایج آن در این بخش آورده شده است. آزمایش نخست روی شبکه نمونه ۱ که دارای شش پست فوق توزیع موجود، ۳۱ مرکز بار و ۵ مکان پست جدید کاندیدا و ۶۶ خط کاندیدا می‌باشد و در شکل ۵ نشان داده شده است. در این آزمایش، برنامه‌ریزی توسعه شبکه و پست‌های فوق توزیع بر روی شبکه فوق توزیع نمونه ۱ یک بار به صورت جداگانه و به کمک الگوریتم ژنتیک انجام می‌شود و جواب ناشی از آن با جواب بهینه ناشی از الگوریتم‌های پیشنهادی برای توسعه هم‌زمان پست‌ها و شبکه فوق توزیع مقایسه می‌شود. جواب‌هایی که در جدول ۱ آمده نشان می‌دهد اگرچه فضای جستجو در حالت توسعه جداگانه بسیار کمتر از فضای جستجو در حالت توسعه توأم می‌باشد و زمان کمتری برای پیداکردن جواب نیاز است، ولی هزینه توسعه کل (ناشی از توسعه خطوط و پست‌ها) در توسعه توأم کاهش می‌یابد.

از آنجا که در مطالعات برنامه‌ریزی توسعه، جواب نهایی و میزان هزینه کل سرمایه‌گذاری از اهمیت برخوردار می‌باشد، لذا از این آزمایش به لزوم مطالعات برنامه‌ریزی توسعه هم‌زمان پست‌ها و شبکه پی برده می‌شود.

نتایج نشان می‌دهد بیشترین اختلاف هزینه این دو طرح ناشی از هزینه توسعه خطوط فوق توزیع می‌باشد. همچنین توسعه هم‌زمان پست میزان استفاده متوسط از ظرفیت خطوط را افزایش می‌دهد. جداول ۲ تا ۴ بهینه جواب بهینه به دست آمده از این الگوریتم‌ها را نشان می‌دهد و شکل ۷ شبکه توسعه داده شده را در حالت کارکرد عادی نشان می‌دهد.

در شکل ۸ چگونگی جواب‌ها توسط الگوریتم‌های ارائه‌شده را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که الگوریتم ترکیبی مورچگان و ژنتیک از سرعت و دقت بیشتری نسبت به سایر الگوریتم‌ها برخوردار است.

در آزمایش دیگری، به بررسی چگونگی عملکرد الگوریتم‌ها در توسعه یک شبکه نسبتاً بزرگ پرداخته شده است تا توانایی‌های الگوریتم‌های پیشنهادی را مورد ارزیابی قرار دهد. این شبکه شامل ۱۷ پست که شامل ۳ پست انتقال و ۷۵ مرکز بار با بار کل ۴۴۰ MW می‌باشد که برای آن

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲: اطلاعات جواب مربوط به پست‌های موجود شبکه نمونه ۱.

بارهای تخصیص داده‌شده								ظرفیت پیشنهادی (MVA)	ظرفیت اولیه (MVA)	شماره پست موجود
شماره نوع فیدر	شماره بار	شماره نوع فیدر	شماره بار	شماره نوع فیدر	شماره بار	شماره نوع فیدر	شماره بار			
		۳	۲	۲	۳	۳	۱	۱۵	۱۵	۱
۲	۸	۲	۹	۳	۴	۳	۵	۳۰	۱۵	۲
				۲	۶	۳	۷			
۲	۱۲	۲	۱۴	۳	۱۱	۴	۱۳	۳۰	۳۰	۳
						۳	۱۰			
۲	۲۳	۳	۲۴	۳	۲۱	۳	۲۰	۳۰	۱۵	۴
						۲	۲۲			
---	---	---	---	---	---	----	---	۰	۰	۵
۳	۲۵	۲	۲۸	۲	۲۷	۲	۲۶	۳۰	۱۵	۶

جدول ۳: اطلاعات پست جدید نصب‌شده شبکه نمونه ۱.

تعداد بی‌های خطوط بالادست (فوق توزیع)	تعداد بی‌های خطوط پایین‌دست (توزیع)	بارهای تخصیص داده‌شده				سطح ولتاژ(kV)	ترانسفورماتورهای تبدیل ولتاژ فوق توزیع	ترانسفورماتورهای بار	شماره نوع پست	ظرفیت پیشنهادی (MVA)	شماره پست کاندیدا
		شماره نوع فیدر	شماره بار	شماره نوع فیدر	شماره بار						
۲	۶	۳	۱۷	۲	۱۵	۶۳	----	۲*۳۰	۱۲	۳۰	۸
		۳	۱۸	۲	۱۹						
				۴	۱۶						
۲	۴	۲	۳۱	۳	۲۹	۶۳	----	۲*۱۵	۵	۱۵	۱۱
				۲	۳۰						

جدول ۴: خطوط انتخابی برای توسعه شبکه نمونه ۱.

نوع خط (هوایی یا کابل)	در پیشامد خطای یگانه		سطح ولتاژ (kV)	ظرفیت خط (MVA)	راکتانس خط (pu/km)	باس انتها	باس ابتدا	شماره
	ظرفیت	راکتانس خط						
۱	۵۰	۰/۰۱۶	۶۳	۱۰۰	۰/۰۰۸۳	۸	۳	۱
۱	۵۰	۰/۰۱۶	۶۳	۱۰۰	۰/۰۰۸۳	۱۱	۶	۲
۱	۰	∞	۶۳	۵۰	۰/۰۱	۱۳	۴	۳

جدول ۵: مقایسه روش‌های پیشنهادی در پیداکردن جواب مسأله شبکه نسبتاً بزرگ.

روش	میزان جواب بهینه (میلیون تومان)	زمان بدست آمدن جواب
الگوریتم ژنتیک	۲۸۹۴۵	۱۲ ساعت و ۴۰ دقیقه
الگوریتم مورچگان	۳۳۸۵۹	۱۷ دقیقه
ترکیب مورچگان و ژنتیک	۲۷۸۳۶	۱ ساعت و ۲۲ دقیقه

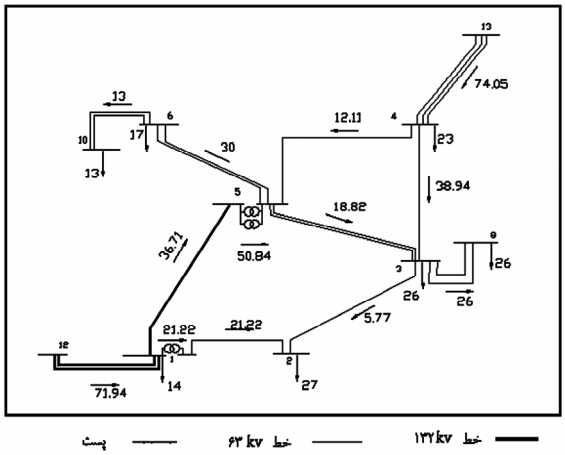
۱۷ مکان پست کاندید جدید و ۱۱۶ خط کاندید در نظر گرفته شده است. جدول ۵ زمان پیداشدن و میزان جواب را از اجرای الگوریتم‌ها برای توسعه این شبکه نشان می‌دهد.

همان‌طور که در جدول ۵ ملاحظه می‌شود با بزرگ‌شدن شبکه، به نظر می‌رسد که الگوریتم ترکیبی مورچگان و ژنتیک توانایی بیشتری در پیداکردن جواب بهینه مسأله برنامه‌ریزی توسعه توأم پست‌ها و شبکه فوق توزیع داشته باشند. در شکل ۹ چگونگی تغییر جواب‌ها برای الگوریتم‌های پیشنهادی نشان داده شده است.

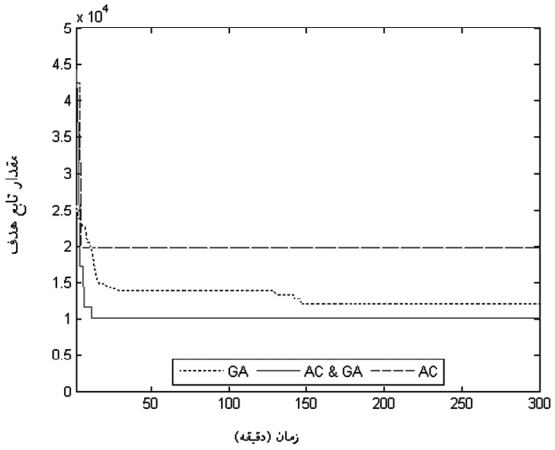
در شکل ۹ مشاهده می‌شود که الگوریتم مورچگان زودتر از همه به جواب همگرا می‌شود، (یعنی در ۱۷ دقیقه)، ولی جواب به دست آمده از این الگوریتم نسبت به دو الگوریتم دیگر بدتر می‌باشد. از طرفی مشاهده می‌شود الگوریتم ژنتیک در زمانی در حدود ۲۲۰ دقیقه به جواب به دست آمده از الگوریتم مورچگان می‌رسد و در زمانی معادل ۷۶۰ دقیقه

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۷: شبکه نمونه ۱ پس از توسعه پست‌ها و خطوط در حال کارکرد عادی شبکه.



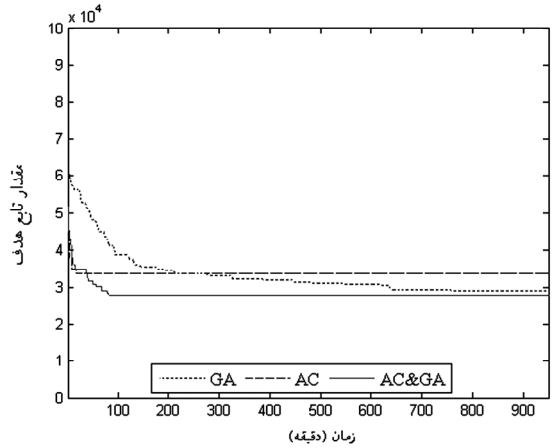
شکل ۸: جواب‌های به دست آمده نسبت به زمان برای شبکه نمونه ۱.

به جواب نهایی می‌رسد که این جواب از جواب الگوریتم مورچگان بهتر و از جواب الگوریتم ترکیب ژنتیک و مورچگان بدتر است. با مشاهده شکل ۹ دیده می‌شود که الگوریتم ترکیبی ژنتیک و مورچگان از نظر سرعت رسیدن به جواب‌های بهتر، در زمان‌های اولیه اجرای برنامه، مثل الگوریتم مورچگان است، ولی از نظر جواب بهینه به دست آمده از الگوریتم مورچگان بهتر است. همچنین با مشاهده روند تغییر جواب‌ها مشاهده می‌شود که الگوریتم ترکیبی در حدود ۸۲ دقیقه به جوابی می‌رسد که نسبت به سایر جواب‌ها بهتر می‌باشد. به عبارتی نشان داده می‌شود که الگوریتم ترکیبی ژنتیک و مورچگان از سرعت و دقت بیشتر نسبت به سایر الگوریتم‌ها برخوردار می‌باشد.

۵- نتیجه‌گیری

با توجه به مطالب بیان‌شده در بخش‌های قبل و نتایج آزمایشات انجام‌شده می‌توان به این جمع‌بندی رسید که برنامه‌ریزی توسعه توأم پست‌ها و خطوط به طراحان و برنامه‌ریزان شبکه، امکان مدل‌کردن دقیق‌تر هزینه‌ها و پارامترهای مؤثر در طراحی و برنامه‌ریزی پست‌ها و شبکه را می‌دهد. بنابراین با در نظر گرفتن همه تأثیراتی که متغیرها و پارامترها در توسعه توأم روی یکدیگر می‌گذارند، می‌توان به طرحی بهینه از نظر اقتصادی و مناسب از نظر فنی دست یافت.

آزمایشات نشان داد که توسعه هم‌زمان پست‌ها و شبکه فوق توزیع، به خصوص امکان استفاده بهینه‌تر از ظرفیت موجود شبکه را به طراحان و در نتیجه هزینه کمتر توسعه شبکه و در نهایت کمترشدن هزینه کل توسعه را می‌دهد، زیرا در نظر گرفتن توسعه جداگانه پست‌ها بدون توجه به



شکل ۹: جواب‌های به دست آمده نسبت به زمان برای شبکه نسبتاً بزرگ.

خطوط، ممکن است به جوابی برای توسعه پست‌ها منجر شود که در مرحله توسعه خطوط باعث گسترش غیر اقتصادی خطوط برای شبکه گردد.

از دیگر مواردی که در آزمایشات انجام‌شده مورد بررسی قرار گرفت بررسی توانایی‌های الگوریتم‌های پیشنهادی در حل مسأله پیچیده بهینه‌سازی توسعه توأم پست‌ها و شبکه فوق توزیع و مقایسه این روش‌ها از نظر دقت و سرعت آنها بوده است. بررسی‌ها نشان داد که الگوریتم ترکیبی مورچگان و ژنتیک از توانایی خوبی از نظر سرعت و هم از نظر میزان بهینه‌بودن جواب‌ها نسبت به سایر الگوریتم‌ها برخوردار بوده است.

از طرف دیگر در مورد الگوریتم مورچگان به این نتیجه رسیدیم، اگرچه از سرعت همگرایی خوبی برخوردار است، ولی در عوض امکان همگراشدن جواب‌ها قبل از رسیدن به جواب بهینه مطلق وجود دارد و لذا در مورد این الگوریتم، پارامترهای موجود را باید به طور مناسب انتخاب کرد، زیرا انتخاب نامناسب آنها می‌تواند تأثیر بسزایی در جواب الگوریتم داشته باشد. در مقابل، الگوریتم ژنتیک نسبت به الگوریتم مورچگان از سرعت کمتری برخوردار بوده و احتمال کمتری وجود دارد که به بهینه‌های محلی همگرا شود در عوض به دلیل ساختار کروموزوم‌ها، در مورد این الگوریتم امکان عدم همگرایی و پیدانشدن جواب یا پیداشدن جواب نامناسب مسأله وجود دارد.

برای توسعه و ادامه این تحقیق توصیه می‌شود که بحث برنامه‌ریزی در شبکه فوق توزیع به همراه تولید پراکنده نیز در نظر گرفته شده و مزایای توسعه هم‌زمان مورد بررسی قرار گیرد. همچنین مباحثی مثل بررسی اثر زمان در برنامه‌ریزی و اثر تجدید ساختار در توسعه هم‌زمان شبکه فوق توزیع مورد تحقیق قرار گیرد.

٦- پیوست

٦-١ الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک[1]، به عنوان یک روش بهینه‌سازی روشی نسبتاً جدید است که طی حدود ربع قرن گذشته توسعه‌ای رو به تکامل داشته است [۸].

الگوریتم ژنتیک یکی از روش‌های جستجو و بهینه‌سازی است که بر اصول و مکانیسم‌های ژنتیک طبیعی و انتخاب بقای اصلح بنا گردیده است. در این الگوریتم، بین ساختارهای رشته‌ای که مشابه کروموزوم‌های

1. Genetic Algorithm

Archive of
www.SID.ir

شکل ۱۰: نمایش یک کروموزوم که دارای n بیت می‌باشد و در پایه عدد m کدگذاری شده است.

طبیعی می‌باشد، تعاملی سازنده صورت می‌گیرد که نتیجه آن ساخت نسلی جدید می‌باشد. از آنجا که این الگوریتم از اصل بقای نسل‌های برتر پیروی می‌کند، شرایطی را برای یافتن جواب مطلوب فراهم می‌آورد. الگوریتم ژنتیک توسط جان هلند و همکارانش در دانشگاه میشیگان ایجاد و ارائه شدند. برای ساخت یک مدل بهینه‌سازی با به کار بستن الگوریتم ژنتیک، ۴ جزء مهم آن باید طراحی گردد.

- دستور زبان (گرامر) کروموزوم که در واقع کدبندی و رمزگذاری آن می‌باشد.
- نحوه تعبیر و تفسیر کروموزوم که در واقع کشف رمز آن می‌باشد.
- محاسبه و تعیین برازندگی کروموزوم.
- عملگرهای مناسب برای امور آمیزش و امتزاج و جهش کروموزوم‌ها.

۶-۱-۱ مفاهیم اولیه در الگوریتم ژنتیک و انواع عملگرهای آن

۶-۱-۱-۱ کد کردن

الگوریتم ژنتیک به جای اینکه روی پارامترها یا متغیرهای مسأله کار کند، با شکل کدشده آنها به طور مناسب، سر و کار دارد. متداول‌ترین روش کدگذاری، استفاده از اعداد باینری و رشته‌های بیتی[1] است. در این روش، پارامترها با دنباله‌های مناسب از اعداد صفر و یک جایگزین می‌شوند. از روش‌های دیگر کدگذاری در الگوریتم ژنتیک کدگذاری در پایه‌های غیر از عدد ۲ و کدگذاری بر اساس مرتبه[2] را می‌توان نام برد. تعداد بیت‌هایی که برای کدگذاری متغیرها استفاده می‌شود وابسته به دقت مورد نظر برای جواب، محدوده تغییرات پارامترها و رابطه بین متغیرها می‌باشد.

۶-۱-۱-۲ کروموزوم[3]

رشته یا دنباله‌ای از بیت‌ها که به عنوان شکل کدشده یک جواب ممکن (مناسب یا نامناسب) از مسأله مورد نظر می‌باشد، را کروموزوم می‌گویند. در حقیقت بیت‌های یک کروموزوم نقش ژن‌ها در طبیعت را بازی می‌کنند. هر بیت، متغیری گسسته است که از یک مجموعه Q عضوی انتخاب می‌شود. چنانچه از کدگذاری باینری استفاده شود هر بیت یکی از دو مقدار ۰ و ۱ را می‌پذیرد، بنابراین $Q=2$ می‌باشد. یک کروموزوم که دارای n ژن می‌باشد، در شکل ۱۰ نمایش داده شده است. c_i در این شکل نشان‌دهنده مقدار بیت iام است که از مجموعه $Q=m$ عضوی انتخاب می‌شود.

۶-۱-۱-۳ جمعیت[4]

مجموعه‌ای از کروموزوم‌ها را جمعیت می‌گویند. یکی از ویژگی‌های الگوریتم ژنتیک این است که به جای تمرکز روی یک نقطه از فضای جستجو یا یک کروموزوم، بر روی جمعیتی از کروموزوم‌ها کار می‌کند. بدین ترتیب در هر مرحله، الگوریتم دارای جمعیتی از کروموزوم‌ها بوده که خواص مورد نظر را بیشتر از جمعیت مرحله قبل دارا می‌باشد.

۶-۱-۱-۴ مقدار برازندگی[5]

مناسب‌بودن یا نبودن جواب، با معیاری که از تابع هدف به دست می‌آید، سنجیده می‌شود. هرچه که یک جواب مناسب‌تر باشد، مقدار برازندگی بزرگتری دارد. برای آنکه شانس بقای چنین جوابی بیشتر شود، احتمال بقای آن، متناسب با مقدار برازندگی آن در نظر گرفته می‌شود. بنابراین کروموزومی که برازنده‌تر است با احتمال بیشتری در تولید فرزندان شرکت می‌کند و دنباله‌های بیشتری از آن به وجود می‌آید. به عنوان مثال چنانچه هدف بیشینه‌کردن یک تابع باشد، مقدار برازندگی، یک تابع صعودی از تابع هدف در نظر گرفته می‌شود و اگر هدف یافتن مقدار کمینه یک تابع باشد، عدد برازندگی، یک تابع نزولی از آن قرار داده می‌شود. معمولاً در مواردی که امکان دارد، تابع برازندگی را در فاصله [۱،۰] نرمالیزه می‌کنند.

۶-۱-۱-۵ عملگر تقاطع[6]

این عملگر بر روی یک جفت از کروموزوم‌ها عمل می‌کند و می‌تواند به صورت نقطه‌ای و چندنقطه‌ای باشد. عملگر جابجایی تک‌نقطه‌ای، دو کروموزوم را به طور تصادفی از یک نقطه شکسته و بخش‌های دو کروموزوم را جابجا می‌کند. بدین ترتیب دو کروموزوم جدید به دست می‌آید. به کروموزوم‌های اولیه، کروموزوم‌های والد و به کروموزوم‌های حاصل‌شده از عمل جابجایی و عمل جهش، کروموزوم‌های فرزند گویند.

۶-۱-۱-۶ عملگر جهش[7]

این عملگر به طور تصادفی یک کروموزوم از یک جمعیت را انتخاب کرده، با استفاده از تغییر آن بطور تصادفی، یک کروموزوم جدید می‌سازد.

۶-۱-۱-۷ عملگر انتخاب[8]

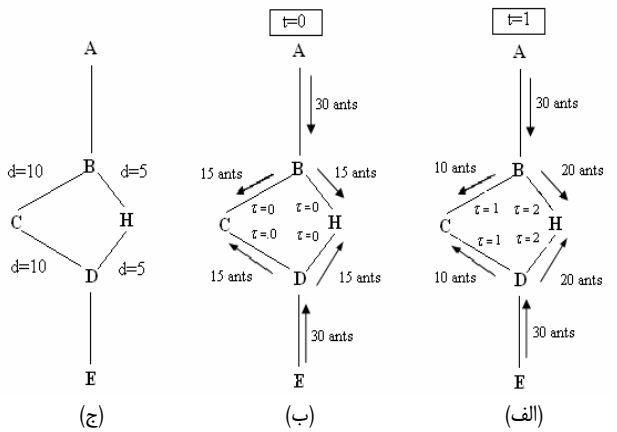
با انتخاب تعدادی از کروموزوم‌های یک جمعیت، جمعیت جدیدی را تشکیل می‌دهد. این انتخاب به گونه‌ای است که احتمال حضور کروموزوم‌های با برازندگی بیشتر در جمعیت نهایی، بیشتر از سایر کروموزوم‌ها است.

۶-۲ الگوریتم مورچگان

پژوهش‌های زیست‌شناسان در مورد رفتار مورچگان نشان داده است که این گونه از حشرات با وجود نابینایی مطلق، توانایی بسیار زیادی در یافتن کوتاه‌ترین مسیر از لانه خود تا منبع غذا حتی با وجود موانع بسیار بر سر راه خود دارند. این ویژگی ناشی از ارتباط میان مورچگان از طریق برجایگذاری اثر فرومون[9] است. مورچگانی که در جستجوی غذا هستند مقادیری از نوعی ماده شیمیایی به نام فرومون (نوع خاصی هورمون) از خود به جای می‌گذارند و به این ترتیب مسیر حرکت خود را علامت‌گذاری می‌کنند. مورچه دیگری که به طور مستقل در حال حرکت است به هنگام مواجه‌شدن با مسیری که آغشته به فرومون است آن را شناسایی کرده با احتمال بسیار زیادی تصمیم به دنبال‌کردن آن مسیر می‌گیرد و به این ترتیب آن مسیر را به مقدار فرومون بیشتری آغشته می‌کند. از آنجا که فرومون موجود در مسیرها پس از مدتی تبخیر می‌شود مجموع تعامل میان فرومون بر جای گذاشته شده در یک مسیر، تعداد مورچگانی که از

1. Bit String
2. Order-Based
3. Chromosome
4. Population
5. Fitness Value
6. Crossover Operator
7. Mutation Operator
8. Selection Operator
9. Pheromone

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۱۱: نحوه پیداکردن کوتاه‌ترین مسیر توسط مورچه‌ها، (الف) گراف اولیه با طول فواصل میان نقاط، (ب) در زمان $t=0$ هیچ اثری فرومون روی شاخه‌های گراف موجود نیست. در نتیجه ۳۰ مورچه‌ای که در این لحظه به نقطه B یا C رسیده‌اند با احتمال مساوی یکی از مسیرها را انتخاب می‌کنند و (ج) در زمان $t=1$ شدت اثر فرومون روی مسیر کوتاه‌تر بیشتر است که در مجموع مطلوبیت بیشتری برای مورچگان پیدا می‌کند (τ نشان‌دهنده میزان فرومون است).

آن مسیر تردد می‌کنند، شدت تبخیر فرومون و مسافت و طول مسیر باعث می‌شود که پس از مدتی، کوتاه‌ترین مسیر میان لانه مورچگان و منبع غذایی کشف شود. نتایج یک آزمایش که توسط Dorigo، Maniezzo و Colorn ارائه شده [۹] در شکل ۱۱ به منظور نشان‌دادن چگونگی رفتار مورچگان در یافتن کوتاه‌ترین مسیر به طور سطحی به تصویر در آمده است.

مشاهده این رفتار و شناسایی خاصیت فرومون مورچگان و بازخور مثبت این ماده شیمیایی در هدایت مورچگان موجب شد تا Dorigo و همکارانش در دانشگاه پلی‌تکنیک میلان در ایتالیا و دانشگاه آزاد بروکسل در بلژیک اقدام به شبیه‌سازی این رفتار و طراحی عوامل بسیار ساده‌ای تحت عنوان مورچه بنمایند که بتوانند رفتار مورچه‌های واقعی را شبیه‌سازی نمایند. به این ترتیب Dorigo و همکارانش، [۹] تا [۱۱]، موفق شدند در سال‌های ۱۹۹۱ و ۱۹۹۲ یعنی کمتر از ۱۵ سال پیش، این خواص را در قالب مورچگان مصنوعی شبیه‌سازی کرده و با رویکردی ریاضی اقدام به حل مسائل پیچیده ریاضی بنمایند.

آنچه که از بررسی مطالعات برمی‌آید [۹]، دو عامل اصلی و مهم در الگوریتم برای پیداکردن جواب بهینه کمک می‌کنند. یکی شدت فرومون که اصولاً با (τ) نشان داده می‌شود که در مسائل مختلف بسته به نوع مسأله می‌تواند نشان‌دهنده میزان فرومون برجای‌مانده در یک مسیر یا در انتخاب یک کاندیدا یا تخصیص یک وسیله به یک مکان و ... باشد و عامل دوم یک عامل راهنمای ابتکاری می‌باشد که با (η) نشان داده می‌شود که بسته به نوع مسأله می‌تواند تعابیر متفاوتی داشته باشد. مثلاً عکس فاصله دو نقطه $1/d$ یا رابطه عکس داشته باشد با میزان هزینه‌ای که در اثر انتخاب یک کاندیدا و یا تخصیص یک وسیله به یک مکان به تابع هدف اضافه می‌شود.

در این بین، دو پارامتر α و β به ترتیب میزان اثر و اهمیت هر یک از دو عامل را در انتخاب هر کاندیدا نشان می‌دهد. یعنی میزان α و β بیان می‌کند چه مقدار (η) و چه مقدار فرومون در ارتباط با یک کاندیدا، می‌تواند در انتخاب آن کاندیدا نقش بازی کند. اصولاً با مطالعه روش‌ها و تحقیقاتی که بر اساس الگوریتم مورچگان به کار رفته است، دو مرحله اساسی در این الگوریتم وجود دارد که یکی مرحله تشکیل جواب و دیگری به‌روزسازی فرومون است.

۶-۲-۱ ساختن جواب

در این مرحله از الگوریتم، بر اساس استفاده از مفهوم مورچگان مصنوعی و ماهیت احتمالی حرکت این مورچگان، به انتخاب کاندیداها از بین کاندیداهای موجود پرداخته می‌شود. به این ترتیب که مورچه‌ها با احتمال زیر در هر مرحله به انتخاب یک کاندیدا از بین کاندیداها می‌پردازد

$$P_{ij}^{k}(t)=\frac{[\tau_{ij}(t)]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{l\in N_i^k}[\tau_{il}(t)]^{\alpha}[\eta_{ij}]^{\beta}} \qquad (۱۴)$$

از آنجا که انتخاب کاندیداها در مسائل مختلف می‌توانند مستقل از هم نباشند لذا در فرمول بالا i نشان‌دهنده کاندیدایی است که در مرحله قبل توسط مورچه kام انتخاب شده است و j کاندید دیگری است که ممکن است توسط مورچه kام پس از انتخاب کاندیدای iام انتخاب شود. در فرمول بالا، $P_{ij}^{k}(t)$ نشان‌دهنده میزان احتمال انتخاب کاندیدای jام در تکرار tام مسأله توسط مورچه kام است. همان‌طور که مشاهده می‌شود و در قبل نیز به آن اشاره شد دو عامل اساسی، τ_{ij}، میزان فرومون موجود و، η، که ناشی از اطلاعات مسأله است، در میزان احتمال مؤثر است و میزان تأثیر هر کدام با β و α وابسته است. N_i^k در فرمول بالا، برابر میزان کاندیداهایی می‌باشد که می‌تواند توسط مورچه kام انتخاب شود، وقتی که در مرحله قبل، کاندید iام انتخاب شده است. باید توجه داشت که $\sum_{j\in N_i^K}P_{ij}^{k}(t)=1$ می‌باشد. این روند تا آنجا ادامه می‌یابد تا کاندیداهای انتخاب‌شده، توانایی تشکیل جواب مطلوبی را با توجه به صورت مسأله داشته باشند و بدین ترتیب مرحله ساختن جواب به پایان می‌رسد.

۶-۲-۲ به‌روزسازی فرومون

پس از یافتن جواب باید میزان فرومون در هر مسیر به صورت فرمول زیر به‌روز شود

$$\tau_{ij}(t+1)=\rho.\tau_{ij}(t)+\sum_{k=1}^{m}\Delta\tau_{ij}^{k} \qquad (۱۵)$$

فرمول بالا بیان می‌کند که میزان فرومون برای تکرار $t+1$ام در مسیر ij، ρ برابر میزان فرومون موجود در تکرار مرحله قبل، به اضافه مجموع فرومونی که از هر مورچه در این مسیر باقی می‌ماند، می‌باشد. توجه شود که در فرمول بالا $0<\rho<1$ می‌باشد و بیان‌کننده میزان پایداری اثر فرومون و یا به عبارتی $[1-\rho]$، معرف شدت تبخیر فرومون می‌باشد. استفاده از پارامتر ρ برای اجتناب از تجمع نامحدود فرومون و فراموش‌شدن جواب‌های غیر مطلوب قبلی توسط الگوریتم است. توجه شود که m برابر تعداد مورچگانی است که در انتخاب جواب‌ها نقش دارند و هر یک به تنهایی، قادر به ساختن یک جواب مطلوب نیز می‌باشند. پس از این مرحله دوباره مرحله قبل تکرار می‌شود و این مراحل آنقدر تکرار می‌شود تا شرایط پایان فراهم شود و جواب‌ها همگرا شود.

روش‌ها و تحقیقاتی که بر اساس این الگوریتم بهینه‌سازی انجام شده‌اند همه از نظر ماهیت، مشابه مطالبی هستند که در قبل بیان شد.

مراجع

[1] X. Wang and J. R. Mc Donald, *Modern Power System Planning*, Mc Graw-Hill Publication, 1994.

[2] R. E. Brown, X. Feng, Y. Liao, and J. Pan, "An application of genetic algorithms to integrated system expansion optimization," in *IEEE Conf.*, vol. 2, p. 746, Jul. 2003.

Archive of SID

www.SID.ir

[3] G. Latorre, R. D. Cruz, G. M. Areza, and A. Villegas, "Classification of publication and models on transmission expansion planning," *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 18, no. 2, pp. 938-946, May 2003.
[4] M. R. Haghifam and M. Shahabi, "Optimal location and sizing of HV/MV substation in uncertainty load environment using genetic algorithm," *Electric Power System Research*, vol. 63, no. 1, pp. 37-50, Jun. 2002.
[5] K. Yahav and G. Oren, "Optimal locations of electrical substation in regional energy supply systems," *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 5, no. 6, pp. 307-310, Nov. 1996.
[6] E. L. Silva, H. A. Gil and J. M. Areiza, "Transmission network expansion planning under an improved genetic algorithm," *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 15, no. 3, pp. 560-565, Aug. 2001.
[7] R. E. Brown, J. Pan, X. Feng, and K. Koutlev, "Sitting distributed generation to defer T&D expansion," in *Proc. IEEE Transmission and Distribution Conference and Exposition,* vol. 2, pp. 622-627, Atlanta, US, Sep. 2001.
[8] L. Davis, *Handbook of Genetic Algorithms*, Van Nostrand Reinhold, 1991.
[9] A. Colorni, M. Dorigo, and V. Maniezzo, "Distributed optimization by ant colonies," in *Proc. European Conf. on Artificial Life, EVAL'91,* pp. 134-142, Dec. 1991.
[10] A. Colorni, M. Dorigo, and V. Maniezzo, *Positive Feedback as a Search Strategy*, Technical Report, TR91-061, Politechnico di Milano, 1992.
[11] M. Dorigo, *Optimization, Learning and Natural Algorithms*, Ph. D. Thesis Politecnico di Milano, 1992.
[12] M. Dorigo, V. Maniezzo, and A. Colorni, "The ant system: optimization by a colony of cooperating agents," *IEEE Trans. of Systems, Man and Cybernetics - Part B*, vol. 26, no. 1, pp. 29-41, Feb. 1996.
[13] J. F. Gomes, H. M. Khodr, P. M. De Oliviera, L. Oeque, J. M. Yusta, R. Villasana, and A. J. Urdaneta, "Ant colony system algorithm for the planning of primary distribution circuits," *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 19, no. 2, pp. 996-1004, May 2004.
[14] Y. H. Song and M. R. Irving, "Optimization techniques for electrical power systems," *IEE Power Enginiering J.*, vol. 15, no. 3, pp. 151-160, Jun. 2001.

وحید امیر در مهر سال ۱۳۷۸ پس از گذراندن تحصیلات متوسطه وارد دانشگاه صنعتی اصفهان شد و پس از گذراندن دوره کارشناسی در شهریور ماه ۱۳۸۲ در مقطع کارشناسی ارشد در رشته مهندسی برق دانشگاه تربیت مدرس پذیرفته شد. ایشان پس از فارغ التحصیلی از سال ۱۳۸۵ تاکنون به عنوان عضو هیئت علمی و سرپرست در گروه برق دانشگاه آزاد اسلامی نراق و جاسب مشغول گذراندن طرح خدمت خود است. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه وی عبارتند از: برنامه‌ریزی، بهره‌برداری و تجدید ساختار در سیستم‌های قدرت.

حسین سیفی تحصیلات خود را در مقطع کارشناسی از دانشگاه شیراز در سال ۱۳۵۹ و کارشناسی ارشد و دکترای خود را از دانشگاه منچستر (یومیست) در رشته مهندسی برق به ترتیب در سالهای ۱۳۶۶ و ۱۳۶۸ دریافت کرد و از همان سال در دانشگاه تربیت مدرس مشغول فعالیت گردید. دکتر سیفی اکنون استاد دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر این دانشگاه و رئیس مرکز ملی مطالعات و برنامه‌ریزی شبکه‌های قدرت است. زمینه‌های تحقیقاتی ایشان، برنامه‌ریزی، دینامیک، بهره‌برداری و بازار در سیستم‌های قدرت است.

محمد صادق سپاسیان تحصیلات خود را در مقطع کارشناسی در دانشگاه تبریز، کارشناسی ارشد در دانشگاه تهران و دکتری در دانشگاه تربیت مدرس به ترتیب در سالهای ۱۳۶۹ ، ۱۳۷۲ و ۱۳۷۹ در رشته مهندسی برق به انجام رسانده و از سال ۱۳۷۳ در دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور) مشغول فعالیت گردید. دکتر محمد صادق سپاسیان هم اکنون استادیار دانشکده مهندسی برق این دانشگاه بوده و زمینه‌های تحقیقاتی ایشان برنامه‌ریزی، دینامیک و بهره‌برداری در سیستم‌های انتقال و توزیع می‌باشد.

غلامرضا یوسفی تحصیلات خود را در مقطع کارشناسی در دانشگاه صنعتی اصفهان در رشته مهندسی برق با گرایش کنترل به انجام رسانده و کارشناسی ارشد و دکترای خود را از دانشگاه تربیت مدرس در رشته مهندسی برق با گرایش قدرت دریافت کرد. ایشان از سال ۱۳۸۳ به عنوان عضو هیئت علمی دانشگاه تربیت مدرس مشغول به فعالیت می‌باشد و همچنین دارای سوابق کاری در مجتمع فولاد مبارکه، شرکت مشانیر و سازمان توانیر است.

Archive of SID

www.SID.ir