

الگوریتم بهینه‌یابی جفت‌گیری چند ملکه‌ای زنبورهای عسل برای محیط‌های پویا

رامبد حقیقت فر^۱؛ ناهید شایگان پور^۲؛ محمدرضا میبدی^۳

چکیده

امروزه ثابت شده سیستم‌های طبیعی مختلف با یکسری از ارگانیسم‌های ساده خارجی و به کمک تعاملات پویا قابلیت تولید سیستم‌های جمعی با توانایی انجام عملیات پیچیده را دارند. اخیراً بکارگیری الگوریتم‌های حاصل از سیستم‌های هوش جمعی به علت قابلیت تطبیق راه‌حل با محیط در حال تغییر افزایش یافته و از این الگوریتم‌ها در حل مسائل بهینه‌یابی در محیط‌های پویا، که تابع هدف، نمونه مسئله و محدودیت‌ها در طول زمان تغییر می‌یابد استفاده می‌شود. رفتار ازدواج زنبورهای عسل نیز می‌تواند جهت بهینه‌یابی در محیط‌های پویا در نظر گرفته شود که در آن جستجو از فرآیند جفت‌گیری در زنبورهای واقعی الهام گرفته شده است. در این مقاله الگوریتم جدیدی برای بهینه‌یابی در محیط‌های پویا ارائه شده است. در این الگوریتم با استفاده از چندین ملکه، بهینه‌های محلی مشخص شده و از آنها جهت یافتن بهینه سراسری تغییر مکان یافته، استفاده می‌شود. این الگوریتم مشکل الگوریتم بهینه‌یابی ازدواج تک ملکه‌ای زنبور عسل که همگرایی سریع به یک بهینه را داشته و سیر تکاملی را فریب داده و قادر به یافتن دیگر بهینه‌ها نمی‌باشد را با ایجاد تنوع که لازمه اکتشاف برای نقاط جدید می‌باشد را از طریق چندین ملکه که هر یک به دنبال یافتن و نگهداری یک بهینه و جلوگیری از تجمع چند ملکه بر روی یک قله می‌باشد برطرف کرده است. نتایج حاصل از این رهیافت پیشنهادی، بر روی معیار شناخته شده قله‌های متحرک در محیط‌های پویا ارزیابی شده و با نتایج حاصل از چندین الگوریتم معتبر همچون RPSO, MQSO, Adaptive MQSO, Adaptive cellular PSO, cellular PSO مورد مقایسه قرار گرفته و نتایج بدست آمده نشان دهنده کارایی بالای الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با سایر الگوریتم‌ها می‌باشد.

کلمات کلیدی

هوش جمعی، محیط پویا، جفت‌گیری زنبور عسل، چندملکه‌ای

Optimization Algorithm based on pleometrosis mating of Honey Bees for Dynamic Environments

Rambod Haghighat Far; Nahid Shayeganpour; Mohammad Reza Meybodi

ABSTRACT

Today it is proved that various natural systems with a simple external organism and on behalf of dynamic interactions, have capacity of producing swarm systems that have the ability to perform complex operations. Recently, application of algorithms that are obtained from swarm intelligence systems has increased because their capacity in adaptability to changing environment has enhanced and these algorithms are also used to solve optimization problems in dynamic environments i.e when the optimization goal, the problem instance, or some restrictions change, the optimum to that problem might change as well. Marriage behavior of honey bees may also be regarded as optimization in dynamic environments in which heuristic search is inspired from process of mating in real honey bees. In this paper, a new algorithm for optimization in dynamic environments is presented. In this algorithm using some queens, local optimals are identified and then are used to find generalized optimization. This algorithm has overcome the algorithm of optimization in haplometrosis marriage that has quick convergence to one optimal and eludes evolution and is unable to find

^۱ کارشناس ارشد معماری کامپیوتر و عضو هیئت علمی آموزشکده فنی و حرفه ای سما، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بروجرد، بروجرد، ایران

آدرس پست الکترونیکی: r_rambod2001@yahoo.com

^۲ کارشناس ارشد کامپیوتر گرایش نرم افزار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بروجرد

آدرس پست الکترونیکی: nahid_shayeganpour@yahoo.com

^۳ عضو هیئت علمی دانشگاه امیر کبیر تهران، دانشکده کامپیوتر

آدرس پست الکترونیکی: mmeybodi@aut.ac.ir

other optimals and this is accomplished by creating variety which is necessary for heuristic purposes in new domains.

This is also has been done by some queens each of which has been looking for and caring one optimal and avoiding swarm of some queens on one single peak. The results obtained from this suggested solution on known benchmarks of moving peaks in dynamic environments have been analyzed and compared with some valid algorithms such as cellular PSO, Adaptive MQSO, Adaptive cellular PSO, MQSO, RPSO and this comparison suggest efficiency of the suggested algorithm in respect with other algorithms.

KEYWORDS

Swarm Intelligence, Dynamic Environment, Honey bee marriage optimization, pleometrosis

۱. مقدمه

امروزه عدم قطعیت در بسیاری از مسائل دنیای واقعی کاملاً واضح و مشهود است برای مثال زمانبندی کارهای جدید که در حال اضافه شدن به صف در طی زمان هستند نمونه ای از مسئله بهینه یابی در محیط پویا و غیرقطعی می باشد. در نتیجه نیاز امروز ایجاد راهکارهایی است که پاسخگوی مسائل بهینه یابی در محیطهای پویا باشد. یکی از روشهای برخورد با عدم قطعیت، استفاده از روشهای تکاملی می باشد که دارای دو مشکل عمده، از دست رفتن تنوع و داشتن مقادیر غیر معتبر در حافظه می باشند به عبارت دیگر هنگامی که محیط تغییر می کند راه حل های بدست آمده موجود در حافظه دیگر معتبر نمی باشد و یا باید فراموش شود یا دوباره آنها را ارزیابی نمود و همچنین این روشها دلیل ماهیتشان به یک نقطه همگرا می شوند و در صورت تغییر در محیط همگرا شدن به نقطه بهینه جدید در صورت امکان، بسیار زمانگیر است و این مشکلات منجر به عدم توانایی استفاده مستقیم از این روشها برای بهینه یابی در محیطهای پویا و کاهش کارایی لازم برای اکتشاف می گردد. شاید تصور این باشد که با هر تغییر، مسئله را به عنوان یک مسئله جدید شناسایی کرده و همانند مسائل محیطهای ایستا حل کرد بدون اینکه از اطلاعات گذشته یا حالت قبلی مسئله استفاده کنیم با کمی تامل می توان دریافت که حل یک مسئله از ابتدا بدون استفاده مجدد از اطلاعات گذشته بسیار وقت گیر و حتی ممکن است یافتن یک تغییر برای مدتی غیرقابل تشخیص باشد. البته باید توجه داشت که اگر تغییرات بسیار قوی باشد حتی استفاده از اطلاعات گذشته کارا نخواهد بود زیرا شباهتی بین مسائل وجود ندارد که بتوان از اطلاعات گذشته استفاده کرد. یک تلاش طبیعی برای تسریع فرایند بهینه یابی پس از یک تغییر، استفاده از اطلاعات مربوط به فضای جستجوی قبلی برای پیشروی در جستجو پس از تغییر می باشد. به عنوان مثال اگر فرض شود که بهینه جدید نزدیک به بهینه قبلی قرار دارد، می توان جستجو را محدود به نقطه مجاور بهینه قبلی کرد. البته استفاده مجدد از اطلاعات گذشته وابسته به ماهیت تغییر می باشد. اگر تغییر به صورت گسترده باشد تنها گزینه مناسب شروع مجدد است و استفاده از اطلاعات جمع آوری شده باعث گمراهی در حل مسئله می شود. در اکثر مسائل دنیای واقعی، امید می رود که تغییرات نسبتاً هموار باشند یعنی بین محیط مسئله پیش از تغییر و پس از تغییر ارتباطی وجود داشته باشد تا بتوان از اطلاعات قبلی برای تسریع فرایند بهینه یابی استفاده کرد.

مطالعه کلونی زنبور و ارتباطات بین زنبورها توسط کارل فریش نکات جالبی را در مورد توانایی های ارتباطی آنها روشن کرده است. که دارای خواص جالبی از جمله تقسیم کار مناسب، تخمین زدن کیفیت منبع غذایی توسط هر زنبور، راهی کردن تعداد بهینه از زنبورها به سوی منبع غذا، عدم وجود یک سیستم کنترلی مرکزی و تصمیم گیری در مورد مناسب بودن یک منبع با توجه به انرژی لازم برای جمع آوری غذا از منبع می باشد.

رفتار ازدواج زنبورهای عسل نیز می تواند بعنوان یک روش عمومی پایه، جهت بهینه یابی در محیطهای پویا در نظر گرفته شود که در آن، الگوریتم جستجو از فرایند جفت گیری زنبورهای واقعی الهام گرفته شده است هر چند که تمامی الگوریتم های موجود مبتنی بر ازدواج زنبور در محیطهای ایستا انجام شده و نتایج خوبی داشته ولی توانایی پاسخگویی به مسائل محیط پویا را به علت از دست دادن تنوع که لازمه این محیط می باشد را نداشته است. در این مقاله یک الگوریتم جدید مبتنی بر رفتار ازدواج زنبور عسل برای محیطهای پویا پیشنهاد می گردد که این الگوریتم از راهکارهایی نوینی برای رسیدن به نتایج بهتر بهره مند شده است. این الگوریتم با استفاده از چندین ملکه که پرواز جفت گیری را با هم آغاز نمی کنند، بهینه ها (قله ها) را می یابد و هر ملکه به عنوان یک بهینه (قله) شناسایی می شود سپس به روز کردن ملکه ها بعد از هر تغییر آغاز می شود تا از قدیمی شدن راه حل ها (ملکه ها) جلوگیری شود و بعد از یافتن تمامی بهینه ها شروع به استفاده از ملکه ها و حرکت به سوی بهینه تغییر مکان یافته می کند. این الگوریتم مشکل الگوریتم بهینه یابی ازدواج تک ملکه ای و چند ملکه ای زنبور عسل موجود که همگرایی سریع به یک بهینه و عدم مجوز دادن برای یافتن بهینه های دیگر و همچنین عدم ایجاد تنوع در میان فرزندان را دارا می باشد برطرف کرده است.

ادامه این مقاله بدین صورت سازماندهی شده است. بخش ۲ به معرفی رفتار ازدواج زنبور عسل، نحوه ایجاد کلونی، ساختار کلونی، پرواز جفت گیری، اصل کار کردن می پردازد. در بخش ۳ الگوریتم بهینه یابی جفت گیری زنبور عسل و در بخش ۴ الگوریتم پیشنهادی معرفی می گردد سپس در بخش ۵ تابع محک قله های متحرک برای محیطهای پویا و نتایج آزمایشهای انجام شده بروی این تابع ارائه و با نتایج حاصل از چندین الگوریتم معتبر همچون RPSO, MQSO, Adaptive cellular PSO, Adaptive MQSO, cellular PSO مورد مقایسه قرار می گیرد. معیار مقایسه، خطای برون خطی است که یکی از معیارهای اصلی مقایسه الگوریتم های طراحی شده برای محیطهای پویا می باشد نتایج آزمایشات نشان می دهد

که الگوریتم پیشنهادی از کارایی قابل قبولی نسبت به دیگر الگوریتم‌ها برخوردار است و در بخش پایانی نتیجه‌گیری حاصل از آزمایش‌ها ارائه گردیده است.

۲. رفتار ازدواج زنبور عسل

رفتار جفت‌گیری زنبورهای عسل [۸][۹][۱۰] نیز می‌تواند بعنوان یک روش عمومی پایه، جهت بهینه‌یابی در محیط‌های پویا در نظر گرفته شود که در آن، الگوریتم جستجو از فرایند جفت‌گیری در زنبورهای واقعی الهام گرفته شده است در بخش‌های زیر فرایند موجود در رفتار ازدواج زنبور عسل و دسته‌بندی‌های آنها شرح داده شده است.

۱.۲ نحوه ایجاد کلونی

در فرایند جفت‌گیری [۱۱]، کلونی به دو صورت مختلف ایجاد می‌شود روش اول تاسیس غیروابسته^۱ نامیده می‌شود که در آن ساخت کلونی با یک یا چند زنبور ماده تولید کننده که لانه را می‌سازند، تخم‌گذاری می‌کنند و فرزندان را تغذیه می‌کنند آغاز می‌شود. اولین بچه اختصاصاً (به تنهایی) در کندو می‌ماند تا زمانیکه شرایط به‌عهده گرفتن یک کار از کلونی را پیدا کند سپس تقسیم کار شروع می‌شود که ملکه^۲ به طور خاص به تخم‌گذاری و کارگرها به نگهداری بچه‌ها می‌پردازند. در روش دوم که حرکت جمعی^۳ نامیده می‌شود کلونی با یک یا چند ملکه به همراه یک گروه کارگر از کلونی اصلی تاسیس می‌شود تقسیم کار با تخم‌گذاری ملکه و نگهداری بچه‌ها توسط کارگرها شروع می‌شود. در ایجاد یک کلونی اگر یک ملکه نقش داشته باشد هاپلومتریس^۴ نامیده می‌شود در غیر این صورت به آن پلومتریس^۵ می‌گویند اگر کلونی در طول چرخه زندگی دارای یک ملکه باشد به آن کلونی منوجینیوس^۶ در غیر اینصورت کلونی پلوجینیوس^۷ نامیده می‌شود

۲.۲ ساختار کلونی

یک کندوی زنبورهای عسل [۱۲] به طور معمول شامل یک ملکه با طول عمر زیاد جهت تخم‌گذاری و تعدادی از صفر تا چند صد زنبور (نر) با توجه به فصل) و حدود ۱۰۰۰ تا ۶۰۰۰۰ زنبور کارگر می‌باشد. ملکه‌ها اصلی‌ترین نقش تولیدمثل را در برخی گونه‌های زنبور عسل ایفا نموده و وظیفه تخم‌گذاری را نیز بر عهده دارند. زنبورهای نر پدر کندو می‌باشند. آنها تک جنسی بوده و وظیفه تشدید ژنهای مادران بدون تغییر در ترکیب ژنتیک آنها را برعهده دارند. وظیفه کارگرها بچه‌داری و در برخی موارد تخم‌گذاری می‌باشد. بچه‌ها از تخمهای بارور و نابارور حاصل می‌شوند به گونه‌ای که از دسته اول ملکه و زنبورهای کارگر و از دسته دوم زنبورهای نر تولید می‌شود. از بین کلیه زنبورها فقط ملکه توسط ژله سلطنتی تغذیه می‌شود. ژله سلطنتی یک ماده ژله مانند به رنگ سفید شیری می‌باشد. زنبورهای پرستار این ماده مغذی را مخفی کرده و تنها جهت تغذیه ملکه مصرف می‌نمایند. تغذیه ملکه توسط این ژله او را نسبت به بقیه زنبورها در کندو بزرگتر می‌سازد. ملکه حدود ۵ تا ۶ سال عمر می‌کند در حالیکه زنبورهای کارگر بیش از شش ماه زندگی نمی‌نمایند.

۳.۲ پرواز جفت‌گیری

پرواز جفت‌گیری [۱۱] توسط رقص مخصوصی از جانب ملکه آغاز می‌گردد. در این پرواز زنبورهای نر به تعقیب ملکه پرداخته و در فضا، جفت‌گیری با ملکه را انجام می‌دهند. در یک پرواز جفت‌گیری معمول هر ملکه با ۷ تا ۲۰ زنبور نر جفت‌گیری می‌نماید. در هر جفت‌گیری اسپرم وارد محفظه اسپرم ملکه شده و در آنجا جمع آوری می‌گردد. هر بار که ملکه تخم ریزی بارور انجام می‌دهد مخلوطی از اسپرم جمع شده در محفظه اسپرم را جهت باروری تخم‌ها خارج می‌سازد. در حین پرواز جفت‌گیری ملکه توسط جمعیت انبوهی از زنبورهای نر تعقیب شده و سرانجام زنبورهای نری که موفق به جفت‌گیری با ملکه می‌شوند خواهند مرد ولی ملکه اسپرم آنها را دریافت می‌نماید. این بدان معناست که ملکه چندین بار و با چند زنبور نر جفت‌گیری می‌نماید ولی زنبورهای نر تنها قادر به یکبار جفت‌گیری با ملکه می‌باشند این عمل جفت‌گیری زنبورها را در قیاس با دیگر حشرات منحصر بفرد می‌سازد. در واقع پرواز جفت‌گیری می‌تواند به یک مجموعه جابجایی در فضا و مکان (محیط) تشبیه شود که در آن ملکه در نقاط مختلف و سرعت‌های متفاوت به پرواز درآمده و با زنبورهای نری که در آن لحظه و در آن مکان برخورد می‌نماید بطور تصادفی جفت‌گیری می‌نماید. بدیهی است که در آغاز پرواز جفت‌گیری، انرژی ملکه در حد مشخصی بوده و در انتهای مسیر یعنی در زمانی که ملکه به کندو باز می‌گردد انرژی او کاهش یافته و نزدیک به صفر می‌گردد. از طرف دیگر ممکن است که قبل از به صفر رسیدن انرژی ملکه حجم محفظه اسپرم ملکه پر شده و ملکه حتی در صورت دارا بودن انرژی نیز به کندو باز گردد.

در طبیعت نقش کارگرها محدود به بچه داری و تغذیه ملکه می‌باشد. بنابراین در الگوریتم توسعه یافته هر کارگر به عنوان یک رفتار و تابع کاوشی جهت ترقی نسل و یا مراقبت از یک مجموعه از بچه‌ها عمل می‌نماید. هر زنبور نر با احتمالی که توسط تابع احتمالی رابطه (۱) مشخص شده جفت‌گیری می‌نماید:

$$\text{Pr ob}(Q, D) = e^{-\frac{\Delta(f)}{s(t)}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن $\text{prob}(Q, D)$ احتمال اضافه شدن اسپرم زنبور نر D به حجم محفظه اسپرم ملکه Q یا احتمال یک جفت‌گیری موفق می‌باشد $\Delta(f)$ ، قدر مطلق اختلاف بین تابع هدف زنبور نر D (یعنی $f(D)$) و تابع هدف ملکه Q (یعنی $f(Q)$) می‌باشد و $s(t)$ سرعت ملکه در لحظه t می‌باشد. واضح است که احتمال جفت‌گیری در ابتدای پرواز جفت‌گیری که ملکه دارای سرعت زیاد می‌باشد و یا در زمانیکه تابع برازش

زنبور نر خوب و مناسب بوده و به مقدار تابع برازش ملکه نزدیک می‌باشد بسیار زیاد می‌باشد و به تدریج و بعد از هر جابجایی ملکه درفضا، سرعت و انرژی او توسط روابط (۲) و (۳) کاهش می‌یابد:

$$S(t+1) = \alpha * S(t) \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$E(t+1) = E(t) - \gamma \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن α ضریبی است متعلق به بازه $[0, 1]$ و γ مقدار کاهش انرژی ملکه در هر انتقال می‌باشد.

۴.۲. ارائه راه حل (اصل کارکردن)

کارگرها [۹] برای پیشرفت و بهبود ژنوتایپ بچه‌ها استفاده می‌شوند. این کارگرها یک مجموعه از توابع مختلف مکاشفه‌ای را ارائه می‌دهند که این توابع مکاشفه‌ای بر اساس میزان بهبود بچه‌ها مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. به عنوان مثال تابع مکاشفه‌ای تقاطع تک نقطه‌ای، عمل تقاطع بین ژنوتایپ بچه با یک ژنوتایپ تصادفی را در یک نقطه تصادفی به امید بهبود انجام می‌دهد و به این طریق یک راه حل جدید ارائه می‌گردد.

۳. الگوریتم بهینه‌یابی ازدواج زنبور عسل^۱ (HBMO)

الگوریتم بهینه‌یابی [۱۳] جفت‌گیری زنبورهای عسل را می‌توان در ۵ گام اساسی زیر خلاصه نمود:

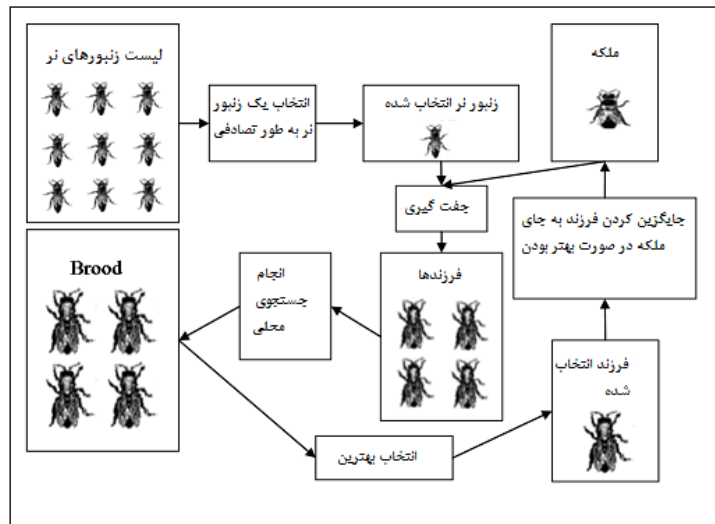
- الگوریتم با پرواز جفت‌گیری آغاز می‌شود که در آن ملکه (جواب برتر) به طور احتمالی جفت‌های خود را از بین زنبورهای نر جهت پر نمودن محفظه اسپرم خود و در نهایت تولید بچه‌های جدید انتخاب می‌نماید.
- بچه زنبورهای جدید (جوابهای آزمایشی) با جابجایی ژنهای زنبور نر با ژنهای ملکه ایجاد می‌شوند.
- از کارگرها (توابع کاوشی) جهت جستجوی موضعی (پرورش و ارتقاء نسل بچه زنبورها) استفاده می‌شود.
- تابع برازش کارگرها با توجه به میزان ترقی که در نسل زنبورها ایجاد می‌نمایند مرتب می‌شود.
- بچه زنبور برتر در این فرایند در صورت برتری نسبت به ملکه موجود جهت جایگزینی با ملکه و انجام پرواز جفت‌گیری بعدی انتخاب می‌شود.

شکل (۱) گامهای ازدواج چندملکه و شکل (۲) نمایشی از ازدواج تک ملکه را نشان می‌دهد که در محیط‌های ایستانتایج خوبی داشته است.

```

Define Q,W, and B to be the number of queens, workers,and broods respectively
Define M to be the spermatheca size
Define energy, and speed to be the queen's energy and speed respectively
Initialize each worker with a unique heuristic
Initialize each queen's genotype at random
select a worker at random and apply it to improve the queen's genotype
while the stopping criteria are not satisfied
  for queen = ۱ to Q
    initialize energy, speed and position
    generate a drone using position
    while energy > ۰
      evaluate the genotype of the drone
      if the drone passes the probabilistic condition, then
        if the queen's spermatheca is not full, then
          add its spermatozoa to the queen's spermatheca
        end if
      end if
      energy = energy - step
      speed = t * speed
      with a probability of speed, flip each bit in the drone's genotype
    end while
  end for
  for brood = ۱ to B
    select a queen in proportion to her fitness
    select a sperm from the queen's spermatheca at random
    generate a brood by crossovering the queen's genome with the selected sperm
    mutate the generated brood's genotype
    select a worker in proportion to its fitness
    use the selected worker to improve the drone's genotype
    update the worker's fitness based on the amount of drone's improvement
  end for
  while the best brood is better than the worst queen
    replace the least-fittest queen with the best brood
    remove the best brood from the brood list
  end while
end while solution
  
```

شکل (۱) شبه کد الگوریتم ازدواج زنبور عسل شیوه پلوجینیوس پلومترسیس



شکل (۲) مدل گرافیکی الگوریتم بهینه یابی ازدواج زنبور عسل [۱۳]

در نهایت الگوریتم با مشخص نمودن سه پارامتر توسط کاربر و یک پارامتر از پیش تعیین شده، تعداد کارگرها که بیانگر تعداد توابع فراکاوشی در مسئله می باشد آغاز می شود. این پارامتر می تواند توسط کاربر جهت تعیین توابع فراکاوشی فعال تغییر یابد. که حدود مجاز تغییرات توسط کاربر بین صفر تا حداکثر تعداد توابع فراکاوشی تعریف می شود.

سه پارامتر دیگر تعریف شده توسط کاربر نیز شامل تعداد ملکه ها، حجم محفظه اسپرم ملکه (حداکثر تعداد جفت گیری های هر ملکه در هر پرواز جفت گیری) و حداکثر تعداد بچه زنبورهای حاصل از هر ملکه می باشد. انرژی و سرعت ملکه در ابتدای هر پرواز جفت گیری به صورت تصادفی تعیین می گردد که در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول (۱) پارامترهای الگوریتم بهینه یابی ازدواج زنبور عسل

پارامتر	توصیف
w	تعداد کارگرها
Q	تعداد ملکه
b	تعداد زنبور های نر
M	سایز اسپرمدان
T_{min}	سرعت ملکه در انتهای پرواز جفت گیری
t	ضریب کاهش سرعت ملکه

ملکه ها مهمترین نقش را در فرایند جفت گیری چه در طبیعت و چه در الگوریتم بهینه یابی ازدواج زنبور عسل بر عهده دارد. هر ملکه با یک رشته ژن، سرعت، انرژی و یک حجم مشخص محفظه اسپرم شناخته می شود. بنابراین انرژی، سرعت و حجم محفظه اسپرم ملکه قبل از هر پرواز جفت گیری به صورت تصادفی انتخاب می شود. در ابتدای هر پرواز جفت گیری هر زنبور نر به صورت اتفاقی تولید می گردد پس از هر جفت گیری موفق، اسپرم زنبورهای نر در محفظه اسپرم ملکه ذخیره می گردد. جابجایی صورت گرفته در فضا توسط ملکه با توجه به سرعت او می باشد که بیانگر احتمال آمیزش ژنهای زنبور نر با ژن ملکه است. در ابتدای هر پرواز جفت گیری ملکه دارای سرعت بالا بوده و بنابراین می تواند گام های بلندی را در فضا جهت یافتن جفت مورد نظر خود بردارد. به تدریج که انرژی ملکه کاهش می یابد سرعت او نیز کاهش یافته و در نتیجه محدوده عمل ملکه در فضا نیز محدودتر خواهد گردید. در هر گام ملکه در فضا، زنبور نر موجود در مجاورت خود را توسط تابع احتمالاتی رابطه (۱) آزمون می نماید. در صورتی که جفت گیری با موفقیت انجام شود (زنبور نر از آستانه انتخاب ملکه در تابع فوق گذر نماید) اسپرم زنبور نر وارد محفظه اسپرم ملکه شده و در آنجا ذخیره می گردد. سپس در فرایند تولید بچه ها هر بچه با قرارگیری برخی از ژنهای زنبور نر و کامل شدن مابقی ژنها با ژنهای ملکه بوجود می آید. بنابراین یک تعداد ملکه به صورت تصادفی انتخاب گردیده و سپس یک سری توابع فراکاوشی با در نظر گرفتن این که ملکه همیشه بهترین زنبور در کندو می باشد به صورت تصادفی جهت بهبود نسل ملکه انتخاب می گردند.

بدین ترتیب نحوه و روش تخم ریزی ملکه نیز به عنوان یک سری توابع فراکاوشی دیگر تعریف گردیده و یک سری توابع مورد نظر جهت ارتقاء نسل اضافه می گردند و میزان مناسب بودن این توابع نیز با توجه به میزان تاثیر و ارتقائی که در تولید بچه زنبورهای جدید ایجاد می نمایند محاسبه می گردد. زمانی که تمام ملکه ها (در صورت چند ملکه ای) پرواز جفت گیری خود را به پایان رساندند تولید بچه ها آغاز می گردد. لازم به ذکر است که رفتار جفت گیری به دو شکل تک ملکه ای و چند ملکه ای امکان پذیر است ولی در الگوریتم های موجود ملکه ها به طور موازی جفت گیری انجام داده و همگی آنها در هر مرحله در پرواز جفت گیری نقش دارند. جهت تولید بچه ها به تعداد مورد نظر که از پیش تعیین گردیده است هر ملکه

با تعدادی از اسپرم‌های درون محفظه اسپرم خود که به طور تصادفی و توسط توابع مورد نظر تعیین می‌گردد، جفت‌گیری می‌کند. سپس کارگران با توجه به میزان برازش خود جهت ارتقاء ملکه و بچه زنبورها انتخاب می‌گردند. پس از تولید تمامی بچه زنبورها، همگی آنها با توجه به مقدار تابع برازش خود مرتب می‌شوند. بهترین بچه زنبورها در صورت برتری نسبت به ملکه‌ها جایگزین آنها می‌گردند. مابقی بچه زنبورها در ادامه فرایند کشته شده و پرواز جفت‌گیری بعدی آغاز می‌گردد. این عمل تا آنجا ادامه می‌یابد که یا تعداد پروازهای جفت‌گیری از پیش تعیین شده به انتها برسد و یا معیار همگرایی تعیین شده در مسئله ارضا گردد که در این صورت حل مسئله پایان می‌یابد.

۴. الگوریتم پیشنهادی رفتار از دواج برای محیط‌های پویا

این الگوریتم دارای یک کلونی از ملکه‌ها می‌باشد که آنها برخلاف شیوه پلوجینیوس پلومترسیس با هم کار نمی‌کنند بلکه در هر نسل فقط یک ملکه حق تولید مثل را دارد و ملکه‌های دیگر می‌بایست تا برگشت ملکه جاری در کلونی منتظر بمانند. به این دلیل که اگر تمامی ملکه‌ها در پرواز جفت‌گیری نقش داشته باشند منجر به همگرایی تمامی ملکه‌ها به یک بهینه شده و باعث فریب سیر حل مسئله خواهد شد و در تغییرات بعدی ملکه‌ها قادر به یافت بهینه‌ها نخواهند بود. این ملکه‌ها در ابتدا به طور تصادفی مقدار می‌گیرند هر ملکه وظیفه یافتن و تعقیب یک قله را برعهده دارد زیرا در محیط‌های پویا بهینه‌های محلی ممکن است پس از تغییر محیط به بهینه سراسری تبدیل شوند بنابراین لازم است تا جایی امکان تمام آنها تحت پوشش ملکه‌ها قرار گیرند همچنین هر ملکه دارای متغیری به نام shift نیز می‌باشد، این متغیر فاصله یک ملکه از زمان پرواز جفت‌گیری خودش، تاکنون را نشان می‌دهد.

برای مثال اگر یک ملکه بهینه‌ای را یافته باشد و تاکنون (بعد از چند نسل) در پرواز جفت‌گیری شرکت نداشته باشد این متغیر مقدار فاصله از بهینه یافت شده را محاسبه می‌کند (زیرا بهینه موقعیتش تا الان تغییر کرده است و از قدیمی شدن راه حل جلوگیری می‌کند). این متغیر در زمان اضافه کردن ملکه جدید به کلونی یا جایگزین کردن ملکه جاری با یکی از ملکه‌ها، برای تمامی کلونی ملکه به روز می‌شود. مزیت این متغیر زمانی مشخص می‌شود که یک ملکه به کلونی اضافه می‌شود در این صورت می‌خواهیم بدانیم این ملکه راه‌حل بهینه‌ای است که قبلاً در کلونی ملکه‌ها موجود بوده یا یک راه‌حل جدید می‌باشد با توجه به محاسبه فاصله ملکه جاری با ملکه‌ها، ملکه با کمترین فاصله را یافته و در صورتیکه کمترین فاصله کوچکتر از مقدار متغیر shift ملکه با کمترین فاصله باشد ملکه جایگزین این ملکه می‌شود. لازم به ذکر است که به روز کردن کلونی ملکه‌ها فقط در صورت تغییر محیط انجام می‌شود.

در حین پرواز جفت‌گیری یک ملکه، مانند روش تک ملکه‌ای، بچه‌ها تولید شده و بوسیله کارگران پرورش داده می‌شوند. و در شروع تغییر محیط در صورت پر بودن کلونی ملکه‌ها، ملکه مناسب‌تر (بیشینه یا کمینه بر مبنی هدف مسئله) به عنوان ملکه فعلی انتخاب می‌شود. مراحل این الگوریتم همان طور که در شکل (۳) می‌بینید به شرح زیر می‌باشد:

ملکه به طور تصادفی در بازه مشخص شده مقدار اولیه می‌گیرد (در صورت تولید زنبورهای نر در ابتدای هر نسل می‌توان زنبور با برازش مناسب تر را به عنوان ملکه قلمداد کرد).

آغاز پرواز جفت‌گیری یک ملکه، تولید بچه‌ها، پرورش بچه‌ها بوسیله کارگران مانند الگوریتم‌های تک‌ملکه‌ای و چند ملکه‌ای انجام می‌شود، با این تفاوت که در این الگوریتم از تابع مکاشفه‌ای الگوریتم زنبورهای مصنوعی [۱۴][۱۵] برای جستجوی محلی مناسب و همگرایی سریع استفاده شده است. که در رابطه (۴) نشان داده شده است.

$$v_{qj} = x_{qj} + \phi_{ij}(x_{qj} - x_{kj}) \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$k \in \{1, 2, \dots, B\}, j \in \{1, 2, \dots, D\}, \phi_{ij} \in [-1, 1]$$

رابطه (۴)، ϕ_{ij} یک عدد تصادفی در بازه $[-1, 1]$ است که تولید موقعیت منابع غذایی همسایه را در اطراف x_{qj} کنترل می‌کند. در این رابطه، B تعداد زنبورهای نر می‌باشد و متغیر K نیز به صورت تصادفی تولید و می‌بایست با i متفاوت باشد.

بدین ترتیب ملکه با بعضی از زنبورهای نر (به طور تصادفی) عمل اصلاح مکان را انجام دهد، به عبارت دیگر ملکه بوسیله یک زنبور نر مکان خود را اصلاح می‌کند و در صورت بهبودی مکان، خود را به آن نزدیک می‌کند در غیر این صورت مکان قبلی خود را حفظ می‌کند این مکاشفه کمک می‌کند که یک جستجوی هدفمند برای ملکه رخ دهد.

این مراحل در یک چرخه تا زمان رخ دادن تغییراتی در محیط تکرار می‌شود و در صورتیکه محیط تغییر کند می‌بایست ملکه جاری در کلونی ملکه‌ها جایگزین شود در این حالت می‌بایست جدید بودن ملکه و یا قدیمی بودن آن بررسی شود. در صورتیکه فاصله بین ملکه جاری نسبت به یکی از ملکه‌های موجود در کلونی کمترین باشد و این مقدار (کمترین) از مقدار متغیر shift ملکه موجود در کلونی کوچکتر باشد نشان دهنده این است که ملکه جدید همان ملکه قدیمی با کمی تغییر بوده و جایگزین ملکه قبلی می‌شود و این متغیر نیز به روز می‌شود در غیر اینصورت به عنوان یک ملکه جدید در کلونی اضافه می‌شود.

```

Define Q,W, and B to be the number of queens, workers,and broods respectively
Define M to be the spermatheca size
Define energy, and speed to be the queen's energy and speed respectively
Initialize each worker with a unique heuristic
Initialize each queen's genotype at random
queen's shift=•

change=• //no change

select a worker at random and apply it to improve the queen's genotype
while the stopping criteria are not satisfied
    if environment ==change
        if queens_colony is full
            current_queen=best queen based on fitness
        else
            Initialize each current_queen's genotype at random
        End if
    End if
    initialize energy, speed, step and position
    generate a drone using position
    while energy > •
        evaluate the genotype of the drone
        if the drone passes the probabilistic condition, then
            if the current_queen's spermatheca is not full, then
                add its spermatozoa to the current_queen's spermatheca
            end if
        end if
        energy = energy - step
        speed = t * speed
        with a probability of speed, flip each bit in the drone's genotype
    end while
    for brood = 1 to B
        generate a brood by crossovering the current_queen's genome with the selected sperm
        mutate the generated brood's genotype
        select a worker in proportion to its fitness
        use the selected worker to improve the drone's genotype
        update the worker's fitness based on the amount of drone's improvement
    end for
    while the best brood is better than the current_queen
        replace current_queen with the best brood
    end while
if environment ==change
    for queen=1 to Q
        calculated distance queens to current_queen
    end for
    m_d=min(distances)
    if m_d<(queen's shift which have minumum_distance)
        replace minumu_distance queen with current_queen
    else
        insert current_queen to queen_colony
    end if
    updat shift_queens
end if
end while solution

```

شکل (۳) شبه کد الگوریتم پیشنهادی

در الگوریتم پیشنهادی پارامترهای زیر می‌بایست قبل از شروع الگوریتم، تنظیم شود این پارامترها در جدول (۲) تنظیم شده است.

جدول (۲) تنظیم پارامترها برای الگوریتم پیشنهادی

پارامتر	مقدار پیش فرض
تعداد کارگرها و تعدادملکه‌ها	۴ کارگر و ملکه به تعداد قلعه‌ها
تعداد زنبورهای نر و فرزندان	۱۰۰

سایز اسپرمدان و ضریب کاهش سرعت ملکه به ترتیب	۰,۹ و ۴۰
سرعت ملکه در انتهای پرواز جفت گیری و انرژی	۱۰۰

۴. آزمایش ها

در آزمایش های انجام شده هدف بررسی و مقایسه الگوریتم های [۷]RPSO، [۱]mQSO، [۲]Adaptive mQSO، [۶]Cellular PSO، Adaptive cellular PSO و الگوریتم پیشنهادی در محیط های پویا به کمک تابع قله های متحرک می باشد از آنجا که در محیط های پویا بهترین راه حل بدست آمده معیار مفیدی برای ارزیابی و گزارش نمی باشد، از معیار خطای برون خطی^۱ جهت مقایسه و نتیجه گیری استفاده شده است [۴].

۱.۴. تابع قله های متحرک^{۱۰}

جهت پدید آوردن یک محیط پویا از یک تابع محک مناسب، قله های متحرک [۳][۵] استفاده شده است که شامل یک فضای چند بعدی، چندین قله با ارتفاع و پهنای متفاوت است، که ارتفاع، پهنای و موقعیت هر قله در طول زمان در حال تغییر است. تابع قله های متحرک در نظر گرفته شده شامل m قله در n بعد با پارامترهای حقیقی است و هدف، یافتن بیشینه در هر زمان در میان m قله تا تغییر بعدی می باشد که به صورت رابطه (۵) تعریف می شود:

$$F(\vec{x}, t) = \underset{i=1..m}{\text{Max}}(B(\vec{x}), \underset{i=1..m}{\text{Max}} P(\vec{X}, H_i(t), W_i(t), \vec{p}(t))) \quad \text{رابطه (۵)}$$

در این تابع $B(\vec{x})$ یک شمای پایه ثابت در زمان و p تابع چند قله ای است که در هر Δe ارزیابی، ارتفاع و پهنای قله ها بوسیله افزودن یک عدد تصادفی گوسین با میانگین صفر و واریانس σ و مکان هر قله بوسیله افزودن بردار v با طول ثابت s (سختی) طبق رابطه (۶) تغییر می کند. در این تابع می توان پیچیدگی را با افزایش و کاهش Δe در زمان تغییر داد.

$$\begin{cases} \sigma \in N(0, 1) \\ h_i(t) = h_i(t-1) + \text{height_severity} \cdot \sigma \\ w_i(t) = w_i(t-1) + \text{width_severity} \cdot \sigma \\ \vec{p}_i(t) = \vec{p}_i(t-1) + \vec{v}_i(t) \end{cases} \quad \text{رابطه (۶)}$$

بردار v را می توان وابسته به تغییر قبلی آن ایجاد کرد که در این صورت تغییر موقعیت قله ها همسو با تغییرات قبل آن می شود و یا به صورت تصادفی آنرا ایجاد نمود که موجب می شود موقعیت قله ها به صورت تصادفی تغییر کند و هیچگونه وابستگی به تغییر قبلی نداشته باشد. مقادیر پارامترهای برای انجام آزمایش ها طبق جدول (۳) در نظر گرفته شده است.

جدول (۳) تنظیم پارامترهای تابع قله های متحرک

پارامتر	مقدار پیش فرض
λ فاکتور وابستگی	۰
P تعداد قله ها	۱۰
f فرکانس تغییرات	هر ۵۰۰۰ ارزیابی
سختی ارتفاع	۷
سختی پهنای	۱
شکل قله ها	مخروطی ^{۱۱}
S طول تغییر	۱
D تعداد ابعاد	۵
H مقدار مینیمم و ماکزیمم ارتفاع	[۳۰ و ۷۰]
W مقدار مینیمم و ماکزیمم پهنای	[۱ و ۱۲]
مقدار اولیه ارتفاع	۵۰
A محدوده فضای جستجو	[۰ و ۱۰۰]

۲.۴. پارامترهای تنظیم شده الگوریتم ها در آزمایش ها

در این الگوریتم تعداد ژن ها در کروموزوم ۵ در نظر گرفته شده و به منظور تولید فرزندان از روش باز ترکیبی دونقطه ای با نرخ ۰,۶ و جهش گوسین با نرخ ۰,۲ استفاده شده است.

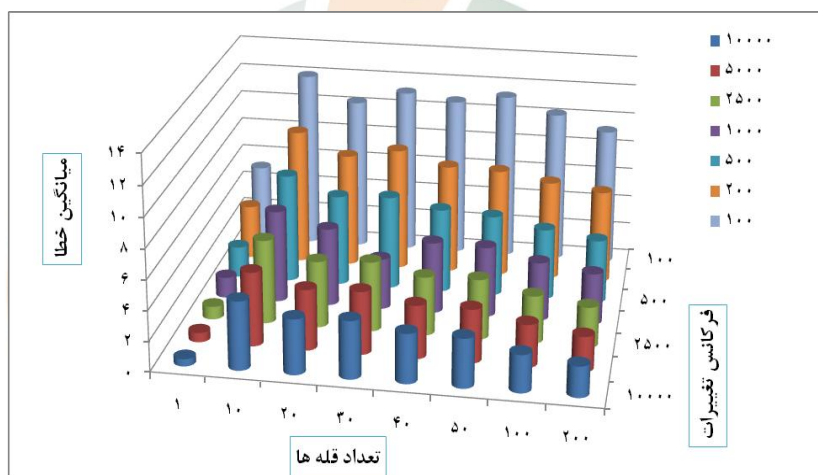
در الگوریتم پیشنهادی نیز همانند پارامترهایی که در جدول (۲) توصیف شده مقادیری می بایست قبل از انجام الگوریتم تعریف شود. در آزمایش های مربوط به ترکیب الگوریتم های اتوماتای سلولی و PSO مقدار فاکتورهای یادگیری c_1 و c_2 با مقدار ۱,۴۹۶۱۸۰ و وزن میانی ۰,۷۲۹۸۴۴ تنظیم شده است، ماکزیمم سرعت برای یک ذره و شعاع همسایگی اتوماتای سلولی و شعاع جستجوی محل تصادفی در همه آزمایش ها ۰,۵ در نظر گرفته شده است. یک اتوماتای سلولی پنج بعدی با 10^5 سلول با همسایگی مور و شعاع ۲ سلول در فضای جستجو در نظر گرفته شده

و تعداد ذرات ۱۰۰ عدد تنظیم شده است. همچنین در آزمایش‌های مربوط به $mQSO\ m(n+k^q)$ ، تعداد زیر گروه و n تعداد ذره استاندارد و k تعداد ذره‌های کوانتومی می‌باشد.

۳.۴. آزمایش‌های تابع قله‌های متحرک

در این آزمایش‌ها کارایی الگوریتم پیشنهادی در محیطی پویا توسط تابع قله‌های متحرک با فرکانس تغییرات و تعداد قله‌های متفاوت ارزیابی شده است و به کمک معیار خطای برون خطی با الگوریتم‌های PSO [۷]، RPSO [۱]، mQSO [۲]، Adaptive mQSO [۶]، Cellular PSO [۶]، Adaptive cellular PSO مقایسه گردیده است. تعداد قله‌ها بین ۱ تا ۲۰۰ و فرکانس تغییرات بین هر ۱۰۰ تا ۱۰۰۰۰ ارزیابی تغییر می‌کند (منظور از فرکانس تغییرات پایین یعنی تعداد ارزیابی‌هایی که بین تغییرات وجود دارد زیاد می‌باشد مثل $f=5000$ و منظور از فرکانس تغییرات بالا یعنی تعداد ارزیابی‌ها بین تغییرات کم می‌باشد مثل $f=50$) به منظور بررسی دقیق‌تر رفتار الگوریتم میانگین خطا در فرکانس‌های تغییر مختلف با قله‌های متفاوت محاسبه و در شکل (۴) نمایش داده شده است. با توجه به آزمایش‌ها مشخص می‌گردد با کاهش فرکانس تغییرات میزان خطا کاهش می‌یابد زمانیکه تعداد قله‌ها در یک فرکانس افزایش می‌یابد میزان خطا کاهش می‌یابد این مسئله ناشی از موارد زیر است:

- به دلیل اینکه در این روش برای هر قله یک ملکه در نظر گرفته می‌شود و یک جمعیت با این ملکه کار می‌کند در تعداد قله‌های کم امکان استفاده از نتایج ملکه‌های قبل وجود دارد و این امر کمک می‌کند سریع‌تر به راه حل بهینه را یافته و خطا کاهش می‌یابد.
- در تعداد قله‌های زیاد ۱۰۰ و ۲۰۰ به علت وجود ۱۰۰ تغییر در اجرای برنامه و تولید یک ملکه در هر تغییر عملاً از نتایج ملکه‌های قبل استفاده نمی‌شود به عبارتی برنامه مشابه راه‌اندازی مجدد کار می‌کند به همین دلیل نتایج بهتری حاصل می‌شود (وجود تنوع در جمعیت) ولی سرعت رسیدن به جواب با هر تغییر با توجه به نمودارهای خطای برون خطی کاهش می‌یابد.



شکل (۴) طیف میانگین خطا با توجه به فرکانس تغییرات و تعداد قله‌ها در الگوریتم پیشنهادی

- در محیط‌هایی که دارای چند قله می‌باشند زمانیکه قله‌ها هر ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۵۰۰ و ۵۰۰۰ ارزیابی تغییر می‌کنند روش پیشنهادی، adaptive cellular PSO و cellular PSO نسبت به بقیه روش‌ها خوب عمل می‌کنند ولی روش پیشنهادی بسیار بهتر از دیگر روش‌ها در فرکانس‌های بالا عمل می‌کند و خطای برون خطی را بسیار کاهش می‌دهد و مناسب برای اینگونه فرکانس‌ها می‌باشد. به این دلیل که در الگوریتم پیشنهادی در فرکانس‌های بالا که محیط به سرعت تغییر می‌کند هر بهینه (ملکه جدید) را با ملکه‌هایی (بهینه‌های قدیمی) که قبلاً یافته مقایسه و در صورت کمتر بودن فاصله بهینه با نزدیکترین ملکه از مقدار متغیر shift آن را جایگزین نموده و از قدیمی شدن آن جلوگیری می‌شود در غیر این صورت به عنوان ملکه جدید در حافظه ملکه‌ها ثبت می‌شود. روش پیشنهادی نه تنها از قدیمی شدن ملکه‌ها جلوگیری می‌کند همچنین به ایجاد تنوع و جلوگیری از یکسان شدن ملکه‌ها می‌پردازد زیرا وجود یک ملکه بروی یک قله برای دنبال کردن آن کافی است (جدول (۴) تا (۷)).
- در محیط‌های تک قله‌ای همه روش‌ها به جز روش پیشنهادی ضعیف‌تر عمل نموده‌اند. عملکرد مناسب روش پیشنهادی ناشی از این است که در این محیط تنها یک ملکه وجود دارد و هر بار که بهینه‌ای یافت می‌شود با ملکه مقایسه شده و بدلیل اینکه فقط یک قله در محیط وجود دارد و فاصله بهینه تا ملکه نزدیک است ملکه به روز شده و برای ادامه کار سرعت همگرایی زیاد خواهد شد و میزان خطای برون خطی را در حالت تک قله‌ای کاهش می‌دهد (جدول (۴) تا (۷)).

- این روش به این دلیل که سعی دارد تمامی قله ها را بیابد و بعد شروع به استفاده از آنها کند در فرکانس های پایین به تدریج خطا را کاهش می دهد زیرا فرصت کافی برای پیدا کردن بهینه اصلی وجود دارد و موجب می گردد ملکه ها دیرتر قله های محلی دیگر را پیدا نمایند و احتمال استفاده از آنها در پیدا کردن قله اصلی نسبت به فرکانس های بالا کاهش می یابد.

جدول (۴) Offline error برای $F=500$

روش پیشنهادی	Adaptive Cellular PSO[۶]	Adaptive mQSO [۲]	Cellular PSO [۶]	mQSO $10(5+5^9)$ [۱]	mQSO $10(10+0^9)$ [۱]	RPSO[۷]	تعداد قله ها
۱	$12,19 \pm 0,51$	$14,07 \pm 1,12$	$13,46 \pm 0,73$	$33,67 \pm 3,42$	$44,48 \pm 3,74$	$5,20 \pm 0,18$	۱
۱۰	$9,18 \pm 0,24$	$9,42 \pm 0,24$	$9,35 \pm 0,37$	$9,62 \pm 0,34$	$15,15 \pm 0,72$	$18,11 \pm 0,21$	۱۰
۲۰	$8,78 \pm 0,16$	$9,59 \pm 0,25$	$8,84 \pm 0,28$	$9,07 \pm 0,25$	$13,04 \pm 0,46$	$17,80 \pm 0,25$	۲۰
۳۰	$8,64 \pm 0,16$	$9,44 \pm 0,24$	$8,81 \pm 0,24$	$8,80 \pm 0,21$	$12,48 \pm 0,31$	$17,42 \pm 0,24$	۳۰
۴۰	$8,68 \pm 0,16$	$9,44 \pm 0,19$	$8,94 \pm 0,24$	$8,55 \pm 0,21$	$12,22 \pm 0,31$	$16,79 \pm 0,21$	۴۰
۵۰	$8,49 \pm 0,14$	$9,13 \pm 0,19$	$8,62 \pm 0,23$	$8,72 \pm 0,20$	$12,18 \pm 0,31$	$16,42 \pm 0,31$	۵۰
۱۰۰	$8,22 \pm 0,12$	$8,81 \pm 0,19$	$8,54 \pm 0,21$	$8,54 \pm 0,16$	$11,54 \pm 0,26$	$15,00 \pm 0,13$	۱۰۰
۲۰۰	$7,89 \pm 0,10$	$8,21 \pm 0,14$	$8,28 \pm 0,18$	$8,19 \pm 0,17$	$11,25 \pm 0,26$	$14,00 \pm 0,11$	۲۰۰

جدول (۵) Offline error برای $F=1000$

روش پیشنهادی	Adaptive Cellular PSO[۶]	Adaptive mQSO [۲]	Cellular PSO [۶]	mQSO $10(5+5^9)$ [۱]	mQSO $10(10+0^9)$ [۱]	RPSO[۷]	تعداد قله ها
۱	$5,83 \pm 0,35$	$6,60 \pm 0,55$	$6,77 \pm 0,38$	$18,60 \pm 1,63$	$21,68 \pm 1,85$	$2,40 \pm 0,09$	۱
۱۰	$5,29 \pm 0,20$	$5,64 \pm 0,21$	$5,19 \pm 0,19$	$5,71 \pm 0,22$	$7,66 \pm 0,31$	$2,43 \pm 0,36$	۱۰
۲۰	$5,49 \pm 0,16$	$5,95 \pm 0,18$	$5,23 \pm 0,18$	$5,85 \pm 0,15$	$7,25 \pm 0,21$	$15,61 \pm 0,30$	۲۰
۳۰	$5,42 \pm 0,13$	$5,97 \pm 0,17$	$5,33 \pm 0,16$	$5,81 \pm 0,15$	$7,19 \pm 0,21$	$14,88 \pm 0,27$	۳۰
۴۰	$5,32 \pm 0,14$	$6,12 \pm 0,17$	$5,61 \pm 0,16$	$5,70 \pm 0,14$	$7,19 \pm 0,18$	$14,53 \pm 0,26$	۴۰
۵۰	$5,25 \pm 0,14$	$5,98 \pm 0,12$	$5,55 \pm 0,14$	$5,87 \pm 0,13$	$7,14 \pm 0,18$	$14,16 \pm 0,27$	۵۰
۱۰۰	$5,09 \pm 0,10$	$5,78 \pm 0,11$	$5,57 \pm 0,12$	$5,83 \pm 0,13$	$6,94 \pm 0,15$	$12,53 \pm 0,19$	۱۰۰
۲۰۰	$4,59 \pm 0,08$	$5,54 \pm 0,11$	$5,50 \pm 0,12$	$5,54 \pm 0,11$	$6,98 \pm 0,15$	$11,58 \pm 0,12$	۲۰۰

جدول (۶) Offline error برای $F=2500$

روش پیشنهادی	Adaptive Cellular PSO[۶]	Adaptive mQSO [۲]	Cellular PSO [۶]	mQSO $10(5+5^9)$ [۱]	mQSO $10(10+0^9)$ [۱]	RPSO[۷]	تعداد قله ها
۱	$2,00 \pm 0,12$	$2,48 \pm 0,20$	$4,15 \pm 0,25$	$7,64 \pm 0,64$	$9,88 \pm 0,83$	$1,00 \pm 0,05$	۱
۱۰	$3,03 \pm 0,13$	$2,91 \pm 0,13$	$2,82 \pm 0,14$	$3,12 \pm 0,14$	$4,38 \pm 0,20$	$13,72 \pm 0,52$	۱۰
۲۰	$3,17 \pm 0,12$	$3,40 \pm 0,12$	$3,41 \pm 0,14$	$3,58 \pm 0,13$	$4,34 \pm 0,14$	$13,89 \pm 0,45$	۲۰
۳۰	$3,22 \pm 0,10$	$3,47 \pm 0,10$	$3,62 \pm 0,12$	$3,63 \pm 0,10$	$4,36 \pm 0,13$	$13,01 \pm 0,36$	۳۰
۴۰	$3,32 \pm 0,08$	$3,56 \pm 0,10$	$3,84 \pm 0,12$	$3 \pm 0,10$	$4,37 \pm 0,11$	$12,49 \pm 0,33$	۴۰
۵۰	$3,30 \pm 0,07$	$3,56 \pm 0,09$	$3,86 \pm 0,10$	$3,63 \pm 0,10$	$4,36 \pm 0,13$	$11,96 \pm 0,33$	۵۰
۱۰۰	$3,35 \pm 0,06$	$3,53 \pm 0,07$	$4,10 \pm 0,11$	$3,58 \pm 0,08$	$4,21 \pm 0,10$	$10,73 \pm 0,21$	۱۰۰
۲۰۰	$3,29 \pm 0,06$	$3,37 \pm 0,06$	$3,97 \pm 0,10$	$3,30 \pm 0,06$	$4,04 \pm 0,08$	$9,63 \pm 0,18$	۲۰۰

جدول (۷) Offline error برای $F=5000$

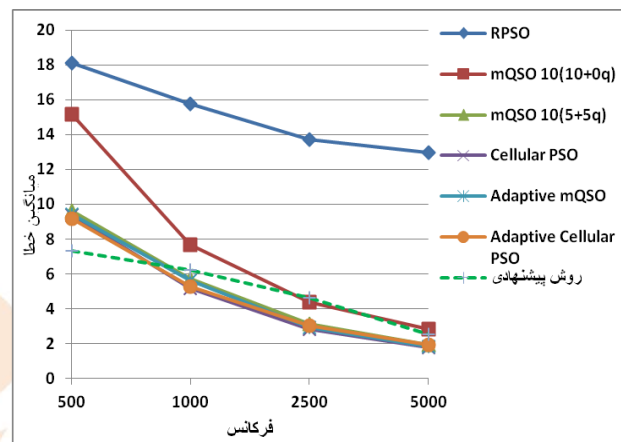
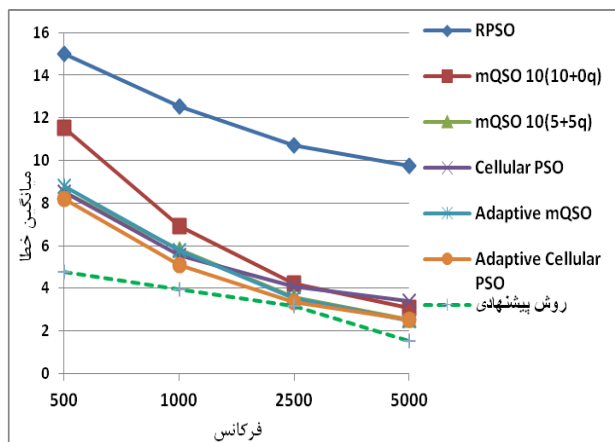
روش پیشنهادی	Adaptive Cellular PSO[۶]	Adaptive mQSO [۲]	Cellular PSO [۶]	mQSO $10(5+5^9)$ [۱]	mQSO $10(10+0^9)$ [۱]	RPSO[۷]	تعداد قله ها
۱	$0,87 \pm 0,06$	$1,09 \pm 0,09$	$2,54 \pm 0,16$	$3,82 \pm 0,35$	$5,17 \pm 0,43$	$0,56 \pm 0,04$	۱
۱۰	$1,91 \pm 0,12$	$1,85 \pm 0,08$	$1,76 \pm 0,13$	$1,91 \pm 0,08$	$2,81 \pm 0,13$	$12,98 \pm 0,48$	۱۰
۲۰	$2,26 \pm 0,09$	$2,18 \pm 0,09$	$2,59 \pm 0,10$	$2,56 \pm 0,10$	$3,22 \pm 0,12$	$12,79 \pm 0,54$	۲۰
۳۰	$2,25 \pm 0,07$	$2,36 \pm 0,06$	$2,95 \pm 0,12$	$2,68 \pm 0,10$	$3,29 \pm 0,11$	$12,35 \pm 0,62$	۳۰

$1,8434 \pm 0,048$	$2,41 \pm 0,07$	$2,42 \pm 0,07$	$3,11 \pm 0,10$	$2,65 \pm 0,08$	$3,24 \pm 0,10$	$11,37 \pm 0,41$	40
$1,6576 \pm 0,034$	$2,43 \pm 0,05$	$2,53 \pm 0,07$	$3,22 \pm 0,11$	$2,63 \pm 0,08$	$3,27 \pm 0,08$	$11,34 \pm 0,29$	50
$1,5342 \pm 0,027$	$2,53 \pm 0,05$	$2,50 \pm 0,04$	$3,39 \pm 0,10$	$2,52 \pm 0,06$	$3,08 \pm 0,07$	$9,73 \pm 0,28$	100
$1,4731 \pm 0,020$	$2,46 \pm 0,04$	$2,36 \pm 0,04$	$3,36 \pm 0,09$	$2,36 \pm 0,05$	$2,89 \pm 0,06$	$8,90 \pm 0,19$	200

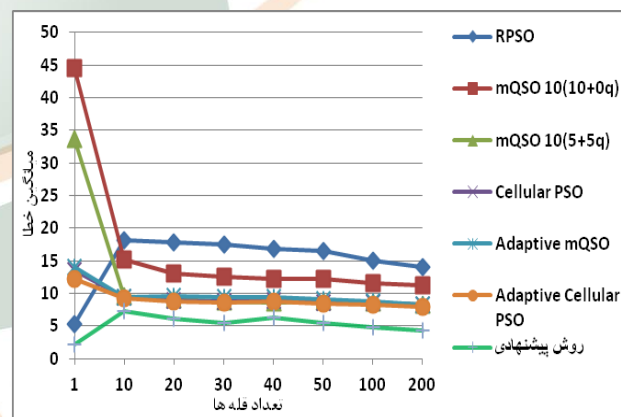
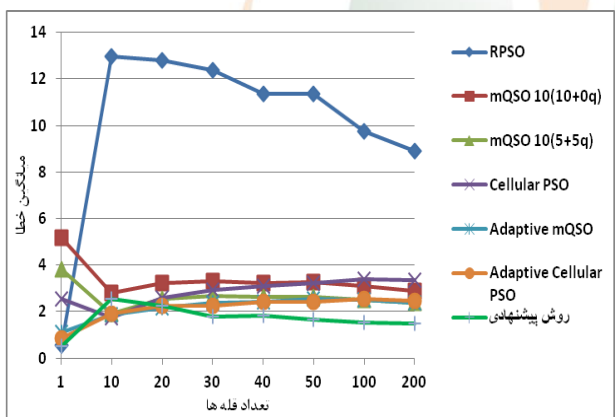


کنفرانس داده کاوی ایران

- به منظور مقایسه رفتار الگوریتم‌ها تغییرات در فرکانس‌های مختلف با تعداد قله‌های ۱۰ و ۱۰۰ صورت گرفته است و نتایج در شکل‌های (۵) و (۶) نمایش داده شده است با توجه به نمودارها مشخص گردیده که با کاهش فرکانس میانگین خطای همه روش‌ها کاهش می‌یابد و با افزایش تعداد قله‌ها میانگین خطای همه روش‌ها کاهش می‌یابد.
- روش پیشنهادی در تعداد قله‌های زیاد و فرکانس تغییر پایین تقریباً نتایج بهتری داشته و خطا را سریع کاهش می‌دهد.



- شکل (۵) نمودار میانگین خطا در فرکانس‌های تغییر مختلف با تعداد ۱۰ قله
- شکل (۶) نمودار میانگین خطا در فرکانس‌های تغییر مختلف با تعداد ۱۰۰ قله
- همانطور که در شکل (۷) و (۸) مشخص گردیده میانگین خطاهای الگوریتم‌ها با تعداد قله‌های متفاوت در دو فرکانس تغییر ۵۰۰ و ۵۰۰۰ ارزیابی نمایش داده شده است این نمودارها مشخص می‌کنند روش پیشنهادی حالت تک قله‌ای و چند قله‌ای نسبت به بقیه روش‌ها بهتر عمل می‌کند و میانگین خطا تقریباً از ۲۰ قله به بالا در فرکانس‌های متفاوت به یک حالت پایدار می‌رسد.



شکل (۷) نمودار میانگین خطا با تعداد قله‌های مختلف و فرکانس تغییر ۵۰۰

شکل (۸) نمودار میانگین خطا با تعداد قله‌های مختلف و فرکانس تغییر ۵۰۰۰

۵. نتیجه گیری

در این مقاله یک الگوریتم جدید جفت‌گیری زنبور عسل برای محیط‌های پویا ارائه شده است. در این الگوریتم از چندین ملکه استفاده شده است که با هم پرواز جفت‌گیری را شروع نمی‌کنند به این دلیل که یک ملکه به سمت یک قله همگرا شده و قادر به تغییر خود در بیشتر اوقات نمی‌باشد و همین مسئله موجب عدم تنوع در جمعیت و فریب جمعیت به سمت ملکه ای که در تغییر قبلی بهینه می‌باشد خواهد شد. این الگوریتم سعی در بدست آوردن مکان قله‌ها و ذخیره کردن آنها به عنوان ملکه و استفاده از ملکه‌ها در تغییرات بعدی دارد. به نوعی در این الگوریتم از یک حافظه صریح استفاده شده که سعی در حفظ تمامی بهینه‌ها و همچنین به روزرسانی آنها بعد از هر تغییر در محیط را دارد و این به روزرسانی کمک به حرکت ملکه به سمت نوک قله‌های تغییر داده شده در محیط، جلوگیری از قدیمی شدن آنها و استفاده از آنها در تغییرات بعدی خواهد نمود همچنین در این ایده افراد در یک ناحیه یکسان از محیط، برازش‌هایشان را به اشتراک می‌گذارند که در این صورت افراد در ناحیه کم جمعیت‌تر با افراد در ناحیه پرجمعیت‌تر به رقابت می‌پردازند و ملکه‌ها روی قله‌های مختلف پراکنده می‌شوند در این حالت یک تنوع مناسبی با ملکه‌هایی با شایستگی نسبتاً خوب پدید می‌آید که لازمه موفقیت در محیط‌های پویا می‌باشد. این الگوریتم در فرکانس‌های بالا به سرعت بهینه را یافته و خطا را کاهش می‌دهد در صورتیکه اکثر

الگوریتم‌ها در فرکانس‌های بالا دارای خطای زیادی هستند همچنین در این الگوریتم با توجه به اینکه همه ملکه در پرواز جفت‌گیری شرکت ندارند محاسبات کمتری نسبت به دیگر الگوریتم‌ها صورت می‌پذیرد.

۶. مراجع

- [۱] Blackwell, T.; Branke, J.; "Multiswarms, Exclusion, and Anti-Convergence in Dynamic Environments", IEEE Transactions on Evolutionary Computation, vol. ۱۰, no. ۴, pp. ۴۵۹-۴۷۲, ۲۰۰۶.
- [۲] Blackwell, T.; Branke, J.; Li, x.; "Particle Swarms for Dynamic Optimization Problems", in Swarm Intelligence, Natural Computing Series, vol. Part II, pp. ۱۹۳-۲۱۷, ۲۰۰۸.
- [۳] Branke, J.; "Memory Enhanced Evolutionary Algorithms for Changing Optimization Problems", in ۱۹۹۹ Congress on Evolutionary Computation, Washington D.C., USA, pp. ۱۸۷۵-۱۸۸۲, ۱۹۹۹.
- [۴] Branke, J.; Schmeck, H.; "Designing Evolutionary Algorithms for Dynamic Optimization Problems", in Advances in Evolutionary Computing: Theory and Applications, Springer-Verlag New York, pp. ۲۳۹-۲۶۲, ۲۰۰۳.
- [۵] Branke, J.; "Evolutionary optimization in dynamic environments", kluwer academic publishers, Edition ۱, ۲۰۰۰.
- [۶] Hashemi, A.B.; Meybodi, M.R.; "Cellular Pso: A Pso for Dynamic Environment", in to Be Appear in the ۴th International Symposium on Intelligence Computation and Applications (ISICA ۲۰۰۹), Huangshi, China, ۲۰۰۹.
- [۷] Hu, X.; Eberhart, R.C.; "Adaptive Particle Swarm Optimization: Detection and Response to Dynamic Systems", in IEEE Congress on Evolutionary Computation, Honolulu, HI, USA, pp. ۱۶۶۶-۱۶۷۰, ۲۰۰۲.
- [۸] Bozorg Haddad, O.; Afshar, A.; "MBO Algorithm, A New Heuristic Approach in Hydro systems Design and Operation", ۱st International Conference on Managing Rivers in the ۲۱st Century, pp. ۴۹۹-۵۰۴, ۲۰۰۴.
- [۹] Bozorg Haddad, O.; Afshar, A.; Mariano, M. A.; "Honey-Bees Mating Optimization (HBMO) Algorithm: A New Heuristic Approach for Water Resources Optimization", "Water Resources Management, ۲۰, pp. ۶۶۱-۶۸۰, ۲۰۰۶.
- [۱۰] Teo, J.; Abbass, H. A.; "A True Annealing Approach to the Marriage in Honey-Bees Optimization Algorithm", International Journal of Computational Intelligence and Applications, pp. ۱۹۹-۲۱۱, ۲۰۰۳.
- [۱۱] Abbass, H. A.; "MBO: Marriage in Honey Bees Optimization A Haplometrosis Polygynous Swarming Approach", CEC۲۰۰۱ Proceedings of the Congress on Evolutionary Computation, Seoul, Korea, pp. ۲۰۷-۲۱۴, ۲۰۰۱.
- [۱۲] Afshar, A.; Bozorg Haddad, O.; Marino, M.A.; Adams, B.J.; "Honey-Bee Mating Optimization (HBMO) Algorithm for Optimal Reservoir Operation", Journal of the Franklin Institute ۳۴۴, pp. ۴۵۲-۴۶۲, ۲۰۰۷.
- [۱۳] Fathian, M.; Amiri, B.; Maroosi, A.; "Application of Honey-Bee Mating Optimization Algorithm on Clustering", Applied Mathematics and Computation ۱۹۰, pp. ۱۵۰۳-۱۵۱۳, ۲۰۰۷.
- [۱۴] Karaboga, D.; Basturk, B.; "On the Performance of Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm", Journal of Soft computing, vol. ۸, pp. ۶۸۷-۶۹۷, ۲۰۰۸.
- [۱۵] Karaboga, D.; Basturk, B.; "Artificial Bee Colony (ABC) Optimization Algorithm for Solving constrained Optimization Problems", Department of Computer Engineering, University of Erciyes, Tech. Rep. No. ۲۰۰۷-۰۲, ۲۰۰۷.

^۱ Independent founding

^۲ queen

^۳ Swarming

^۴ Haplometrosis

^۵ Pleometrosis

^۶ Monogynous

^۷ Polygynous

^۸ Honey-bee Mating Optimization Algorithm(HBMO)

^۹ Offline Error

^{۱۰} Moving peaks

^{۱۱} Cone