

ترکیب الگوریتم‌های ژنتیک و بهینه‌سازی لانه مورچگان برای حل مسأله انتخاب عرضه کننده

فاطمه دارائی^۱

کارشناسی ارشد علوم کامپیوتر، گرایش محاسبات علمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۰۴

Combining Genetic Algorithms And Motor Nest Optimization To Solve The Supplier's Selection Problem

Fatemeh Daraei¹¹Master's degree in Computer Science, Scientific Computing, Faculty of Basic Sciences, Razi University, Kermanshah, Iran

Received: (24/05/2022)

Accepted: (29/06/2022)

Abstract:

The genetic algorithm was invented in 1980 based on Darwin's evolutionary theory to solve optimization problems. In fact, the genetic algorithm is based on the principle of "continuing the life of the best" and "proliferation of the superior type". The main operators of the genetic algorithm include: coding, selection, integration operator and mutation operator. The performance of the genetic algorithm is very good in the first few repetitions, but with the continuation of the trend and the increase in the number of repetitions, we will face a multitude of excessive results and results, which increases the number of repetitions to the optimal response. The method of optimizing the ant is derived from the actual motion of the ant in nature to find food, which was first introduced in Marco Dorigo's doctoral dissertation in 1992 as the ant system. The algorithm introduced by Dorigo is based on two basic principles: 1- Injection and evaporation of the pheromone 2- potential tendency of the ant into the pheromone. The algorithm optimization of the ant nest has a slow convergence rate due to the absence of pheromones in the early repetitions. But with the continuation of the search process and the increase in the concentration of the pumped porose, it works very well in the final stages. The combined algorithm with the combination of two genetic algorithms and the curry optimization of the ant uses the benefits of both algorithms. In the hybrid algorithm, we first use a few repetitions of genetic algorithm, then consider the chromosome from the genetic algorithm as the primary answer of the ant algorithm, and continue the subsequent repetitions until the optimal answer with the ant algorithm. The combination algorithm performs better in terms of convergence and efficiency, better than genetic algorithms and ant nest optimization.

Key words: Problem Selection- Supply Chain Management- Evolutionary Algorithm- Marticular Algorithm- Genetic Algorithm- Network Optimization Algorithm- Combined Algorithm.

چکیده

الگوریتم ژنتیک در سال ۱۹۸۰ بر اساس نظریه تکاملی داروین برای حل مسائل بهینه‌سازی ابداع شد. در واقع الگوریتم ژنتیک بر اساس اصل "ادامه حیات بهترین‌ها" و "تکثیر نوع برتر" پی ریزی شده است. عملگرهای اصلی الگوریتم ژنتیک شامل: کدگذاری، انتخاب، عملگر ادغام و عملگر جهش است. عملکرد الگوریتم ژنتیک در چند تکرار اول بسیار خوب است اما با ادامه روند و افزایش تعداد تکرارها با انبوهی از جواب‌ها و نتایج زائد رو به رو می‌شویم که باعث افزایش تعداد تکرارها تا رسیدن به جواب بهینه می‌شود. روش بهینه‌سازی کلونی مورچگان بر گرفته از حرکت واقعی مورچگان در طبیعت برای یافتن غذا است که در پایان نامه دکترای مارکو دوریگو در سال ۱۹۹۲ تحت عنوان سیستم مورچگان برای اولین بار معرفی شد. الگوریتم معرفی شده توسط دوریگو بر اساس دو اصل پایه‌ای ۱- تزریق و تبخیر فرومون ۲- گرایش احتمالی مورچگان به مسیر پر فرومون بنا شده است. الگوریتم بهینه‌سازی لانه مورچگان به علت عدم وجود فرومون در تکرارهای ابتدایی دارای یک سرعت همگرایی کند است. اما با ادامه روند جستجو و افزایش میزان غلظت فرومون ریخته شده عملکرد بسیار خوبی در مراحل پایانی دارد. الگوریتم ترکیبی با ترکیب دو الگوریتم ژنتیک و بهینه‌سازی کلونی مورچگان، از مزایای هر دو الگوریتم استفاده می‌کند. در الگوریتم ترکیبی ابتدا از چند تکرار الگوریتم ژنتیک استفاده می‌کنیم سپس کروموزوم به دست آمده از الگوریتم ژنتیک را به عنوان جواب ابتدایی الگوریتم مورچگان در نظر می‌گیریم و تکرارهای بعدی تا رسیدن به جواب بهینه را با الگوریتم مورچگان ادامه می‌دهیم. الگوریتم ترکیبی از نظر سرعت همگرایی و کارایی، بهتر از الگوریتم‌های ژنتیک و بهینه‌سازی لانه مورچگان عمل می‌کند.

واژه های کلیدی: مسأله انتخاب تأمین کننده- مدیریت زنجیره تأمین- الگوریتم تکاملی- الگوریتم فرا ابتکاری- الگوریتم ژنتیک- الگوریتم بهینه‌سازی لانه مورچگان- الگوریتم ترکیبی

مقدمه

در دهه ۹۰ میلادی، به همراه بهبود در فرآیند تولید، مدیران به این نتیجه رسیدند که جهت کسب مزیت‌های رقابتی و جلب رضایت مشتریان خود، دیگر توجه به درون سازمان کافی نیست و برای ادامه حضور در بازار، تأمین کنندگان قطعات و مواد باید موادی با بهترین کیفیت و کمترین هزینه تولید کنند و توزیع کنندگان محصولات نیز باید ارتباط نزدیکی با سیاست‌های توسعه بازار سازمان داشته و الگوهای جدید مصرف را شناخته و با انتقال آن‌ها به سازمان، سازمان را در جهت پاسخ‌گویی هرچه بهتر به این نیازها یاری رسانند. از مهم‌ترین ویژگی‌های این دهه، از منظر رفتار بازار می‌توان به مواردی همچون ثبات و تکرار پذیری کم در خواسته‌های مشتریان، تغییرات غیر قابل پیش‌بینی و غیرخطی، تغییرات گسسته متغیرهای بازار و غیرممکن بودن پیش‌بینی آینده اشاره کرد. از منظر شیوه رقابت نیز می‌توان به مواردی همچون اشباع بودن بازار و رقابت سنگین و بدون حیطه‌بندی (کوچک و بزرگ) و دغدغه رقابت به صورت بود و نبود در بازار اشاره کرد. توجه به جنبه‌های اطلاعاتی در کنار جنبه‌های فیزیکی، شکل‌گیری ارتباطات گسترده لجستیکی در چارچوب زنجیره تأمین، شکل‌گیری مفهوم لجستیک الکترونیکی^۱ و برنامه‌ریزی و کنترل توزیع از راه دور از عوامل مهم در تحول لجستیک در این دهه است.

زنجیره تأمین

زنجیره تأمین، شبکه‌ای است از شرکا یا همکاران مستقلی که نه تنها کالا و خدمات مورد نیاز شبکه را عرضه می‌کنند، بلکه سبب انگیزش تقاضا و تسهیل هم‌زمان قابلیت‌ها و منابع کل شبکه و همچنین امکان ارتقای سطح عملکرد بازار می‌شوند. زنجیره تأمین به صورت یک سیستم ترکیبی، شامل چهار فرآیند برنامه، منبع، ساخت و ارائه تعریف می‌شود که قسمت‌های مختلف شامل فراهم کنندگان مواد، تسهیلات تولیدی، خدمات توزیعی و مشتریان را از طریق فرستادن مواد جاری و دریافت اطلاعات جاری به هم متصل می‌کند. زنجیره تأمین از دو یا چند سازمان تشکیل می‌شود که رسماً از یکدیگر جدا هستند و به وسیله جریان‌های مواد، اطلاعات و جریان‌های مالی به یکدیگر مربوط می‌شوند. این سازمان‌ها می‌توانند بنگاه‌هایی باشند که مواد اولیه، قطعات، محصول نهایی یا

^۱ Electronic Logistics

خدماتی چون توزیع، انبار، عمده فروشی و خرده فروشی تولید می‌کنند. حتی خود مصرف کننده نهایی را نیز می‌توان یکی از این سازمان‌ها در نظر گرفت.

به طور کلی زنجیره تأمین عبارت است از جریان مواد اولیه، اطلاعات، پول و خدمات از سوی عرضه‌کنندگان مواد اولیه که از طریق کارخانجات و توزیع‌کنندگان به مشتری نهایی می‌رسد. همچنین زنجیره تأمین یا زنجیره عرضه شامل سازمان‌ها و فرآیندهایی است که محصولات، اطلاعات و خدمات را به مصرف کننده نهایی تحویل می‌دهند. زنجیره تأمین، زنجیره‌ای است که همه فعالیت‌های مرتبط با جریان کالا و تبدیل مواد به محصول، از مرحله تهیه مواد اولیه تا مرحله تحویل کالای نهایی به مصرف کننده را شامل می‌شود. در ارتباط با جریان کالا باید به دو جریان دیگر یکی جریان اطلاعات و دیگری جریان منابع مالی توجه کرد [۷].

مفهوم مدیریت زنجیره تأمین امروزه بسیاری از سازمان‌ها به دلیل کسب مزیت رقابتی بیشتر نسبت به رقبا، دستیابی به هدف‌های سازمانی که شامل ایجاد ارزش برای مشتریان، استفاده مطلوب از منابع و افزایش سودآوری است، مدیریت زنجیره تأمین را اختیار کرده‌اند. در نظر برخی از افراد زنجیره تأمین همان خرید و تهیه و تدارک کالا مورد نظر است و از نظر بعضی دیگر به معنای انبارداری، توزیع و حمل و نقل است. مدیریت زنجیره تأمین هم یک تئوری و هم یک شیوه عملی است. دامنه دید آن فراتر از یک سازمان است و همه چیزهایی را که در تولید و ارسال یک محصول یا خدمت دخالت دارد، در نظر گرفته و همه آن‌ها را به گونه‌ای به هم متصل می‌کند که به صورت یک تیم کارآمد و بدون مرز عمل کنند؛ یعنی اینکه مشتریان، عرضه‌کنندگان، شرکت‌های حمل و نقل و حتی در این اواخر، رقبای تجاری، با هم متحد می‌شوند و یک شبکه تشکیل می‌دهند تا از وقت و منابع به کار گرفته شده، بهترین استفاده ممکن صورت گیرد. با این تفاسیر می‌توان مدیریت زنجیره را چنین تعریف کرد: یکپارچگی فرآیندهای کلیدی کسب و کار از تأمین کننده اصلی تا مصرف کننده نهایی، که تأمین کنندگان، محصولات، خدمات و اطلاعات دارای ارزش افزوده را برای مصرف کننده و دیگر سهام داران تهیه و تولید می‌کنند. مدیریت زنجیره تأمین عبارت است از مدیریت فرآیندهای اصلی کسب و کار که امکان برآوردن اثر بخش تقاضای مشتری را به وجود می‌آورد [۴].

مدیریت زنجیره تأمین و مزیت رقابتی

مزیت رقابتی عبارت است از میزان فزونی پیشنهادهای شرکت در مقایسه با رقبا از نظر مشتریان. مزیت رقابتی، تمایز در ویژگی‌ها یا ابعاد هر شرکتی است که آن را قادر می‌سازد تا خدمات بهتری (ارزش بهتر) را نسبت به رقبا به مشتریان ارائه دهد. مزیت رقابتی ارزش‌های قابل ارائه شرکت برای مشتریان است به نحوی که این ارزش‌ها از هزینه‌های مشتری بالاتر است. به این ترتیب می‌توان گفت، مزیت رقابتی مجموعه‌ای است از توانایی‌های منحصر به فرد یک واحد اقتصادی که تأثیر فرآیندهای مدیریت زنجیره بر مزیت رقابتی و عملکرد اجازه نفوذ به بازارهای دلخواه و برتری بر رقبا را برای آن واحد فراهم می‌آورد. توجه به تعاریف فوق، مزیت رقابتی گویای این است که ارتباط مستقیم ارزش‌های مورد نظر مشتری، ارزش‌های عرضه شده شرکت و ارزش‌های عرضه شده توسط رقبا شرکت الزامات و ابعاد مزیت رقابتی را تعیین می‌کند. چنانچه از دیدگاه مشتری ارزش‌های عرضه شده شرکت در مقایسه با ارزش‌های عرضه شده رقبا بیشتر به ارزش‌های مورد نظر و انتظارات او نزدیک‌تر باشد، می‌توان گفت که آن شرکت در یک یا چند شاخص نسبت به رقبا خود دارای مزیت رقابتی است به نحوی که این مزیت باعث می‌شود که شرکت در عرضه بازار نسبت به رقبا خود در نزدیکی به مشتری و تسخیر قلب وی برتری داشته باشد.

مدیریت مؤثر زنجیره تأمین به طور بالقوه به راهی برای تأمین مزیت رقابتی و بهبود عملکرد سازمانی برای انجام رقابت بین سازمان‌ها تبدیل شده است. شرکت‌هایی که در سطح بالایی از شیوه‌های مدیریت زنجیره تأمین استفاده می‌کنند، دارای مزیت رقابتی برتری هستند و از عملکرد سازمانی بالاتری برخوردارند. هر سازمانی، اعم از شرکت‌های بزرگ، شرکت‌های دولتی یا کسب و کارهای کوچک می‌خواهند خواسته‌های مشتریان و سهام‌داران گوناگون را برآورده سازند؛ بنابراین، نیازمند مواد، تجهیزات، تسهیلات و تأمین‌کنندگانی از سازمان‌های دیگر هستند و عملکرد یک سازمان به وسیله فعالیت‌های سایر سازمان‌هایی که تشکیل زنجیره تأمین می‌دهند، تحت تأثیر قرار می‌گیرد. کارایی و اثربخشی هر سازمانی، حاصل عملکرد مدیریت و ساختار زنجیره تأمین آن سازمان است. روند رو به رشد رقابتی شدن در اقتصاد جهان امروز، شرکت‌ها را بر آن داشته است تا از مزایای به کارگیری مدیریت زنجیره تأمین در راستای افزایش رقابت پذیری و کارایی بهره‌جویند. از منظر

کلان، وجود نظام‌های تأمین و تدارکات سنتی در هر کشور، اغلب نوعی عدم هماهنگی و یکپارچگی بین بخش‌های مختلف زنجیره تأمین اعم از سازمان‌های دولتی یا غیردولتی را در پی داشته که به افزایش هزینه تمام شده کالاها و به تبع آن افزایش قیمت‌ها، عدم تحویل به موقع محصولات و مانند آن منجر می‌شود که این امر نیز در نهایت افزایش نارضایتی مصرف‌کنندگان را در پی دارد.

فناوری اطلاعات

اطلاعات یک محرک کلیدی زنجیره تأمین است، زیرا می‌تواند به عنوان چسباننده تمام محرک‌های زنجیره تأمین را برای کار با یکدیگر هماهنگ کند. مدیر بدون اطلاعات، تصمیم‌گیری کورکورانه‌ای دارد؛ بنابراین اطلاعات، وسعت دیدی را در زنجیره تأمین به مدیر می‌دهد که او را قادر می‌سازد تا تصمیماتی بگیرد که باعث بهبود عملکرد زنجیره تأمین شود. از همین رو، مدیران باید بدانند که اطلاعات چگونه گردآوری و تجزیه و تحلیل می‌شود. این همان جایی است که فناوری اطلاعات به کار می‌آید. به طور کلی، فناوری اطلاعات شامل سخت افزار، نرم افزار و افراد در سراسر زنجیره تأمین است که گردآوری، تجزیه و تحلیل و اجرا بر اساس اطلاعات را انجام می‌دهد. فناوری اطلاعات به عنوان چشم و گوش و گاهی اوقات حتی به عنوان بخشی از مغز انسان در مدیریت زنجیره تأمین، وظیفه گرفتن و تجزیه و تحلیل اطلاعات ضروری برای اتخاذ یک تصمیم خوب را برعهده دارد. هدف‌های فناوری اطلاعات در زنجیره تأمین عبارت است از فراهم آوردن موجودیت و وضوح اطلاعات، قدرت تصمیم‌گیری بر اساس اطلاعات کلی زنجیره و فراهم کردن همکاری بین شرکای زنجیره تأمین. استفاده از فناوری اطلاعات، پتانسیل توسعه شرکای زنجیره تأمین برای همکاری با یکدیگر جهت تحویل کارآمدتر محصولات به مصرف‌کنندگان را دارد. به طور کلی فناوری اطلاعات، یکپارچگی بین اعضای زنجیره تأمین را بهبود می‌بخشد [۴].

هوش مصنوعی

امروزه بسیاری از کاربردهای کامپیوتری معطوف به وظایفی مانند مشاهده و آموزش است که

عموماً توسط انسان انجام می‌شود. این کاربرد هوش مصنوعی^۱ نام دارد که عبارت است از فعالیت ایجاد توانایی در ماشین‌هایی چون کامپیوتر جهت به نمایش گذاشتن رفتار هوشمندانه‌ای که در انسان‌ها مشاهده می‌شود. در ایجاد این توانایی سعی می‌شود برخی از انواع منطق انسانی تقلید شود. دو مورد از زمینه‌های کاربردی هوش مصنوعی به شرح زیر است:

۱. یادگیری کامپیوتر یا دستگاه برای کسب دانش علاوه بر آنچه توسط تولیدکننده یا برنامه‌نویس وارد حافظه‌اش شده است.

۲. توانایی یک کامپیوتر در کدگذاری و برنامه‌نویسی خودکار، به نحوی که با استفاده از اطلاعات ارائه شده توسط کاربر به صورت مکالمه روزمره یک کد کامپیوتری تهیه می‌شود.

مدیریت زنجیره تأمین الکترونیکی

وظیفه کلی مدیریت زنجیره تأمین طراحی، سازمان‌دهی و هماهنگی همه فعالیت‌های زنجیره تأمین از تأمین‌کنندگان تا مصرف‌کنندگان نهایی است. امروزه مفهوم مدیریت زنجیره تأمین به یک راهبرد سیستمی کلی جهت مدیریت کل زنجیره تأمین اشاره دارد. مدیریت زنجیره تأمین معمولاً توسط زیرساخت‌های فناوری اطلاعات پشتیبانی می‌شود. زمانی که یک زنجیره تأمین به صورت الکترونیکی معمولاً با نرم‌افزارهای تحت وب مدیریت می‌شود، اشاره به یک زنجیره تأمین الکترونیکی دارد. با انجام اصلاحات در زنجیره تأمین، سازمان‌ها به یک زنجیره تأمین الکترونیکی تبدیل و گردش اطلاعات در آن‌ها مکانیزه می‌شود. زنجیره تأمین الکترونیکی بهینه‌سازی فرآیندها و منابع کسب و کار را در سراسر زنجیره تأمین از مشتریان تا تأمین‌کنندگان در بر دارد. زنجیره تأمین سنتی بیانگر جریان خطی و خدمات از مشتری به تأمین‌کننده در طی مراحل مختلف است. بدین صورت که جریان اطلاعات به بخش تجاری مربوط و فرآیند تبدیل مواد اولیه، مسئولیت بخش فنی و تولیدی است. در حالی که زنجیره تأمین الکترونیکی یک واژه کلی است برای زمانی که از راهکارهای اینترنتی برای مدیریت گردش اطلاعات، کالا و وجوه در راستای یک زنجیره ارزش

^۱. Artificial Intelligence (AI)

افزوده، استفاده می‌شود. تجارت الکترونیک عبارت است از انجام الکترونیک مبادلات برای خرید و فروش کالاها و خدمات. بازار الکترونیک یک واسطه آنلاین برای مبادلات الکترونیک بین خریداران و فروشندگان و دلالت آن است که به آن بازار دیجیتال نیز اطلاق می‌شود [۷].

پیش زمینه بیولوژیکی ژن‌ها و کروموزوم‌ها

بدن همه موجودات زنده از سلول تشکیل شده است و در هر سلولی دسته کروموزوم‌های یکسانی وجود دارد. کروموزوم‌ها رشته‌هایی از DNA هستند که در واقع الگویی برای تمام بدن هستند. هر کروموزومی محتوی دسته‌های DNA است که ژن نامیده می‌شوند و هر ژنی پروتئین خاصی را رمزگذاری می‌کند. اساساً می‌توان گفت که هر ژن، ویژگی خاصی (مثلاً رنگ چشم) را رمزگذاری می‌کند. حالت‌های مختلف یک خصیصه (آبی، قهوه‌ای) آلل^۱ نامیده می‌شود. هر ژنی موقعیت خاص خود را بر روی کروموزوم دارد که این موقعیت لوکاس^۲ نامیده می‌شود. مجموعه کاملی از مواد ژنتیکی (همه کروموزوم‌ها) ژنوم نامیده می‌شود. دسته خاصی از ژن‌های موجود در ژنوم، ژنوتیپ^۳ نامیده می‌شود. ژنوتیپ به همراه تغییرات پس از تولد پایه و اساس فنوتیپ^۴ موجود زنده (ارگانیزم)، ویژگی‌های فیزیکی و ذهنی از قبیل رنگ چشم و هوش و غیره است.

در تولید مثل، ابتدا ادغام^۵ اتفاق می‌افتد. به این معنی که ژن‌های والدین برای ایجاد کروموزوم‌های جدید ترکیب می‌شود. سپس جنین تشکیل شده دچار تغییر می‌شود. جهش به این معناست که عناصر DNA کمی تغییر پیدا می‌کنند و این تغییرات اغلب نتیجه نسخه برداری غلط از ژن‌های والدین است. میزان شایستگی موجود زنده (جنین) به واسطه بقای آن اندازه‌گیری می‌شود.

الگوریتم ژنتیک

۱. Allel

۲. Locus

۳. Genotype

۴. Phenotype

۵. Crossover

فاطمه دارائی: ترکیب الگوریتم‌های ژنتیک و بهینه‌سازی لانه مورچگان برای حل مسأله انتخاب عرضه کننده

الگوریتم ژنتیک یک مدل از یادگیری ماشین است که رفتار آن از مکانیسم تکامل در طبیعت الهام گرفته است، این روش با ایجاد جمعیتی از افراد که هر یک در قالب کروموزوم ارائه می‌شوند، پیاده سازی می‌شود.

به عبارت دیگر در الگوریتم ژنتیک، مجموعه‌ای از متغیرهای طراحی را توسط رشته‌هایی با طول ثابت یا متغیر کدگذاری می‌کنند که در سیستم‌های بیولوژیکی آن‌ها را کروموزوم یا فرد می‌نامند. هر رشته یا کروموزوم یک نقطه پاسخ در فضای جستجو را نشان می‌دهد. به ساختمان رشته‌ها یعنی مجموعه‌ای از پارامترها که توسط یک کروموزوم خاص نمایش داده می‌شود ژنوتیپ و به مقدار رمزگشایی آن فنوتیپ می‌گویند.

الگوریتم ژنتیک فرآیندی تکراری است، که هر مرحله تکرار را نسل و مجموعه‌هایی از پاسخ‌ها در هر نسل را جمعیت نامیده‌اند.

الگوریتم ژنتیک دارای کاربردهای گسترده‌ای در زمینه‌های مختلف است. یک نمونه از این کاربردها مسائل بهینه‌سازی چند بُعدی است که در آن‌ها پارامترهای متفاوتی که قرار است بهینه شوند در قالب رشته‌های کروموزوم سازماندهی می‌شوند.

الگوریتم‌های تکاملی^۱ تکامل به معنی پیشرفت تدریجی است. ارگانیسم‌های زنده از طریق فعل و انفعالات رقابتی، انتخاب، تولید مثل و جهش، رشد و نمو می‌کنند. نظریه داروین در تکامل یک نظریه جوان در تاریخ بشر است اما نگاه بشر به روند تکامل یک نگاه قدیمی است. فلاسفه یونان قدیم ادعا می‌کردند که توسعه زندگی موجودات از هیچ آغاز شد و انسان نتیجه تکامل حیوانات است. در واقع چارلز داروین یک نگاه تازه به نظریه فلاسفه قدیمی اضافه کرده و آن یک مکانیسم تحت عنوان انتخاب طبیعی است. انتخاب طبیعی باعث حفظ اثرات مطلوب جهش‌های ژنتیک خرد و کوچک است.

^۱. Evolutionary Algorithm

به عبارت دیگر در این الگوریتم ابتدا جمعیتی از افراد تشکیل شده و سپس این افراد نسل به نسل با روال تکراری تکامل نمو پیدا می‌کنند. روال تکامل عبارتست از انتخاب، ترکیب و جهش. اندازه جمعیت در این الگوریتم ثابت است. یک الگوریتم تکاملی عموماً جمعیت آغازین را به صورت تصادفی تعیین می‌کند. همچنین تکامل میزان شایستگی هر یک از افراد را بر مبنای ارزششان در محیط مورد نظر اندازه‌گیری می‌نماید. عملیات انتخاب اغلب در دو مرحله انجام می‌شود. انتخاب والدین و ابقا. در انتخاب والدین ابتدا والدین را تعیین کرده و معین می‌سازد که آنها چند فرزند داشته باشند. فرزندان از طریق ترکیب یا همان انتقال اطلاعات بین دو والد و یا جهش خلق می‌شوند. سپس فرزندان دوباره ارزیابی می‌شوند و در نهایت در گام ابقا تعیین می‌شود که کدام یک از آنها در جمعیت جدید ابقا شوند [۲].

روش‌های تکاملی روی راه حل‌های بالقوه مسأله با توجه به اصل بقا شایسته‌ترین‌ها عمل می‌کنند تا به این ترتیب به تخمین مناسبی از راه حل بهینه برسند. در این روش‌ها در هر نسل شایسته‌ترین افراد برای تولید مثل انتخاب شده و با توجه به عملگرهای الهام گرفته شده از طبیعت روند تولید مثل سازماندهی می‌شود. این روند منجر به تکامل جمعیتی از افراد یک نسل می‌شود که با محیط اطراف سازگاری بیشتری دارند و این‌ها همان چیزی است که در انطباق طبیعی انجام می‌شود.

الگوریتم ژنتیک موازی در الگوریتم ژنتیک برای حل یک مسأله، تابع ارزیابی ممکن است صدها یا هزاران بار اجرا شود. بنابراین بسته به زمان لازم برای اجرای تابع ارزیابی، یک الگوریتم ژنتیک ممکن است ساعت‌ها، روزها یا حتی ماه‌ها برای پیدا کردن یک راه حل قابل قبول طول بکشد. الگوریتم ژنتیک می‌تواند به صورت همزمان چند نقطه از فضای جستجو یا به عبارت دیگر چند راه حل از راه حل‌های موجود در فضای جستجو را برای رسیدن به جواب بهینه مورد ارزیابی قرار دهد بنابراین الگوریتم ژنتیک دارای طبیعت موازی جستجوی ژنتیک و زمان اجرای طولانی، خصوصاً در حل مسائل پیچیده کاربردی، کاندیدای بسیار خوبی برای موازی‌سازی خواهد بود. یک الگوریتم ژنتیک موازی علاوه بر دارا بودن مزایای یک الگوریتم ژنتیک ساده از آن سریعتر است. به عنوان مثال برای رسیدن به کارایی بالاتر می‌توان به تعداد پردازشگرها و میزان حافظه موجود اضافه کرد و با برقراری ارتباط بین سیستم‌های کامپیوتری آن‌ها را در کنار هم برای حل یک مسأله

فاطمه دارائی: ترکیب الگوریتم‌های ژنتیک و بهینه‌سازی لانه مورچگان برای حل مسأله انتخاب عرضه کننده

به کار گرفت. به عنوان نمونه استفاده از N پردازشگر در کنار هم باعث تسریع محاسبات خواهد شد. میزان این تسریع با توجه به تقسیم زمان مورد نیاز برای حل مسأله با استفاده از یک پردازشگر بر زمان مورد نیاز برای حل همان مسأله با استفاده از N پردازشگر تعیین می‌شود. بنابراین حداکثر تسریع برابر با N است. اگر میزان تسریع با تعداد پردازشگرها یک رابطه خطی برقرار کند، می‌توان گفت مسائل پیچیده به روش موازی در کسری از زمان مورد نیاز به روش‌های معمولی قابل حل هستند [۶].

الگوریتم ژنتیک تفاوت بسیار زیادی با روش‌های بهینه‌سازی قدیمی دارد. در این الگوریتم باید فضای طراحی به فضای ژنتیک تبدیل شود. بنابراین الگوریتم ژنتیک با یک سری متغیرهای کد شده کار می‌کند. مزیت کار با متغیرهای کد شده در این است که اصولاً کدها قابلیت تبدیل فضای پیوسته به فضای گسسته را دارند. یکی از تفاوت‌های اصلی روش الگوریتم ژنتیک با روش‌های قدیمی بهینه‌سازی در این است که در الگوریتم ژنتیک با جمعیت یا مجموعه‌ای از نقاط در یک لحظه خاص کار می‌کنیم. در حالی که روش‌های قدیمی بهینه‌سازی تنها برای یک نقطه خاص عمل می‌کنند. به این معنی که الگوریتم ژنتیک می‌تواند تعداد زیادی از طرح‌ها را در یک زمان مورد پردازش قرار دهد. نکته جالب دیگر این است که اصول الگوریتم ژنتیک بر پردازش تصادفی یا به تعبیر صحیح‌تر پردازش تصادفی هدایت شده استوار است.

اصولاً برای استفاده از الگوریتم ژنتیک باید سه مفهوم مهم زیر مشخص شود:

۱. تعریف تابع هدف یا تابع هزینه،

۲. تعریف و پیاده‌سازی فضای ژنتیک،

۳. تعریف و پیاده‌سازی عملگرهای الگوریتم ژنتیک.

اگر این سه قسمت به طور صحیح تعریف شوند، بدون شک الگوریتم ژنتیک به خوبی عمل خواهد کرد و در نهایت می‌توان با اعمال تغییراتی کارایی سیستم را افزایش داد. در قسمت بعد روند حل مسأله فروشنده دوره‌گرد با استفاده از الگوریتم ژنتیک تشریح می‌شود.

جدول ۱. مراحل الگوریتم ژنتیک

شماره تکرار	کروموزوم‌های انتخابی	مقدار تابع شایستگی
۲	۳ ۳ ۳ ۳	۱۲
۳	۳ ۴ ۳ ۳	۱۳
۴	۴ ۴ ۳ ۳	۱۴
۵	۴ ۴ ۴ ۳	۱۵
۶	۴ ۴ ۴ ۴	۱۶
۷	۴ ۴ ۴ ۴	۱۶

حال برای کالای ۳ چهار تأمین‌کننده واجد شرایط داریم که هدف پیدا کردن بهترین تأمین‌کننده برای تهیه کالای ۳ است. برای حل مسأله با الگوریتم ژنتیک تأمین‌کنندگان یا کروموزوم‌ها مانند جدول ۲ کدگذاری می‌شوند.

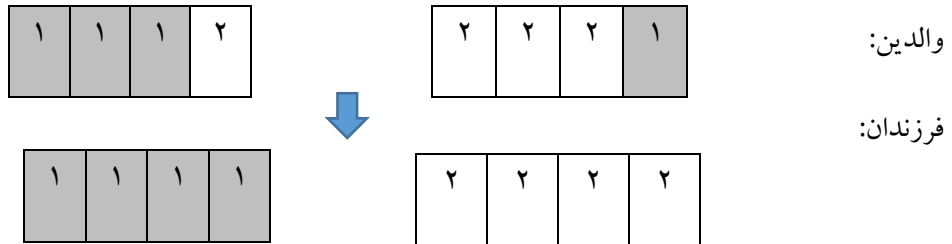
جدول ۲ کدگذاری تأمین‌کنندگان

کدگذاری تأمین‌کنندگان	C	T	Q	D	مقدار تابع شایستگی
کروموزوم ۱	۴	۴	۴	۴	۱۶
کروموزوم ۲	۲	۲	۲	۱	۷
کروموزوم ۳	۳	۳	۳	۳	۱۲
کروموزوم ۴	۱	۱	۱	۲	۵

در تکرار اول ابتدا کروموزوم ۴ با مقدار تابع شایستگی ۵ به صورت دلخواه از فضای جستجو به عنوان جواب ابتدایی برای الگوریتم ژنتیک در نظر می‌گیریم و با استفاده از عملگرهای الگوریتم ژنتیک روی این کروموزوم، کروموزوم‌های با مقدار تابع شایستگی بیشتر تولید می‌کنیم. کروموزوم ۴ و کروموزوم ۲ را به عنوان والدین در نظر گرفته و با استفاده از عملگر ادغام تک نقطه‌ای آن‌ها را

فاطمه دارائی: ترکیب الگوریتم‌های ژنتیک و بهینه‌سازی لانه مورچگان برای حل مسأله انتخاب عرضه کننده

با یکدیگر ادغام می‌کنیم. با انجام عملگر ادغام در این تکرار داریم:



شکل ۳ ادغام تک نقطه‌ای

مقدار تابع شایستگی کروموزوم‌های فرزندان به ترتیب از چپ به راست ۴ و ۸ است. کروموزوم فرزند سمت راست شکل بالا دارای مقدار تابع شایستگی بیشتر نسبت به والدین بوده و به جواب بهینه نزدیک‌تر است. پس آن را به عنوان جواب ابتدایی برای تکرار بعدی در نظر می‌گیریم. در این جدول در هر تکرار نزدیک‌ترین کروموزوم به جواب بهینه که آن را به عنوان جواب ابتدایی برای تکرار بعدی در نظر می‌گیریم به همراه مقدار تابع شایستگی آن کروموزوم نمایش داده شده است. در تکرارهای ۶ و ۷ کروموزوم ۱ با مقدار تابع شایستگی ۱۶ به عنوان نزدیک‌ترین جواب بهینه در نظر گرفته شده است بنابراین کروموزوم ۱ یا تأمین‌کننده ۱ می‌تواند به عنوان بهترین تأمین‌کننده برای تهیه کالای ۳ انتخاب شود.

جدول ۳ مراحل الگوریتم ژنتیک

شماره تکرار	کروموزوم‌های انتخابی	مقدار تابع شایستگی				
۲	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>۲</td><td>۲</td><td>۴</td><td>۲</td></tr></table>	۲	۲	۴	۲	۱۰
۲	۲	۴	۲			
۳	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>۳</td><td>۲</td><td>۴</td><td>۴</td></tr></table>	۳	۲	۴	۴	۱۳
۳	۲	۴	۴			
۴	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>۳</td><td>۳</td><td>۴</td><td>۴</td></tr></table>	۳	۳	۴	۴	۱۴
۳	۳	۴	۴			

۵	۴ ۳ ۴ ۴	۱۵
۶	۴ ۴ ۴ ۴	۱۶
۷	۴ ۴ ۴ ۴	۱۶

اکنون برای تهیه کالای ۴، چهار تأمین‌کننده واجد شرایط داریم که هدف انتخاب بهترین تأمین‌کننده برای تهیه کالای ۴ است. برای حل مسأله با الگوریتم ژنتیک ابتدا کروموزوم‌ها یا تأمین‌کنندگان مانند جدول ۴ کدگذاری می‌شوند.

جدول ۴ کدگذاری تأمین‌کنندگان

کدگذاری تأمین‌کنندگان	C	T	Q	D	مقدار تابع شایستگی
کروموزوم ۱	۱	۳	۱	۱	۶
کروموزوم ۲	۴	۴	۴	۴	۱۶
کروموزوم ۳	۳	۱	۳	۳	۱۰
کروموزوم ۴	۲	۲	۲	۲	۸

در تکرار اول ابتدا یک کروموزوم به صورت دلخواه از فضای جستجو به عنوان جواب ابتدایی برای الگوریتم در نظر می‌گیریم. کروموزوم ۱ با مقدار تابع شایستگی ۶ به صورت دلخواه به عنوان جواب ابتدایی الگوریتم در نظر می‌گیریم سپس این کروموزوم را به عنوان والد در نظر می‌گیریم و با استفاده از عملگر جهش، ترتیب قرارگیری محل ژن‌ها را تغییر می‌دهیم. به این ترتیب که محل قرارگیری ژن‌های ۱ و ۲ با یکدیگر جا به جا می‌شود. این وضعیت در شکل انشان داده شده است.

۱	۳	۱	۱
---	---	---	---

والد:



فاطمه دارائی: ترکیب الگوریتم‌های ژنتیک و بهینه‌سازی لانه مورچگان برای حل مسأله انتخاب عرضه کننده

۳	۱	۱	۱
---	---	---	---

فرزند:

شکل ۱ جهش تغییر ترتیب قرارگیری

سپس کروموزوم فرزند شکل ۱ و کروموزوم ۴ را به عنوان والدین در نظر می‌گیریم و با استفاده از ادغام تک نقطه‌ای آن‌ها را با یکدیگر ادغام می‌کنیم. این عملگر در شکل ۴-۱۵ نشان داده شده است.

نتیجه

۳	۲	۲	۲
---	---	---	---

۳	۱	۱	۱
---	---	---	---

۲	۲	۲	۲
---	---	---	---

والدین:



۲	۱	۱	۱
---	---	---	---

فرزندان:

شکل ۲ ادغام تک نقطه‌ای

مقدار تابع شایستگی کروموزوم‌های فرزندان به ترتیب از چپ به راست ۹ و ۵ است. کروموزوم فرزند سمت چپ شکل ۲ دارای مقدار تابع شایستگی بیشتر نسبت به والدین بوده و به جواب بهینه نزدیک‌تر است پس آن را به عنوان جواب ابتدایی برای تکرار بعدی در نظر می‌گیریم. بقیه مراحل الگوریتم تا رسیدن به نزدیک‌ترین جواب بهینه در جدول ۴-۳۵ نشان داده شده است. در تکرارهای ۶ و ۷ کروموزوم ۲ با مقدار تابع شایستگی ۱۶ به عنوان نزدیک‌ترین جواب بهینه در نظر گرفته شده است بنابراین کروموزوم ۲ یا تأمین کننده ۲ می‌تواند به عنوان بهترین تأمین کننده برای تهیه کالای ۴ انتخاب شود.

جدول ۵ مراحل الگوریتم ژنتیک

شماره تکرار	کروموزوم‌های انتخابی	مقدار تابع شایستگی
۲	۳ ۲ ۳ ۳	۱۱
۳	۴ ۲ ۳ ۳	۱۲
۴	۴ ۲ ۳ ۴	۱۳
۵	۴ ۴ ۳ ۳	۱۴
۶	۴ ۴ ۴ ۴	۱۶
۷	۴ ۴ ۴ ۴	۱۶

۵ حل مسأله انتخاب تأمین کننده با استفاده از الگوریتم ترکیبی ژنتیک و مورچگان. حال مثال ۱ را که با استفاده از روش تاپسیس و الگوریتم ژنتیک حل شد با الگوریتم ترکیبی ژنتیک و مورچگان حل می‌کنیم. در این روش ابتدا از چند تکرار الگوریتم ژنتیک استفاده می‌کنیم سپس کروموزوم یا تأمین کننده‌ای که از الگوریتم ژنتیک انتخاب می‌شود به عنوان جواب ابتدایی الگوریتم مورچگان در نظر می‌گیریم و الگوریتم مورچگان را تا رسیدن به نزدیک‌ترین جواب بهینه یا بهترین تأمین کننده برای تهیه کالای مورد نظر ادامه می‌دهیم. برای این منظور، ابتدا برای تهیه کالای ۱ چهار تأمین کننده واجد شرایط داریم که هدف پیدا کردن بهترین تأمین کننده برای تهیه کالای ۱ است کروموزوم‌ها یا تأمین کنندگان را مانند جدول ۶ کدگذاری می‌کنیم.

جدول ۶. کدگذاری تأمین کنندگان

کدگذاری تأمین کنندگان	C	T	Q	D	مجموع رتبه معیارها
کروموزوم ۱	۲	۲	۳	۴	۱۱
کروموزوم ۲	۳	۴	۲	۳	۱۲
کروموزوم ۳	۴	۳	۴	۲	۱۳

فاطمه دارائی: ترکیب الگوریتم‌های ژنتیک و بهینه‌سازی لانه مورچگان برای حل مسأله انتخاب عرضه کننده

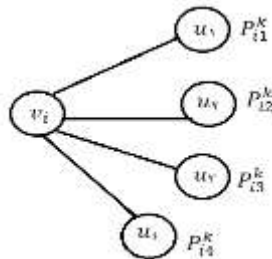
کروموزوم ۴	۱	۱	۱	۱	۴
------------	---	---	---	---	---

با توجه به الگوریتم ژنتیک پس از دو تکرار به جدول زیر برای انتخاب تأمین کننده یک می‌رسیم.

جدول ۷ مراحل الگوریتم ژنتیک

شماره تکرار	کروموزوم‌های انتخابی	مجموع رتبه معیارها				
۱	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td>۴</td> <td>۳</td> <td>۲</td> <td>۳</td> </tr> </table>	۴	۳	۲	۳	۱۲
۴	۳	۲	۳			
۲	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td>۲</td> <td>۲</td> <td>۳</td> <td>۴</td> </tr> </table>	۲	۲	۳	۴	۱۱
۲	۲	۳	۴			

حال تکرارهای بعدی تا رسیدن به نزدیک‌ترین جواب بهینه یا بهترین تأمین کننده برای تهیه کالای ۱ را با الگوریتم مورچگان ادامه می‌دهیم. برای حل مسأله انتخاب بهترین تأمین کننده برای تهیه کالای مورد نظر با الگوریتم مورچگان ابتدا مسأله مورد نظر را به صورت یک گراف مانند شکل ۵ نمایش می‌دهیم.



شکل ۶

در گراف شکل ۶ مجموعه رأس‌ها $\{u_1, u_2, u_3, u_4\}$ همان تأمین کنندگان هستند و رأس v_i کالای مورد نظر است که می‌خواهیم بهترین تأمین کننده برای تهیه کالای مورد نظر را انتخاب کنیم. یال L_{ij} یالی است که رأس v_i را به رأس u_j متصل می‌کند یا نشان دهنده انتخاب تأمین کننده u_j برای تهیه کالای i ام است. $J: L \rightarrow R > 0$ تابع هزینه است که از مجموعه‌ی یال‌ها به مجموعه اعداد حقیقی مثبت است زیرا مجموع رتبه معیارهای تأمین کنندگان برای تهیه کالای مورد نظر

اعداد حقیقی مثبت هستند. و $J(L_{ij}) = d_{ij}$ نشان دهنده مجموع رتبه معیارهای تأمین کننده J برای تهیه کالای i است. تابع ابتکاری تابعی برای مشخص کردن میزان جذابیت یا مطلوبیت انتخاب تأمین کننده‌ی مناسب برای تهیه کالای مورد نظر است. میزان مطلوبیت تهیه کالای i توسط تأمین کننده‌ی j را با η_{ij} نشان داده و به صورت $\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}$ تعریف می‌کنیم. τ_{ij} میزان فرومون ریخته شده توسط هر مورچه برای انتخاب تأمین کننده مناسب برای تهیه کالای مورد نظر است که هر چه مقدار آن بیشتر باشد احتمال انتخاب آن تأمین کننده برای تهیه کالای مورد نظر بیشتر است. در شکل ۵ عبارت P_{ij}^k احتمال انتخاب تأمین کننده j برای تهیه کالای i توسط مورچه شماره k است و چون محاسبات با دست انجام می‌شود فقط از دو مورچه استفاده می‌کنیم. در جدول ۶ تمام موارد فوق برای ادامه حل مسأله با الگوریتم مورچگان برای انتخاب بهترین تأمین کننده برای تهیه کالای ۱ ذکر شده است. در تکرار سوم کروموزوم ۱ را به عنوان جواب ابتدایی برای الگوریتم مورچگان در نظر می‌گیریم بنابراین میزان غلظت فرومون ریخته شده برای انتخاب تأمین کننده ۱ افزایش می‌یابد و فرومون‌ها به روز رسانی می‌شوند به روز رسانی غلظت فرومون با استفاده از روابط (۲۲) و (۲۳) محاسبه می‌شود و q یک مقدار اولیه مصنوعی دارد و با ادامه فرآیند جستجو نمی‌تواند تغییر کند مقدار q ثابت و برابر با ۵۰۰۰ است. S_{ij} انتخاب تأمین کننده i برای تهیه کالای j در تکرار t ام توسط مورچه k ام است. F_{max} مجموعه رتبه معیارهای تأمین کننده انتخاب شده در تکرار t ام است. که مقادیر در جدول ۴-۳۸ نشان داده شده است.

(۲۲)

$$\Delta \tau_{S_{ij}}(t) = \sum_{k=1}^m \Delta \tau_{S_{ij}}^k(t)$$

(۲۳)

$$\Delta \tau_{S_{ij}}^k(t) = \begin{cases} q/F_{max} & \text{if } (i,j) \in F_{max} \\ \cdot & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

جدول ۸ کدگذاری تأمین کنندگان

کدگذاری	C	T	Q	D	d_{ij}	η_{ij}	τ_{ij}
---------	---	---	---	---	----------	-------------	-------------

فاطمه دارائی: ترکیب الگوریتم‌های ژنتیک و بهینه‌سازی لانه مورچگان برای حل مسأله انتخاب عرضه کننده

تأمین کنندگان							
گروموزوم ۱	۲	۲	۳	۴	۱۱	۱ — ۱۱	۱۴۵۴/۵
گروموزوم ۲	۳	۴	۲	۳	۱۲	۱ — ۱۲	۱۰۰۰
گروموزوم ۳	۴	۳	۴	۲	۱۳	۱ — ۱۳	۱۰۰۰
گروموزوم ۴	۱	۱	۱	۱	۴	۱ — ۴	۱۰۰۰

در تکرار سوم احتمال انتخاب هر یک از تأمین کنندگان برای تهیه کالای ۱ توسط مورچه شماره ۱ را با استفاده از رابطه

(۴-۱) محاسبه می‌کنیم:

$$P_{ij}^k = \begin{cases} \frac{\tau_{ij} \eta_{ij}}{\sum_{m \in N_i^k} \tau_{im} \eta_{im}} & , j \in N_i^k \\ 0 & , j \notin N_i^k \end{cases} \quad (۴-۱)$$

$$P_{11}^1 = \frac{1454/5 \times \frac{1}{11}}{1454/5 \times \frac{1}{11} + 1000 \times \frac{1}{12} + 1000 \times \frac{1}{13} + 1000 \times \frac{1}{4}} = \frac{132/2}{542/4} = 0.25$$

$$P'_{11} = \frac{1000 \times \frac{1}{12}}{1454/5 \times \frac{1}{11} + 1000 \times \frac{1}{12} + 1000 \times \frac{1}{13} + 1000 \times \frac{1}{4}} = \frac{83/3}{542/4} = 0.15$$

$$P'_{12} = \frac{1000 \times \frac{1}{13}}{1454/5 \times \frac{1}{11} + 1000 \times \frac{1}{12} + 1000 \times \frac{1}{13} + 1000 \times \frac{1}{4}} = \frac{76/9}{542/4} = 0.14$$

$$P'_{14} = \frac{1000 \times \frac{1}{4}}{1454/5 \times \frac{1}{11} + 1000 \times \frac{1}{12} + 1000 \times \frac{1}{13} + 1000 \times \frac{1}{4}} = \frac{250}{542/4} = 0.46$$

با توجه به روابط بالا احتمال P'_{14} بیشتر است بنابراین تأمین کننده ۴ به جواب بهینه نزدیک تر است اکنون فرومون‌ها باید به روز رسانی شوند به این صورت که تابع به روز رسانی فرومون‌ها هر کدام از مورچه‌ها بر روی یالی که تأمین کننده‌ای برای تهیه کالا انتخاب می‌کنند فرومون می‌ریزند این فرومون‌ها را که همه مورچه‌ها ریختند باعث می‌شود که فرومون یال (i,j) که τ_{ij} است با یک مقدار مثبتی جمع شود که همان $\sum_k \Delta \tau_{ij}^k$ است. پس فرومون تابع به روز رسانی فرومون‌ها به صورت

$\tau_{ij} \leftarrow \tau_{ij} + \sum_k \Delta \tau_{ij}^k$ است. به عبارت دیگر $\sum_k \Delta \tau_{ij}^k$ میزان فرومونی است که روی یال (i,j) توسط مورچه k ام ریخته می‌شود. بنابراین چون احتمال انتخاب تأمین کننده ۴ توسط مورچه شماره ۱ بیشتر است و به جواب بهینه نزدیک تر است پس میزان غلظت فرومون برای انتخاب

فاطمه دارائی: ترکیب الگوریتم‌های ژنتیک و بهینه‌سازی لانه مورچگان برای حل مسأله انتخاب عرضه کننده

تأمین کننده ۴ افزایش می‌یابد. و با استفاده از روابط (۲۲) و (۲۳) فرمونها را به روز رسانی می‌کنیم که در جدول ۹ مقادیر به روز رسانی فرمونها را نشان می‌دهد.

جدول ۹ به روز رسانی فرمونها

تأمین کنندگان	η_{ij}	τ_{ij}
۱	$\frac{1}{11}$	۱۴۵۴/۵
۲	$\frac{1}{12}$	۱۰۰۰
۳	$\frac{1}{13}$	۱۰۰۰
۴	$\frac{1}{4}$	۲۲۵۰

اکنون احتمال انتخاب هر یک از تأمین کنندگان توسط مورچه شماره ۲ را با استفاده از رابطه (۴-۱) برای تهیه کالای ۱ محاسبه می‌کنیم:

$$P_{11}^2 = \frac{1454/5 \times \frac{1}{11}}{1454/5 \times \frac{1}{11} + 1000 \times \frac{1}{12} + 1000 \times \frac{1}{13} + 2250 \times \frac{1}{4}} = \frac{132/2}{154/6} = 0/15$$

$$P_{11}^y = \frac{1000 \times \frac{1}{12}}{1454/5 \times \frac{1}{11} + 1000 \times \frac{1}{12} + 1000 \times \frac{1}{13} + 2250 \times \frac{1}{4}} = \frac{83/3}{854/6} = 0/10$$

$$P_{12}^y = \frac{1000 \times \frac{1}{13}}{1454/5 \times \frac{1}{11} + 1000 \times \frac{1}{12} + 1000 \times \frac{1}{13} + 2250 \times \frac{1}{4}} = \frac{76/9}{854/6} = 0/09$$

$$P_{13}^y = \frac{2250 \times \frac{1}{4}}{1454/5 \times \frac{1}{11} + 1000 \times \frac{1}{12} + 1000 \times \frac{1}{13} + 2250 \times \frac{1}{4}} = \frac{562/5}{854/6} = 0/66$$

جدول ۱۰ به روز رسانی فرمونها

تأمین کنندگان	η_{1j}	τ_{1j}
۱	$\frac{1}{11}$	۱۴۵۴/۵
۲	$\frac{1}{12}$	۱۰۰۰
۳	$\frac{1}{13}$	۱۰۰۰

فاطمه دارائی: ترکیب الگوریتم‌های ژنتیک و بهینه‌سازی لانه مورچگان برای حل مسأله انتخاب عرضه کننده

۴	۱	۳۵۰۰
	—	
	۴	

در تکرار چهارم مشابه روابط بالا مراحل الگوریتم مورچگان را انجام می‌دهیم که در جدول ۴-۴۱ نشان داده شده است.

جدول ۱۱ مراحل الگوریتم مورچگان

شماره تکرار	شماره مورچه (k)	P_{11}^k	P_{12}^k	P_{13}^k	P_{14}^k
۴	۱	۰/۱۲	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۷۵
	۲	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۸۳

با توجه به جدول ۴-۴۱ در تکرار چهارم احتمال P_{14}^k بیشتر است بنابراین تأمین کننده ۴ به جواب بهینه نزدیک تر است. در دو تکرار متوالی تأمین کننده ۴ به عنوان نزدیک ترین جواب بهینه انتخاب شده است بنابراین تأمین کننده ۴ می‌تواند به عنوان بهترین تأمین کننده برای تهیه کالای ۱ انتخاب شود.

اکنون برای تهیه کالای ۲، چهار تأمین کننده واجد شرایط داریم که هدف پیدا کردن بهترین تأمین کننده برای تهیه کالای ۲ است.

جدول ۱۲ کدگذاری تأمین کنندگان

کدگذاری تأمین کنندگان	C	T	Q	D	مجموع رتبه معیارها
کروموزوم ۱	۳	۴	۴	۴	۱۵
کروموزوم ۲	۲	۳	۳	۳	۱۱
کروموزوم ۳	۱	۱	۱	۱	۴
کروموزوم ۴	۴	۲	۲	۲	۱۰

با انجام عملیات مشابه به کار رفته در الگوریتم ژنتیک پس از دو تکرار جدول ۱۳ را با به کارگیری این الگوریتم داریم:

جدول ۱۳ مراحل الگوریتم ژنتیک

شماره تکرار	کروموزوم‌های انتخابی	مجموع رتبه معیارها				
۱	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>۳</td> <td>۳</td> <td>۳</td> <td>۴</td> </tr> </table>	۳	۳	۳	۴	۱۳
۳	۳	۳	۴			
۲	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>۲</td> <td>۳</td> <td>۳</td> <td>۳</td> </tr> </table>	۲	۳	۳	۳	۱۱
۲	۳	۳	۳			

در تکرار سوم کروموزوم ۲ به عنوان جواب ابتدایی الگوریتم مورچگان در نظر می‌گیریم پس میزان غلظت فرومون برای انتخاب تأمین‌کننده ۲ افزایش می‌یابد و با توجه به توضیحات قسمت قبلی مقادیر d_{ij} و η_{ij} و τ_{ij} تأمین‌کنندگان برای تهیه کالای ۲ در جدول ۱۴ نشان داده شده است.

جدول ۱۴ کدگذاری تأمین‌کنندگان

کدگذاری تأمین‌کنندگان	C	T	Q	D	d_{ij}	η_{ij}	τ_{ij}
کروموزوم ۱	۳	۴	۴	۴	۱۵	$\frac{1}{15}$	۱۰۰۰
کروموزوم ۲	۲	۳	۳	۳	۱۱	$\frac{1}{11}$	۱۴۵۴/۵
کروموزوم ۳	۱	۱	۱	۱	۴	$\frac{1}{4}$	۱۰۰۰
کروموزوم ۴	۴	۲	۲	۲	۱۰	$\frac{1}{10}$	۱۰۰۰

اکنون در تکرار سوم احتمال انتخاب هر تأمین‌کننده توسط مورچه شماره ۱ برای تهیه کالای ۲ را با استفاده از رابطه (۴-۱) محاسبه می‌کنیم:

فاطمه دارائی: ترکیب الگوریتم‌های ژنتیک و بهینه‌سازی لانه مورچگان برای حل مسأله انتخاب عرضه کننده

$$P_{21}^1 = \frac{1000 \times \frac{1}{15}}{1000 \times \frac{1}{15} + 1454/5 \times \frac{1}{11} + 1000 \times \frac{1}{4} + 1000 \times \frac{1}{10}} = \frac{66/6}{548/8} = 0/12$$

$$P_{22}^1 = \frac{1454/5 \times \frac{1}{11}}{1000 \times \frac{1}{15} + 1454/5 \times \frac{1}{11} + 1000 \times \frac{1}{4} + 1000 \times \frac{1}{10}} = \frac{132/2}{548/8} = 0/24$$

$$P_{23}^1 = \frac{1000 \times \frac{1}{4}}{1000 \times \frac{1}{15} + 1454/5 \times \frac{1}{11} + 1000 \times \frac{1}{4} + 1000 \times \frac{1}{10}} = \frac{250}{548/8} = 0/45$$

$$P_{24}^1 = \frac{1000 \times \frac{1}{10}}{1000 \times \frac{1}{15} + 1454/5 \times \frac{1}{11} + 1000 \times \frac{1}{4} + 1000 \times \frac{1}{10}} = \frac{100}{548/8} = 0/18$$

با استفاده از این مقادیر و با ادامه مراحل الگوریتم مورچگان که در جدول ۱۵ نشان داده شده است به این نتیجه می‌رسیم که در دو تکرار متوالی تأمین کننده ۳ برای تهیه کالای ۲ انتخاب شده است بنابراین تأمین کننده ۳ می‌تواند به عنوان بهترین تأمین کننده برای تهیه کالای ۲ انتخاب شود.

جدول ۱۵ مراحل الگوریتم مورچگان

شماره تکرار	شماره مورچه (k)	P_{21}^k	P_{22}^k	P_{23}^k	P_{24}^k
۳	۲	۰/۰۷	۰/۱۶	۰/۶۶	۰/۱۱
۴	۱	۰/۰۶	۰/۱۱	۰/۷۵	۰/۰۸
	۲	۰/۰۵	۰/۰۹	۰/۷۹	۰/۰۷

اکنون برای تهیه کالای ۳ چهار تأمین‌کننده واجد شرایط داریم که هدف پیدا کردن بهترین تأمین‌کننده برای تهیه کالای ۳ است. ابتدا کروموزوم‌ها یا تأمین‌کنندگان را مانند جدول ۴-۴۶ کدگذاری می‌کنیم.

جدول ۱۶ کدگذاری تأمین‌کنندگان

کدگذاری تأمین‌کنندگان	C	T	Q	D	مجموع رتبه معیارها
کروموزوم ۱	۱	۱	۱	۱	۴
کروموزوم ۲	۳	۳	۳	۴	۱۳
کروموزوم ۳	۲	۲	۲	۲	۸
کروموزوم ۴	۴	۴	۴	۳	۱۵

با الگوریتم ژنتیک پس از ۳ تکرار به جدول ۱۷ می‌رسیم که تأمین‌کننده ۳ انتخاب می‌شود.

جدول ۱۷ مراحل الگوریتم ژنتیک

شماره تکرار	کروموزوم‌های انتخابی	مجموع رتبه معیارها				
۱	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td>۳</td> <td>۳</td> <td>۴</td> <td>۳</td> </tr> </table>	۳	۳	۴	۳	۱۳
۳	۳	۴	۳			

فاطمه دارائی: ترکیب الگوریتم‌های ژنتیک و بهینه‌سازی لانه مورچگان برای حل مسأله انتخاب عرضه کننده

۲	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td>۳</td> <td>۳</td> <td>۲</td> <td>۲</td> </tr> </table>	۳	۳	۲	۲	۱۰
۳	۳	۲	۲			
۳	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td>۲</td> <td>۲</td> <td>۲</td> <td>۲</td> </tr> </table>	۲	۲	۲	۲	۸
۲	۲	۲	۲			

بقیه تکرارها تا رسیدن به نزدیک‌ترین جواب بهینه یا بهترین تأمین‌کننده برای تهیه کالای ۳ را با الگوریتم مورچگان ادامه می‌دهیم. در تکرار ۴ کروموزوم ۳ را به عنوان جواب ابتدایی الگوریتم مورچگان در نظر می‌گیریم بنابراین میزان غلظت فرومون برای انتخاب تأمین‌کننده ۳ با استفاده از روابط (۲۲) و (۲۳) افزایش می‌یابد و مقادیر d_{ij} و η_{ij} و τ_{ij} تأمین‌کنندگان برای تهیه کالای ۳ در جدول ۱۸ نشان داده شده است.

جدول ۱۸ کدگذاری تأمین‌کنندگان

کدگذاری تأمین‌کنندگان	C	T	Q	D	d_{ij}	η_{rj}	τ_{rj}
کروموزوم ۱	۱	۱	۱	۱	۴	۱ — ۴	۱۰۰۰
کروموزوم ۲	۳	۳	۳	۴	۱۳	۱ — ۱۳	۱۰۰۰
کروموزوم ۳	۲	۲	۲	۲	۸	۱ — ۸	۱۶۲۵
کروموزوم ۴	۴	۴	۴	۳	۱۵	۱ — ۱۵	۱۰۰۰

با عملیات مشابه عملیات انجام شده برای انتخاب تأمین‌کننده کالای ۲ نتایج مراحل الگوریتم مورچگان در جدول ۱۹ نشان داده شده است.

جدول ۱۹ مراحل الگوریتم مورچگان

شماره تکرار	شماره مورچه (k)	$P_{۳۱}^k$	$P_{۳۲}^k$	$P_{۳۳}^k$	$P_{۳۴}^k$
-------------	--------------------	------------	------------	------------	------------

۴	۱	۰/۴۲	۰/۱۳	۰/۳۴	۰/۱۱
	۲	۰/۶۲	۰/۰۸	۰/۲۳	۰/۰۷
۵	۱	۰/۷۴	۰/۰۶	۰/۱۵	۰/۰۵
	۲	۰/۷۷	۰/۰۵	۰/۱۴	۰/۰۴

در دو تکرار متوالی تأمین‌کننده ۱ به عنوان نزدیک‌ترین جواب بهینه انتخاب می‌شود بنابراین تأمین‌کننده ۱ می‌تواند به عنوان بهترین تأمین‌کننده برای تهیه کالای ۳ انتخاب شود.

اکنون برای تهیه کالای ۴، چهار تأمین‌کننده واجد شرایط داریم که هدف پیدا کردن بهترین تأمین‌کننده برای تهیه کالای ۴ است. ابتدا کروموزوم‌ها یا تأمین‌کنندگان را مانند جدول ۴-۵۰ کدگذاری می‌کنیم.

جدول ۲۰ کدگذاری تأمین‌کنندگان

کدگذاری تأمین‌کنندگان	C	T	Q	D	مجموع رتبه معیارها
کروموزوم ۱	۴	۲	۴	۴	۱۴
کروموزوم ۲	۱	۱	۱	۱	۴
کروموزوم ۳	۲	۴	۲	۲	۱۰
کروموزوم ۴	۳	۳	۳	۳	۱۲

اینجا نیز پس از ۲ تکرار الگوریتم ژنتیک جدول ۲۱ را داریم.

جدول ۲۱ مراحل الگوریتم ژنتیک

شماره تکرار	کروموزوم‌های انتخابی	مجموع رتبه معیارها				
۱	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>۴</td> <td>۲</td> <td>۳</td> <td>۳</td> </tr> </table>	۴	۲	۳	۳	۱۲
۴	۲	۳	۳			
۲	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>۲</td> <td>۴</td> <td>۲</td> <td>۲</td> </tr> </table>	۲	۴	۲	۲	۱۰
۲	۴	۲	۲			

که تکرارهای بعدی تا رسیدن به نزدیک‌ترین جواب بهینه را با الگوریتم مورچگان ادامه می‌دهیم.

فاطمه دارائی: ترکیب الگوریتم‌های ژنتیک و بهینه‌سازی لانه مورچگان برای حل مسأله انتخاب عرضه کننده

در تکرار سوم کروموزوم ۳ را به عنوان جواب ابتدایی برای الگوریتم مورچگان در نظر می‌گیریم بنابراین میزان غلظت فرومون برای انتخاب تأمین‌کننده ۳ با استفاده از روابط (۲۲) و (۲۳) افزایش می‌یابد و مقادیر d_{ij} و η_{ij} و τ_{ij} تأمین‌کنندگان برای تهیه کالای ۴ در جدول ۴-۵۲ نشان داده شده است.

جدول ۲۲ کدگذاری تأمین‌کنندگان

کدگذاری تأمین‌کنندگان	C	T	Q	D	d_{ij}	η_{ij}	τ_{ij}
کروموزوم ۱	۴	۲	۴	۴	۱۴	$\frac{1}{14}$	۱۰۰۰
کروموزوم ۲	۱	۱	۱	۱	۴	$\frac{1}{4}$	۱۰۰۰
کروموزوم ۳	۲	۴	۲	۲	۱۰	$\frac{1}{10}$	۱۵۰۰
کروموزوم ۴	۳	۳	۳	۳	۱۲	$\frac{1}{12}$	۱۰۰۰

اکنون مراحل الگوریتم مورچگان در جدول ۲۳ نشان داده شده است.

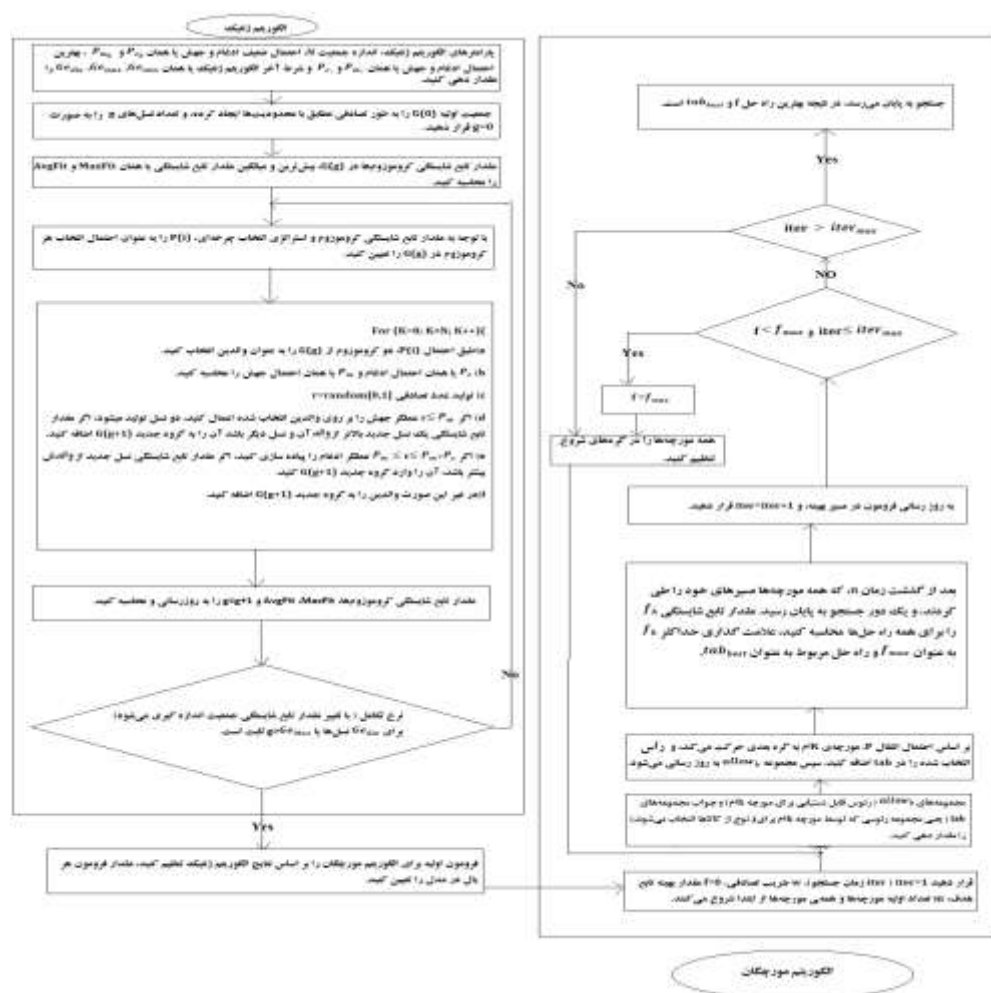
جدول ۲۳ مراحل الگوریتم مورچگان

شماره تکرار	شماره مورچه (k)	$P_{۴۱}^k$	$P_{۴۲}^k$	$P_{۴۳}^k$	$P_{۴۴}^k$
۳	۱	۰/۱۳	۰/۴۵	۰/۲۷	۰/۱۵
	۲	۰/۰۸	۰/۶۵	۰/۱۷	۰/۱۰
۴	۱	۰/۰۶	۰/۷۴	۰/۱۳	۰/۰۷

۰/۰۶	۰/۱۰	۰/۷۹	۰/۰۵	۲
------	------	------	------	---

در دو تکرار متوالی تأمین‌کننده ۲ به عنوان نزدیک‌ترین جواب بهینه انتخاب می‌شود بنابراین تأمین‌کننده ۲ می‌تواند برای تهیه کالای ۴ انتخاب شود.

فلوچارت الگوریتم ترکیبی ژنتیک و بهینه‌سازی کلونی مورچگان به صورت ارائه شده در شکل ۱۶ است.

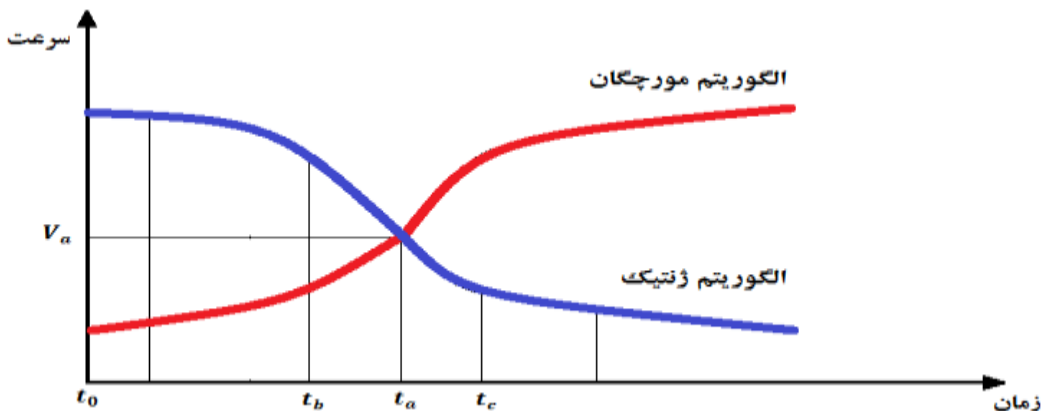


شکل ۱۶ فلوچارت الگوریتم ترکیبی ژنتیک و مورچگان

مقایسه بین نتایج نهایی به دست آمده از روش تاپسیس، الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ترکیبی. این روش‌ها جزء روش‌ها و الگوریتم‌های بهینه‌سازی هستند که روش تاپسیس جزء الگوریتم‌های دقیق است یعنی قادر به یافتن جواب بهینه به صورت دقیق می‌شود و الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ترکیبی جزء الگوریتم‌های فرا ابتکاری هستند یعنی قادر به یافتن جواب‌های مناسب (نزدیک به بهینه) در زمان حل کوتاه می‌شوند. نتایج نهایی به دست آمده از حل مسأله انتخاب تأمین کننده برای تهیه کالای مورد نظر توسط روش تاپسیس، الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ترکیبی که حل کردیم یکسان هستند. با توجه به حل مسأله انتخاب تأمین کننده توسط روش تاپسیس مشاهده می‌شود که محاسبات عددی و تعداد گام‌ها شامل ایجاد جدول تصمیم، بی‌مقیاس‌سازی داده‌ها، وزن معیارها، ایجاد ماتریس نرمال وزن دار، محاسبه راه حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل، محاسبه فاصله از راه حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل، شاخص شباهت و رتبه‌بندی تأمین کنندگان زمان‌بر و طولانی است که الگوریتم‌های فرا ابتکاری تا حدود زیادی توانستند مشکل زمان‌بر و طولانی بودن حل مسأله انتخاب تأمین کننده توسط روش تاپسیس را بر طرف نمایند. در واقع با توجه به حل مسأله انتخاب تأمین کننده توسط الگوریتم‌های ژنتیک و ترکیبی که حل کردیم می‌توان مشاهده نمود که با محاسبات و تعداد تکرارهای کمتری به جواب رسیده‌ایم در واقع الگوریتم‌های ژنتیک و ترکیبی نسبت به روش تاپسیس سریع‌تر به جواب دست پیدا می‌کنند. در الگوریتم‌های فرا ابتکاری نیز الگوریتم ژنتیک بعد از ۶ یا ۷ تکرار و الگوریتم ترکیبی بعد از ۴ یا ۵ تکرار به نزدیک‌ترین جواب بهینه دست یافته است و تعداد تکرارهای الگوریتم ترکیبی از تعداد تکرارهای الگوریتم ژنتیک تا رسیدن به نزدیک‌ترین جواب بهینه کمتر است زیرا عملکرد الگوریتم ژنتیک در چند تکرار اول بسیار خوب است با ادامه روند و تعداد تکرارهای بیشتر با انبوهی از جواب‌ها و نتایج زائد رو به رو می‌شویم و باعث افزایش تعداد تکرارها تا رسیدن به نزدیک‌ترین جواب بهینه می‌شود اما در الگوریتم ترکیبی ابتدا از چند تکرار الگوریتم ژنتیک استفاده می‌کنیم سپس کروموزوم یا تأمین کننده به دست آمده را به عنوان جواب ابتدایی الگوریتم مورچگان در نظر می‌گیریم و تکرارهای بعدی تا رسیدن به نزدیک‌ترین جواب بهینه را با الگوریتم مورچگان ادامه می‌دهیم عملکرد الگوریتم مورچگان در مراحل پایانی بسیار خوب است زیرا در ابتدا هیچ فرومونی موجود نیست که مورچه‌ها بر اساس آن تأمین کننده مناسب را انتخاب کنند اما در مراحل پایانی با افزایش

میزان غلظت فرومون ریخته شده احتمال انتخاب تأمین‌کننده مناسب برای مورچه‌ها افزایش می‌یابد بنابراین در الگوریتم ترکیبی تعداد تکرارها تا رسیدن به نزدیک‌ترین جواب بهینه نسبت به الگوریتم ژنتیک کمتر است و الگوریتم ترکیبی سریع‌تر از الگوریتم ژنتیک به جواب دست می‌یابد.

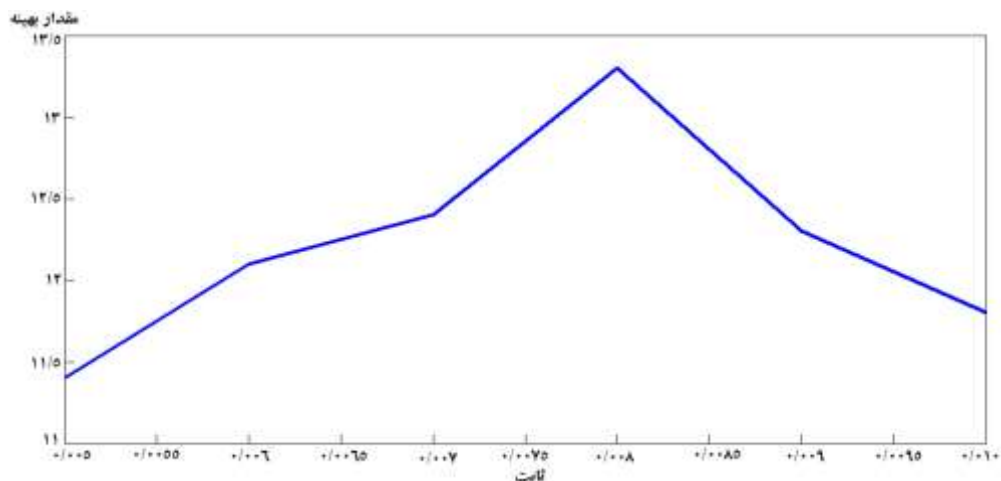
ژیونگ و همکاران [۵۸] منحنی سرعت به زمان الگوریتم‌های ژنتیک و بهینه‌سازی کلونی مورچگان را به صورت رسم شده در شکل ۴-۱۸ ارائه دادند. در نمودار رسم شده توسط آنها t_a نشان دهنده بهترین زمانی است که بایستی داده‌های به دست آمده توسط الگوریتم ژنتیک در اختیار الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچگان قرار بگیرد. برای این که زمان ترکیب الگوریتم ژنتیک و الگوریتم مورچگان در نزدیکی زمان t_a قرار بگیرد آن‌ها یک روش ترکیبی پویا ارائه دادند که در آن G_{min} حداقل تعداد تکرار در لحظه t_b ، G_{max} حداکثر تعداد تکرار در لحظه t_c و G_{die} تعداد متوسط تکرار در لحظه t_a را برای الگوریتم ژنتیک تعیین کردند. اگر سرعت تکاملی الگوریتم ژنتیک به طور مداوم کمتر از تعداد تکرار G_{die} در لحظه t_a باشد الگوریتم ترکیبی تکرارهای الگوریتم ژنتیک را خاتمه می‌دهد و داده‌های خود را در اختیار الگوریتم مورچگان قرار می‌دهند و تکرارهای بعدی تا رسیدن به نزدیک‌ترین جواب بهینه را با الگوریتم مورچگان ادامه می‌دهد.



شکل ۸. منحنی سرعت به زمان الگوریتم‌های ژنتیک و بهینه‌سازی کلونی مورچگان
ایده تعیین زمان ترکیب در کارهای ژیونگ [۵۴]، که سرعت تکاملی را به عنوان سرعت تغییرات

فاطمه دارائی: ترکیب الگوریتم‌های ژنتیک و بهینه‌سازی لانه مورچگان برای حل مسأله انتخاب عرضه کننده

مقادیر تابع شایستگی بین دو تکرار متوالی تعریف می‌کند این است که وقتی سرعت تکاملی از سه برابر یک ثابت خاص کمتر باشد در این صورت بهره‌وری الگوریتم ژنتیک پایین است و الگوریتم ژنتیک خاتمه می‌یابد و داده‌های خود را در اختیار الگوریتم مورچگان قرار می‌دهد و ادامه مراحل با الگوریتم مورچگان انجام می‌شود. به منظور تعیین ثابت، بر اساس مقادیر مختلف سرعت تکاملی، مقادیر بهینه را در میان ثابت‌های مختلف از ۰/۰۰۵ تا ۰/۰۱ مقایسه می‌کنیم. شکل ۴-۱۹ مقدار بهینه در تکرار ۱۰ام از ثابت‌های مختلف را نشان می‌دهد، همانطور که مشاهده می‌شود ۰/۰۰۸ بهترین مقدار ثابت است.



شکل ۹ تغییر مقدار بهینه بین ثابت‌های مختلف

الگوریتم ژنتیک پیشرفته با احتمال خودسازگار ادغام و جهش. برای الگوریتم ژنتیک، احتمال ادغام و احتمال جهش ثابت است. اگر چه الگوریتم ژنتیک در ابتدا دارای سرعت همگرایی بالایی است، کارایی آن به تدریج به دلیل ایجاد تکرارهای اضافی کاهش می‌یابد. در کارهای انجام شده در مرجع [۳۷]، احتمال خودسازگار ادغام و جهش برای الگوریتم ژنتیک پیشرفته را در این بخش معرفی می‌کنیم. الگوریتم ژنتیک پیشرفته با احتمال خودسازگار ادغام و جهش از ایجاد تکرارهای اضافی و نتایج زائد و در نتیجه کارایی پایین جستجو در تکرارهای بعدی جلوگیری می‌کند. روابط احتمال خودسازگار ادغام و جهش الگوریتم ژنتیک پیشرفته به صورت زیر نشان داده شده است.

$$P_c = \begin{cases} P_{c_0} & f \leq \bar{f} \\ P_{c_1} \left(\frac{P_{c_0}}{P_{c_1}} \right) \left(\frac{f_{max} - f}{f_{max} - \bar{f}} \right) & f > \bar{f} \end{cases} \quad (24)$$

$$P_m = \begin{cases} P_{m_0} & f' \leq \bar{f} \\ P_{m_1} \left(\frac{P_{m_0}}{P_{m_1}} \right) \left(\frac{f_{max} - f'}{f_{max} - \bar{f}} \right) & f' > \bar{f} \end{cases} \quad (25)$$

که P_{m_0} ، P_{c_0} احتمال ضعیف ادغام و جهش است، $(P_{m_1} < P_{m_0})$ ، $(P_{c_1} < P_{c_0})$ ، بهترین احتمال ادغام و جهش است. f' و f کمترین مقدار تابع شایستگی کروموزوم‌ها است، f_{max} و \bar{f} بیشترین مقدار تابع شایستگی در کروموزوم‌ها است.

[۱] آریا نژاد، م؛ تقوی فرد، م؛ دامغانی، ک: بهینه سازی توسط کلونی مورچگان. چاپ اول، انتشارات واحد علوم و تحقیقات، ۱۳۹۲.

[۲] اسد بک، م؛ اسد زاده، آ؛ اسد زاده، م: الگوریتم ژنتیک. چاپ اول، پاسارگاد. مؤسسه فرهنگی انتشاراتی اسد زاده، ۱۳۹۸.

[۳] پویا، ع؛ فلفلانی، ع؛ مبانى مدیریت زنجیره تأمین. چاپ دوم، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۹۴.

[۴] زنجیرانی فراهانی، ر؛ عسگری، ن: مدیریت زنجیره تأمین. چاپ پنجم، انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر (پلی تکنیک تهران)، ۱۳۹۸.

[۵] صالحان، ع؛ سرابی، م؛ یزدی، ع: بهینه سازی به روش کلونی مورچگان. چاپ اول، انتشارات ناقوس، ۱۳۹۱.

[۶] عباسی کیا، م: الگوریتم‌های ژنتیک فرا اکتشافی جستجو الگوریتم ژنتیک. چاپ اول، انتشارات ناقوس اندیشه، ۱۳۸۶.

[۷] عبدالمنافی، س؛ غلامی، م: مدیریت زنجیره تأمین. چاپ اول، مرکز چاپ و توزیع دانشگاه پیام نور، ۱۳۹۷.

فاطمه دارائی: ترکیب الگوریتم‌های ژنتیک و بهینه‌سازی لانه مورچگان برای حل مسأله انتخاب عرضه کننده

[۸] علیرضا، م: مقدمه‌ای بر الگوریتم‌های ژنتیک و کاربردهای آن. چاپ دوم، انتشارات زانیس، ۱۳۸۶.

[۹] کیا، م: الگوریتم ژنتیک. چاپ اول، خدمات نشر کیان رایانه سبز، ۱۳۸۹.

[۱۰] میرحسینی، ع؛ هوشمند خلیق، ف: روش‌هایی در مدل‌سازی ریاضی. چاپ دوم، انتشارات زانیس، ۱۳۹۸.

[11] M. Azadi, M. Jafarian, R.F. Saen, S.M. Nurgedatantuan, A new fuzzy DEA model for evaluation of efficiency and effectiveness of suppliers in sustainable supply chain management context, *Comput. Oper. Res.* 54 (2015) 274–285.

[12] A.H. Azadnia, M.Z.M. Saman, K.Y. Wong, P. Ghadimi, N. Zakuan, Sustainable supplier selection based on self-organizing map neural network and multi criteria decision making approaches, *Proc. Soc. Behav. Sci.* 65 (2012) 879–884.

[13] G. Buyukozkan, F. Gocer, Application of a new combined intuitionistic fuzzy MCDM approach based on axiomatic design methodology for the supplier selection problem, *Appl. Soft Comput.* 52 (2017) 1222–1238.

[14] J.Y. Chai, J.N.K. Liu, E.W.T. Ngai, Application of decision-making techniques in supplier selection: a systematic review of literature, *Expert Syst. Appl.* 40 (2013) 3872–3885.

[15] A. Dargi, A. Anjomshoae, M.R. Galankashi, A. Memari, M.B. Tap, Supplier selection: A fuzzy-ANP approach, *Proc. Comput. Sci.* 31 (2014) 691–700.

[16] G.F. Done, W.W. Guo, K. Tickle, Solving the traveling salesman problem using cooperative genetic ant systems, *Expert Syst. Appl.* 39 (2012) 5006–5011.

[17] M. Dorigo, Optimization learning and natural algorithms Unpublished Doctoral Dissertation Politecnico di Milano, Dipartimento di Electtronica, Italy (1992).

[18] M. Dorigo, V. Maniezzo, A. Colorni, Positive Feed back as a Search Strategy Technical report 91-016, Dipartimento di Elettronica, Politecnico di Milano, Italy(1991).

[19] M. Dorigo, T. Stutzle, Ant colony optimization, Massachusetts Institute of Technology 46 (2004).

[20] M. Dotoli, N. Epicoco, M. Falagario, F. Sciancalepore, A stochastic cross-efficiency data envelopment analysis approach for supplier selection under uncertainty, *Int. Trans. Oper. Res.* 23 (2015) 725–748.

[21] H. Eldem, E. Ulker, The application of ant colony optimization in the solution of 3D traveling sales man problem on a sphere, *Engineering science and Technology, an international Journal* 20 (2017) 1242-1248.

[22] A. Fallahpour, E.U. Olugu, S.N. Musa, D. Khezrimotlagh, K.Y. Wong, An integrated model for green supplier selection under fuzzy environment: Application of data envelopment analysis and genetic programming approach, *Neural Comput. Appl.* 27 (2016) 707–725.

[23] S.G. Fashoto, B. Akinuwesi, O. Owolabi, D. Adelekan, Decision support model for supplier selection in healthcare service delivery using analytical hierarchy process artificial neural network, *Afr. J. Bus. Manag.* 10 (2016) 209–232.

- [24] S. Goss, S. Aron, J.L. Deneubourg, J.M. Pasteels, Self-organized shortcuts in the Argentine ant, *Naturwissenschaften* 76(1989) 579-581.
- [25] A.K. Gupta, O.P. Singh, R.K. Garg, Analytic network process (ANP): an approach for supplier selection in an automobile organization, *Eur. J. Adv. Eng. Tech.* 2 (2015) 83–89.
- [26] S.H. Hashemi, A. Karimi, M. Tavana, An integrated green supplier selection approach with analytic network process and improved Grey relation analysis, *Int. J. Prod. Econ.* 159 (2015) 178–191.
- [27] L. H. Hassan, M. Moghavvemi, A.F. Almurib, O. Steinmayer, Application of genetic algorithm in optimization of unified power flow controller parameters and its location in the power system network, *Electrical power and Energy systems* 46(2013) 89-97.
- [28] M. Hfeda, F. Marchand, T. Dao, Optimization of milk-run delivery issue in lean supply chain management by genetic algorithm and hybridization of genetic algorithm with ant colony optimization: An automobile industry case study, *J. Manag. Eng. Integr.* 10 (2017) 90–99.
- [29] B. Jovanovic, B. Delibasic, Application of integrated QFD and fuzzy AHP approach in selection of suppliers, *Management* 19 (2014) 25–35.
- [30] E.E. Karsak, M. Dursun, An integrated supplier selection methodology incorporating QFD and DEA with imprecise data, *Expert Syst. Appl.* 41 (2014) 6995–7004.
- [31] R.A. Lancioni, M.F. Smith, H.J. Schau, Strategic Internet application trends in supply chain management, *Industrial Marketing management* 32 (2003) 211-212.
- [32] L. Li, J.Y.H. Fuh, Y.F. Zhang, A.Y.C. Nee, Application of genetic algorithm to computer – aided process planning in distributed manufacturing environments, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 21(2005) 568-578.
- [33] F.R. Lima-Junior, L.C.R. Carpinetti, Combining SCORR model and fuzzy TOPSIS for supplier evaluation and management, *Int. J. Prod. Econ.* 174 (2016) 128–141.
- [34] C.T. Lin, C.B. Chen, Y.C. Ting, An ERP model for supplier selection in electronics industry, *Expert Syst. Appl.* 38 (3) 1760–1765.
- [35] M.J. Liu, Research on Integration and Performance of Ant Colony Algorithm and Genetic Algorithm (Ph.D. dissertation), School of Science, China University of Geosciences, Beijing, 2013.
- [36] Y. Liu, P.L. Zhang, H.G. Liu, Manufacturing enterprise suppliers selection based on improved TOPSIS method, *Appl. Mech. Mater.* 602–605 (2014) 41–44.
- [37] Z.J. Ma, Partner selection of supply chain alliance based on genetic algorithm, *Acad. J. Syst. Eng. Theory Pract.* (ChineseJ.) 9(2003)81–84.
- [38] M. Mutingi, C. Mbohwa, Modeling Supplier Selection Using Multi-Criterion Fuzzy Grouping Genetic Algorithm, in: *Grouping Genetic Algorithms of the Series Studies in Computational Intelligence*, vol. 666, 2017, pp. 213–288.
- [39] S. Nazari-Shirkouhi, H. Shakouri, B. Javadi, A. Keramati, Supplier selection and order allocation problem using a two-phase fuzzy multi-objective linear

- programming, *Appl. Math. Model.* 37 (2013) 9308–9323.
- [40] S.H. Niu, S.K. Ong, A.Y.C. Nee, An enhanced ant colony optimizer for multi-attribute partner selection in virtual enterprises, *Int. J. Prod. Res.* 50 (2012) 2286–2303.
- [41] T.A. Oliva, R.A. Lancioni, M.F. Smith, The role of the Internet in supply chain Management, *Industrial Marketing Management* 29 (2000) 45–56.
- [42] M.M. Paydar, M. Saidi-Mehrabad, A hybrid genetic algorithm for dynamic virtual cellular manufacturing with supplier selection, *Int. J. Adv. Manuf. Tech.* 92 (2017) 3001–3017.
- [43] D. Pramanik, A. Haldar, S.C. Monda, S.K. Naskar, A. Ray, Resilient supplier selection using AHP-TOPSIS-QFD under a fuzzy environment, *Int. J. Manag. Sci. Eng. Manag.* 12 (2016) 45–54.
- [44] R. Rajesh, V. Ravi, Supplier selection in resilient supply chains: A grey relational analysis approach, *J. Cleaner Prod.* 86 (2015) 343–359.
- [45] B.D. Rouyendegh, T.E. Saputro, Supplier selection using integrated fuzzy TOPSIS and MCGP: A case study, *Proc. Soc. Behav. Sci.* 116 (2014) 3957–3970.
- [46] S. Sarkar, V. Lakha, I. Ansari, J. Maiti, Supplier selection in uncertain environment: a fuzzy MCDM approach, in: *Proceedings of the First International Conference on Intelligent Computing and Communication*, in: *Advances in Intelligent Systems and Computing*, Springer, Singapore, 2017, pp. 257–266.
- [47] T. Stutzle, H.H. Hoos, MAX-MIN ant system, *Future Gener. Comput. Syst.* 16 (2000) 889–914.
- [48] A. Tiwari, M. ko, J. Mehnen, A review of soft computing application supply chain management, *Applied soft computing* 10 (2010) 661–674.
- [49] M. Toloo, A cost efficiency approach for strategic vendor selection problem under certain input prices assumption, *Measurement* 85 (2016) 175–183.
- [50] Y.L. Tsai, Y.J. Yang, C.H. Lin, A dynamic decision approach for supplier selection using ant colony system, *Expert Syst. Appl.* 37 (2010) 8313–8321.
- [51] G. Wang, A. Gunasekaram, W. T. Ngai, T. Papadopoulos, Big data analytics in logistics and supply chain management: certain investigations for research and applications, *International Journal of production Economics* 176 (2016) 98–110.
- [52] X.M. Wang, X.Liu, G. Liu, Performance comparison of several kinds of improved genetic algorithm, *J.Chem. Pharm. Res.* 6 (2014) 463–468.
- [53] D.S. Wu, Supplier selection: A hybrid model using DEA decision tree and neural network, *Expert Syst. Appl.* 36 (2009) 9105–9112.
- [54] Z.H. Xiong, S.K. Sikun, J.H. Chen, Hardware/software partitioning based on dynamic combination of genetic algorithm and ant algorithm, *J. Softw. (Chinese J.)* 16 (2005) 503–512.
- [55] J. E. Yang, M. J. Hwang, T. Y. Sung, Y. Jin, Application of genetic algorithm for reliability allocation in nuclear power plants, *Reliability Engineering and system safety* 65 (1999) 229–238.
- [56] C. Yongliang, A. Aijun, Application of ant colony algorithm to geochemical anomaly detection, *Journal of Geochemical Exploration* 164 (2016) 75–85.
- [57] Z. Yangping, Z. Bingquan, W.u. DongXin, Application of genetic algorithms

to fault diagnosis in nuclear power plants, Reliability Engineering and System safety 67 (2000) 153-160.

[58] Z. Yao, J. Liu, Y.G. Wang, Fusing genetic algorithm and ant colony algorithm to optimize virtual enterprise partner selection problem, in: Proceedings of IEEE CEC, Hong Kong, 2008, pp. 3614–3620.

[59] Z. Yao, R.R. Pan, F.J. Lai, Improvement of the fusing genetic algorithm and ant colony algorithm in virtual enterprise partner selection problem, in: Proceedings of World Congress on Computer Science and Information Engineering, Los Angeles, 2009, pp. 242–246.

[60] A. Yucel, A.F. Guneri, A weighted additive fuzzy programming approach for multi-criteria supplier selection, Expert Syst. Appl. 38 (2011) 6281–6286.

[61] X. Zhang, A. Adamatzky, Y. Deng, F.T.S. Chan, S. Mahadevan, Supplier selection based on evidence theory and analytic network process, in: Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B, J. Eng. Manuf. 230 (2014) 562–573.

[62] X. Zhang, Y. Deng, F.T. Chan, S. Mahadevan, A fuzzy extend edanalytic network process-based approach for global supplier selection, Appl. Intell. 43 (4) (2015) 760–772.

[63] Y.H. Zhang, L. Feng, Z. Yang, Optimization of cloud database route scheduling based on combination of genetic algorithm and ant colony algorithm, Prec. Eng. 15 (2011) 3341–3345.

[64] W.G. Zhang, T.Y. Lu, The research of genetic ant colony algorithm and its application, Procedia Eng. 37 (2012) 101–106.

[65] S.H. Zhu, W.P. Dong, W. Liu, Logistics distribution route optimization based on genetic ant colony algorithm, J. Chem. Pharm. Res. 6 (2014) 2264–22

فاطمه دارائی: ترکیب الگوریتم‌های ژنتیک و بهینه‌سازی لانه مورچگان برای حل مسأله انتخاب عرضه کننده