سنجش از دور
و
GIS ایران

سنجش از دور و GIS ایران سال پنجم، شماره یکم، بهار ۱۳۹۲
Iranian Remote Sensing & GIS Vol.5, No.1, Spring 2013

۲۹-۵۰

ارزیابی و مقایسه عملکرد دو الگوریتم اجتماع ذرات گسسته ابداعی و زنبورها در بهینه‌سازی تخصیص مکان‌های اسکان موقت پس از زلزله

گلبرگ کامروز خدایار*[۱]، محمدسعدی مسگری[۲]، محمد کریمی[۳]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد GIS، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۲. دانشیار، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۳. استادیار، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۵/۱۴ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۱۰/۱۲

چکیده

اسکان موقت پس از زمین‌لرزه از مهم‌ترین موضوع‌ها در مدیریت بحران به شمار می‌آید، و انجام صحیح آن با کاهش گسترده تلفات جانی و مالی ناشی از پس‌لرزه‌ها همراه است. هدف از انجام این تحقیق ارزیابی توانایی و مقایسه عملکرد دو الگوریتم شاخص هوش جمعی با نام‌های الگوریتم زنبورها (Bess) و الگوریتم اجتماع ذرات (PSO) ـ در بهینه‌سازی تخصیص مکان‌های اسکان موقت است که یکی از موضوعات مهم مکانی به شمار می‌آید. در الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع ذرات از رفتار اجتماعی پرندگان الهام گرفته می‌شود. این الگوریتم مورد استفاده گسترده در مقوله‌های بهینه‌سازی پیوسته قرار گرفته است ولی در مقوله‌های گسسته چندان به آن توجه نشده است. در این تحقیق با بررسی نقاط ضعف و قوت نسخه‌های مختلف الگوریتم پرندگان گسسته (DPSO) موجود، نوع جدیدی از این الگوریتم ارائه شده است که در حل مسائل گسسته توانایی بالایی دارد. الگوریتم زنبور عسل از فرایند جست‌وجوی غذای زنبورها در طبیعت الهام گرفته است. این الگوریتم در پژوهش حاضر برای حل مسئله اسکان موقت شرح و بسط داده شد و در نهایت نتایج حاصل از هر دو الگوریتم مذکور، از داده‌های شبیه‌سازی‌شده و به منظور ارزیابی دقت عملکرد الگوریتم‌ها از داده‌های منطقه ۷ تهران به عنوان داده‌های واقعی استفاده شد. مقایسه اعداد همگرایی هر یک از دو الگوریتم در داده‌های واقعی، عملکرد بسیار بهتر الگوریتم ابداعی را در کمینه‌سازی تابع هدف مسئله نشان می‌دهد. در نهایت به منظور ارزیابی کیفیت و دقت الگوریتم از تست تکرارپذیری برای نتایج حاصل از اجرای هر الگوریتم روی داده‌ها استفاده شد. نتایج حاصل از این آزمون‌ها نمایانگر عملکرد دقیق هر یک از دو الگوریتم در بهینه‌سازی تخصیص افراد به مناطق امن است.

کلیدواژه‌ها: هوش جمعی، الگوریتم اجتماع ذرات گسسته ابداعی، الگوریتم زنبورها، اسکان موقت، روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP).

* نویسنده مکاتبه‌کننده: تهران، خیابان ولی‌عصر، تقاطع میرداماد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده نقشه‌برداری. تلفن: ۸۸۷۸۶۲۱۲
Email: Golbarg.kamrooz@yahoo.com

۱- مقدمه

زلزله از مهم‌ترین بلایای طبیعی است که با وقوع آن خسارت‌های مالی و جانی فراوانی رخ می‌دهد. به دلیل آسیب دیدن سرپناه‌ها در زلزله اصلی و خطرهای ناشی از پس‌لرزه‌ها، باید برای انتقال افراد از محل‌های آسیب‌دیده به محل‌های امن چاره اندیشید. با توجه به اینکه ایران کشوری لرزه‌خیز است، همواره می‌بایست به برنامه‌ریزی برای مواقع بحرانی اندیشید تا بتوان آمادگی لازم را برای رویارویی با بحران‌های اجتماعی داشت. با داشتن برنامه‌ای مشخص برای اسکان موقت می‌توان از تلفات جانی ناشی از پس‌لرزه‌ها به‌شدت کاست، زیرا ساختمان‌ها معمولاً در زلزله اصلی استحکام اولیه‌شان را از دست می‌دهند وگرچه ممکن است در زلزله اصلی تخریب نشوند ولی در پس‌لرزه‌ها تخریب خواهند شد و ممکن است به تلفات جانی بیشتری بینجامد. این در حالی است که با اسکان موقت افراد در مکان‌های امن می‌توان از این تلفات جلوگیری کرد. از آنجا که مهم‌ترین هدف مدیریت بحران حفظ جان افراد است، اهمیت موضوع اسکان موقت بر همگان آشکار است (Naghdi, 2010).

به نظر دور از ذهن می‌رسد که افراد بتوانند در شرایط آشفتهٔ پس از بحران، تصمیم‌گیری صحیح و بدون خطایی در مورد تشخیص و یافتن محل امن و مناسب اسکان خود و خانواده‌شان داشته باشند. از این رو بایستی قبل از وقوع بحران، افراد از وضعیت مکان‌های امن موجود و در دسترس‌شان باخبر باشند. همچنین بایستی در مورد نحوه دسترسی به این پناهگاه‌ها و مسیرهای بهینهٔ موجود میان محل سکونت خود و پناهگاه‌های مذکور، اطلاعات دقیق و مبسوطی داشته باشند تا در صورتی که از زلزله جان سالم به در بردند، برای حفظ جان‌شان از پس‌لرزه‌ها با ریزش‌های احتمالی ساختمان خسارت‌دیدهٔ محل سکونت‌شان، به این مکان‌ها پناه ببرند. از طرفی از آنجا که مکان‌های امن محدودیت ظرفیت دارند و توزیع آنها در سطح شهر نیز به صورت منظم و عادلانه نیست، لذا نمی‌توان بدون برنامه‌ریزی‌های حساب‌شده و هدفمند پیش از وقوع زلزله به استفادهٔ بهینه از این مکان‌ها دست یافت. متصدیان امر می‌بایست پیش از وقوع زلزله با برنامه‌ریزی‌های منسجم و سازمان‌یافته، با توجه به معیارهای موجود مکان امن، اسکان را برای افراد ساکن در بلوک‌های ساختمانی مشخص کنند و پس از دادن اطلاعات کامل در مورد مسیر بهینه و نحوه دسترسی به آن پناهگاه شرایط لازم را برای انجام مانورهای آمادگی تخلیه اضطراری قبل از وقوع زلزله و در شرایط بدون آشفتگی جامعه مهیا کنند. در مدل‌سازی‌ها و حل پروژه‌ها با GIS بسیار دیده می‌شود که به علت کمبود اطلاعات مدل‌سازی، پیچیده بودن آن، مقرون به صرفه نبودن یا به خاطر نداشتن ابزار ریاضی قوی مناسب برای مدل‌سازی و حل مسائل و تحلیل‌های مکانی با مسائل عدم قطعیت مواجه می‌شویم. از آنجا که روش‌های مختلف هوش مصنوعی ابزاری قوی و قابل استفاده برای انجام موارد به شمار می‌آیند، در GIS کاربرد فراوانی پیدا کرده‌اند، به طوری که هسته مرکزی و محاسباتی اکثر پروژه‌ها و کارهای مربوط به آنها از روش‌های مختلف هوش مصنوعی بهره می‌جویند (Vozenilek, 2009).

هوش جمعی[1] (SI) یک تکنیک هوش مصنوعی مبتنی بر بررسی رفتار جمعی در سیستم‌های غیرمتمرکز و خودسازمانده[2] است. این واژه را بنی و وانگ در مبحث سیستم‌های رباتی سلولی[3] مطرح کردند (Beni & Wang, 1989). در کاربردهای محاسباتی هوش جمعی، از موجوداتی مانند مورچه‌ها، زنبورها، موریانه‌ها، دسته‌های ماهیان و دسته پرندگان الگوبرداری می‌شود. در این نوع اجتماعات هر یک از موجودات ساختار نسبتاً ساده‌ای دارند ولی رفتار جمعی‌شان بسیار پیچیده است. از مزایای هوش جمعی می‌توان به مقیاس‌پذیری[4]، خطاپذیری[5]، نبود کنترل

1. Swarm Intelligence
2. Self-Organizing
3. Cellular Robotic Systems
4. Scalability
5. Fault tolerance

متمرکز، قابلیت تطبیق‌پذیری عامل‌ها، خودکار بودن سیستم و کارکرد موازی اشاره کرد. از انواع الگوریتم‌های رایج هوش جمعی، الگوریتم مورچه[1] (ACO) (Dorigo, 1992)، الگوریتم اجتماع ذرات[2] (PSO) (Kennedy, Eberhart, 1995) و الگوریتم زنبور (که خود شامل الگوریتم‌های مختلف است) شناخته‌شده‌ترند. در تحقیق حاضر، دو الگوریتم اجتماع ذرات و زنبورها به منظور بهینه‌سازی مسئله اسکان موقت پس از زلزله- که از مسائل گسسته و البته پیچیده مکانی است- مورد استفاده قرار گرفتند. شایان ذکر است که نسخه کلاسیک الگوریتم PSO توانایی حل مسائل گسسته را ندارد، زیرا مفاهیم آن تنها برای فضای پیوسته تعریف شده است (Consoli, et al., 2009).

نویسندگان مقاله حاضر، پس از بررسی نسخه‌های گسسته این الگوریتم که اخیراً ابداع شده‌اند، الگوریتم جدیدی از[3] (DPSO) را ابداع کردند و الگوریتم زنبور را نیز برای حل مسئله بهینه‌سازی مورد بررسی، شرح و بسط دادند. در نهایت نتایج حاصل از دو الگوریتم مورد ارزیابی قرار گرفت و با یکدیگر مقایسه شد. در این تحقیق پس از بیان پیشینه تحقیق و نظریه‌های مورد نیاز، به تشریح الگوریتم زنبور توسعه‌یافته و الگوریتم اجتماع ذرات گسستهٔ پیشنهادی پرداخته شد. سپس نحوه پیاده‌سازی دو الگوریتم مذکور روی دو دستهٔ دادهٔ شبیه‌سازی‌شده و واقعی، به‌طور مجزا و مفصل تفسیر گردید. در پایان نتایج کار برای هر دو سری داده ارائه شد. به منظور ارزیابی دقت عملکرد الگوریتم‌ها از دست تکرارپذیری بهره گرفته شده و نتایج حاصل از آن نیز نمایش داده شده است.

۲- پیشینه تحقیق

فیدریچ و همکاران (Fiedrich et al., 2000) به منظور تخصیص منابع، مدل بهینه‌سازی دینامیک را برای پاسخگویی سریع و انجام مدیریت بحران بعد از زلزله ارائه کردند. آنها با استفاده از سیستم حامی تصمیم‌گیری[4] (DSS) و تلفیق آن با ابزارهای ریاضی و الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده[5] (SA) مسئله را بهینه‌سازی کردند. کنگسومساکساکول و همکاران (Kongosmsaksakul et al., 2005) به مکان‌یابی بهینه پناهگاه‌ها به منظور انتقال افراد در معرض خطر سیل پرداختند. هدف تحقیق آنها کمینه‌سازی کل زمان انتقال افراد است و در نهایت نیز افراد شخصاً پناهگاه و مسیر رسیدن به آنها را انتخاب می‌کنند. این مسئله به صورت برنامه‌ای دوسطحی مدل شده است که سطح بالای آن برای انجام مکان‌یابی است و به‌وسیله الگوریتم ژنتیک انجام می‌شود و در سطح پایین نیز مدل‌سازی تصمیم‌گیری افراد انجام می‌گیرد.

سعادت‌سرشت و همکاران (SaadatSersht et al., 2009) از روش بهینه‌سازی تکاملی چندگانه NSGA-II برای بهینه‌سازی اسکان موقت استفاده کردند. در این روش گروه‌بندی بلوک‌های ساختمانی مربوط به هر مکان امن با استفاده از بهینه سازی تکاملی چندگانه براساس مفهوم جبهه پرتو صورت می‌گیرد. در تحقیق نقدی (Naghdi, 2010) نخستین گام اسکان موقت، یعنی تعیین مکان‌های امن، به صورت فرضی انجام شد و در گام دوم برای سهولت کار به جای استفاده از مسیر شبکه، مسیر اقلیدسی به کار گرفته شد، در گام سوم نیز بهینه‌سازی تخصیص بلوک‌های ساختمانی به‌وسیله الگوریتم اجتماع ذرات (PSO) کلاسیک صورت گرفت.

صمدزادگان و یادگاری (Samadzadegan & Yadegari, 2010) با استفاده از روشی مبتنی بر بهینه‌سازی کلونی زنبورها (BCO) به بهینه‌سازی توزیع اسکان شهروندان مناطق شهری در مکان‌های امن پرداختند، که استراتژی، مدل‌سازی و الگوریتم به کار رفته در تحقیق پیش رو کاملاً متفاوت از تحقیق

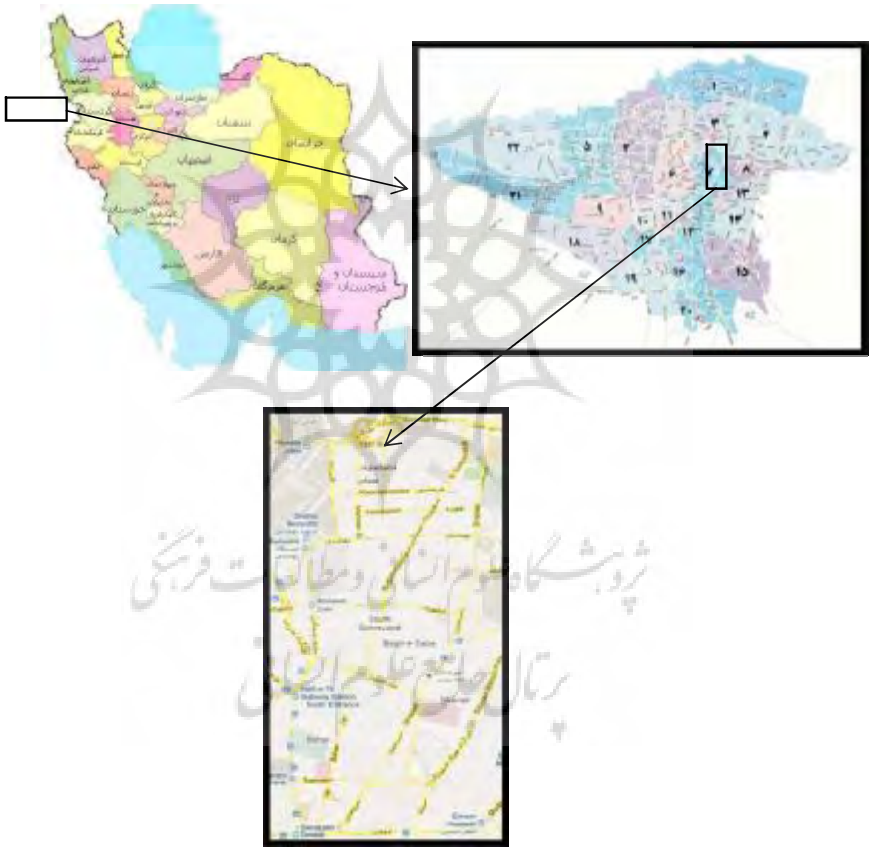
1. Ant Colony Optimization
2. Particle Swarm Optimization
3. Discrete Particle Swarm Optimization
4. Dicision Support System
5. Simulated Anealing

آنهاست. هر دو روش بـه کـار گرفتـه شـده در تحقیـق حاضر ـ که شامل بهینه‌سازی به‌وسیله الگوریتم Bees و DPSO می‌گردد ـ ابداعی نویسندگان این تحقیق اسـت و برای نخستین بار به کار گرفته شده‌اند.

۳- داده‌ها و روش‌ها

۳-۱- معرفـی منطقـه مطالعـاتی و بیـان نحـوه آماده‌سازی داده‌ها

در پـژوهش حاضـر بـه منظـور ارزیـابی عملکـرد الگوریتم‌های کالیبره‌شدهٔ پیشنهادی، از داده‌های واقعی استفاده شده است. برمبنای بررسی‌های صورت‌گرفته در مرحله پـیش‌پـردازش، قـسمتی از ناحیـه ۷ شـهرداری تهران به‌عنوان منطقه مناسب بـرای مطالعـه تـشخیص داده شد. این ناحیهٔ مستطیل‌شکل که از جنوب محدود به خیابـان انقـلاب و از شـمال محـدود بـه قـسمتی از بزرگراه رسـالت اسـت، در شـکل ۱ نمـایش داده شـده است.



شکل ۱. نمایش ناحیه مطالعاتی

پژوهشگران برای سهولت فرض کرده‌اند که مدارس منطقه دارای شرایط لازم مکان امن هستند، بنابراین لایه مدارس نیز به لایه بلوک‌های ساختمانی منطقه اضافه شد. در این منطقه تعداد ۳۰۳ بلوک ساختمانی با مجموع جمعیت ۶۰۴۲۸ نفر و ۱۲ مکان امن با مجموع ظرفیت ۵۹۹۱۰ نفر وجود دارند. در این حالت بعضی از مکان‌های امن دچار سرریز خواهند شد که در نتیجهٔ آن تعدادی از بلوک‌ها را نمی‌توان به هیچ مکان امنی اختصاص داد. لایه‌های مورد نیاز فراهم شد و آماده‌سازی داده‌ها طی مراحلی در نرم‌افزار ArcGIS 10 انجام گرفت. در شکل ۲ (الف) لایه راه‌های منطقه شامل خیابان‌های اصلی و فرعی نمایش داده شده است. در شکل‌های ۲ (ب) و ۲ (پ) به ترتیب نقاط با علامت + نشان‌دهنده مراکز ثقل مکان‌های امن منتخب منطقه و نقاط با علامت * نشان دهندهٔ مراکز ثقل بلوک‌های مسکونی منطقه هستند. شکل ۲ (ت) نیز نمایش تلفیق تمامی لایه‌های مورد نیاز برای پیاده‌سازی الگوریتم‌های روی آنهاست.

۳-۲- فرایند اسکان موقت

اجرای اقدامات اسکان موقت پس از زلزله دارای اهمیت فراوانی است، به طوری که با انجام صحیح آن از تلفات فراوان ناشی از پس‌لرزه‌ها جلوگیری می‌شود یا تا حد زیادی از آن‌ها کاسته می‌شود (Georgiadou, 2007). فرآیند اسکان موقت شامل سه مرحله اصلی تعیین مناطق امن، تعیین مسیرهای بهینهٔ تخلیه اضطراری و تخصیص بهینه بلوک‌های ساختمانی به هر یک از مناطق امن است. در ادامه هر یک از گام‌ها به اختصار تشریح می‌شوند (SaadatSeresht et al., 2009):

گام نخست: تعیین مکان‌های امن برای اسکان موقت

در این گام با استفاده از اطلاعات موجود و در دسترس (نقشه‌ها، عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای و مانند اینها)، می‌توان مکان‌هایی را که دارای شرایط منطقه امن هستند، استخراج کرد.

گام دوم: تعیین مسیر بهینه میان بلوک‌های ساختمانی و مناطق امن

در این گام مینیمم کردن جابه‌جایی جمعیتی مدنظر است که پس از وقوع زلزله از بلوک‌های ساختمانی به سمت مراکز امن حرکت می‌کنند، بنابراین باید بهترین مسیر میان بلوک ساختمانی و هر مکان امن پیدا شود.

شکل ۲. از راست به چپ به ترتیب (الف) شبکه راه‌های منطقه، (ب) نمایش مراکز ثقل مکان‌های امن منطقه، (پ) نمایش مراکز ثقل بلوک‌های ساختمانی منطقه، (ت) نقشه کامل منطقه

گام سوم: تخصیص بهینه بلوک‌های ساختمانی به مناطق امن

هدف این گام گروه‌بندی بلوک‌های ساختمانی برای هر مکان امن است، به گونه‌ای که دو شرط رعایت گردد:

الف) جابه‌جایی جمعیت از بلوک‌های ساختمانی به مکان‌های امن باید حداقل باشد تا افراد با حداکثر سرعت و حداقل تلفات در مکان‌های امن اسکان موقت یابند؛ و

ب) مکان‌های امن به طور نسبی اضافه یا کمبود جمعیت نداشته باشند.

دو شرط فوق به صورت دو تابع هدف به شکل (۱) و (۲) بیان می‌گردند:

رابطه (۱)

$$V = \sum_j \sum_i d_{ij} p_{ij} \Rightarrow \min$$

رابطه (۲)

$$U = \sum_j \left| \frac{\Sigma_i p_{ij}}{C_j} - 1 \right| \Rightarrow \min$$

که در آن d_{ij} فاصله بین بلوک مسکونی iام تا مکان امن jام است و P_{ij} جمعیت مربوط به بلوک مسکونی iام است که بایستی به مکان امن jام بروند و C_j ظرفیت مکان امن jام است. در تخصیص بلوک‌های ساختمانی موجود به مکان‌های امن باید علاوه بر ظرفیت محدود آنها برای اسکان موقت، نزدیکی محل اسکان موقت افراد آسیب‌دیده به مناطق سکونت‌شان و کوتاهی مسیر و زمان این انتقال را نیز در نظر داشت، لذا چندین هدف باید در برنامه‌ریزی اسکان موقت مورد نظر قرار گیرند و در بهینه‌سازی اعمال شوند. بنابراین برنامه‌ریزی برای این امر مستلزم بهره‌گیری از الگوریتم‌های بهینه‌سازی چندمعیاره به‌منظور برآورد اهداف مطرح در فرایند است. تخصیص منابع معمولاً عملی دشوار است و اغلب روش‌های به‌کاررفته در آن ماهیتی ابتکاری دارند. با اینکه روش‌های ساده‌ای برای این منظور در محیط‌های سامانه‌های اطلاعات مکانی پیش‌بینی شده است که اغلب از آنالیز شبکه استفاده می‌کنند، اما تخصیص منابع با در نظر گرفتن پارامترهای مختلف معمولاً نیازمند استفاده از روش‌های ابتکاری یا فرابتکاری است.

۳-۳- الگوریتم زنبور

در دهه اخیر الگوریتم‌های فراوانی از رفتار زنبورها الهام گرفته شده است که در هر کدام از آنها مفاهیم متفاوتی برای ایجاد الگوریتم به کار رفته است. به‌طور کلی می‌توان رفتارهایی از زنبورها را که با الهام از آنها الگوریتم‌هایی ارائه شده است به سه دسته تقسیم کرد: جفت‌گیری زنبورها (Abbass H.A., 2001)، گرده‌افشانی زنبورها (Kazemian M., et al. 2006) و رفتار زنبورها در جمع‌آوری غذا برای کندو که بسیار مورد توجه قرار گرفته و در سال‌های اخیر الگوریتم‌های متنوعی با الهام از این رفتار ارائه شده است (Teodorovic D., et al. 2006; Karaboga D., 2005; Pham D., et al. 2005; Quijano N., et al. 2007; Lemmens N., et al. Lemmens N., et al. 2007; 2008).

از مهم‌ترین الگوریتم‌هایی که از رفتار زنبورها در جمع‌آوری غذا الهام گرفته شده است می‌توان به الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی (ABC)[1] که کارابوگا ارائه کرده است، اشاره کرد (Karaboga D., 2005). در این الگوریتم منابع غذایی به عنوان راه حل مسئله در نظر گرفته می‌شوند و مقدار شهد موجود در آنها معادل کیفیت راه‌حل متناظر خواهد بود. در آغاز این الگوریتم، جمعیت اولیه به صورت اتفاقی ایجاد می‌گردد و زنبورها به صورت اتفاقی روی موقعیت‌های مختلف قرار می‌گیرند. این زنبورها با جست‌وجوی محلی به اصلاح و پیشرفت موقعیتی که در آن قرار دارند، می‌پردازند. زمانی که فرایند جست‌وجو برای همه زنبورها به پایان می‌رسد، اطلاعات حاصل را با دیگران به اشتراک می‌گذارند. زنبورهایی که قصد دارند منبع غذایی را

1. Artificial Bee Colony

انتخاب کنند، به مشاهده اطلاعات به اشتراک گذاشته‌شده می‌پردازند و انتخاب را انجام می‌دهند. اگر یک راه‌حل برای تعداد مشخصی تکرار پیشرفتی پیدا نکند، زنبورها آن را رها می‌کنند و راه‌حل جدیدی جایگزین آن خواهد کرد (Samadzadegan & Yadegari, 2010). الگوریتم پرکاربرد دیگری که از رفتار زنبورها در جمع‌آوری غذا الهام گرفته شده، الگوریتم زنبورها[1] است که فام و همکارانش آن را ارائه کرده‌اند. (Pham D. et al., 2005). این الگوریتم نوعی از جست‌وجوی محلی را با جست‌وجوی اتفاقی ترکیب می‌کند. در آغاز الگوریتم، تعداد مشخصی از زنبورها به جست‌وجوی فضای مسئله می‌پردازند و راه‌حل‌هایی را ایجاد می‌کنند. در ادامه، کیفیت راه‌حل‌ها برآورد می‌شود و تعداد مشخصی از بهترین زنبورها انتخاب می‌شوند و به‌منظور بهبود، زنبورهای بیشتری به راه حل‌های آنها اختصاص می‌یابد. از بین تمام این زنبورها بهترین آنها به همراه زنبورهایی که به صورت اتفاقی راه‌حل‌های جدیدی را ایجاد می‌کنند، نسل‌های بعدی را تشکیل می‌دهند (Samadzadegan & Yadegari, 2010).

تدرویچ و همکارانش الگوریتم بهینه‌سازی کلونی زنبور[2] را ارائه کردند (Teodorovic et al., 2006). الگوریتم ارائه‌شده از دو مرحله تناوبی شامل مرحله پیش رونده[3] تشکیل شده است. در هر مرحله پیش رونده، هر زنبور به جست‌وجوی فضای مسئله می‌پردازد و شروع به ایجاد راه‌حل مربوط به خود می‌کند و یا آن را پیش می‌برد که در نهایت به ایجاد راه‌حل نهایی می‌انجامد. زمانی که قسمتی از راه حل پیش می‌رود، زنبور به کندو بازمی‌گردد و مرحله دوم یا مرحله پس‌رونده را آغاز می‌کند. در این مرحله همه زنبورها اطلاعات‌شان را درباره راه‌حل‌های خود به اشتراک می‌گذارند. در مرحله پس رونده هر زنبور با توجه به کیفیت راه‌حل خود تصمیم می‌گیرد که آن را رها کند و یا با انجام رقص، بقیه زنبورها را نیز برای ادامه کار با خود همراه کند. هر چه کیفیت راه‌حل ارائه‌شده بهتر باشد احتمال ادامه و انتخاب آن به‌وسیله بقیه زنبورها بیشتر می‌شود. زنبوری که راه‌حل خود را رها می‌کند، با مشاهده رقص بقیه زنبورها یکی از آنها را انتخاب می‌کند. در ادامه و در مرحله پیش‌رونده، زنبورها با اضافه کردن تعداد مشخصی راه‌حل جزئی به راه‌حل‌های قبلی ادامه می‌دهند و دوباره مرحله پس‌رونده را انجام می‌دهند. این مراحل تا زمانی که شرایط پایان الگوریتم برآورده شود، ادامه می‌یابد (Samadzadegan & Yadegari, 2010).

۳-۴- الگوریتم اجتماع ذرات کلاسیک

ذره‌ها به تنهایی توانایی حل هیچ مسئله‌ای را ندارند و پیشرفت تنها زمانی حاصل می‌شود که هر ذره با ذره‌های دیگر در تعامل قرار می‌گیرد. حل مسئله در سراسر جمعیت صورت می‌گیرد و این کار با استفاده از رفتار هر یک از ذره‌ها در تعامل با ذره‌های دیگر انجام می‌شود. این الگوریتم با دو معادله سرعت و موقعیت تعیین می‌شود، که با رابطه‌های (۳) و (۴) نشان داده می‌شوند (Clerc, 2006).

رابطه (۳)

$$V_{t+1} = C_1V_t + C_2r_1(pbest_t - X_t) + C_3r_2(gbest_t - X_t)$$

در رابطه (۳) $pbest_t$ بهترین موقعیتی است که ذره تا کنون داشته و $gbest_t$ موقعیت بهترین ذره در سراسر اجتماع است. همچنین C_t وزن اولیه و C_2 و C_3 ثابت‌های شتاب و r_1 و r_2 مقادیری اتفاقی در بازه صفر و یک و بهترین موقعیتی است که خود ذره تا کنون داشته است. چنانچه X_t به عنوان موقعیت ذره‌ای در فضای جست‌وجو در مرحله زمانی t در نظر گرفته شود، موقعیت هر ذره به وسیله اضافه کردن سرعت به موقعیت کنونی آن، روز آمد می‌شود. رابطه (۴) معادله به‌روزرسانی موقعیت را نمایش می‌دهد.

1. Bees Algorithm
2. Bee Colony Optimization (BCO)
3. Forward pass
4. Back ward pass

رابطه (۴)

$$X_{t+1} = X_t + V_{t+1}$$

فرآیند بهینه‌سازی به‌وسیله بردار سرعت انجام می‌گیرد. بردار سرعت، اطلاعات تجربی خود ذره و اطلاعات مبادله‌شدهٔ اجتماعی ناشی از همسایگان ذره را منعکس می‌کند. اطلاعات تجربی ذره به عنوان جزء شخصی[1] قلمداد می‌شود که شامل فاصله ذره از بهترین موقعیتی است که ذره تاکنون داشته است (Clerc, 2006). اطلاعات اجتماعی مبادله‌شده هم به عنوان جزء اجتماعی[2] در معادله سرعت شناخته می‌شود.

در PSO کلاسیک، کدگذاری به هر صورتی که باشد ـ به علت نحوه محاسبه سرعت در آن ـ رشته خروجی به صورت آرایه‌ای است که می‌تواند اعداد حقیقی را نیز در برگیرد. بنابراین در صورتی که کدگذاری مسئله به صورت آرایه‌ای شامل اعداد طبیعی (حاصل برچسب‌گذاری نقاط موجود در مسئله) باشد، لازم است رشته خروجی نیز اعداد طبیعی را دربرگیرد تا مفهوم برچسب‌گذاری اولیه از بین نرود و بتوان رشته خروجی حاصل‌شده از الگوریتم را به زبان مسئله ترجمه کرد و جواب دلخواه را به‌دست آورد. در نتیجه PSO کلاسیک نمی‌تواند پاسخگوی مسائلی باشد که در آنها رشته خروجی تنها می‌بایست شامل اعداد طبیعی باشد. درواقع این دسته از مسائل نه با روش PSO کلاسیک حل می‌شوند و نه PSO باینری می‌تواند در حل مناسب آنها به پژوهشگران کمک کند. این در حالی است که بسیاری از مسائل را می‌توان با این روش کدگذاری بسیار ساده‌تر از پیش حل کرد.

۳-۵- الگوریتم اجتماع ذرات گسسته (DPSO)

الگوریتم PSO کلاسیک تنها می‌تواند مسائلی را بهینه کند که در آنها مؤلفه‌های مسئله اعداد حقیقی پیوسته هستند، زیرا به گفته ابداع‌کنندگان PSO ذرات را نمی‌توان به منظور پرواز در یک فضای گسسته پرتاب کرد (Kennedy & Eberhart, 1995). در سال‌های اخیر تغییراتی در الگوریتم PSO ایجاد شد تا توانایی حل مسائل دارای متغیرهای گسسته را پیدا کند. کندی و ابرهارت این الگوریتم جدید را DPSO نامیدند (Kennedy & Eberhart, 1997). آنها در سال ۱۹۹۷ نخستین DPSO را که نوعی PSO باینری بود و مؤلفه‌های مسئله آن تنها شامل صفر یا یک می‌شد، ابداع کردند. در این روش موقعیت هر ذره یک بردار d- بعدی باینری است. سرعت نیز بردار d- بعدی از فضای پیوسته است و به‌وسیله فرمول اصلی PSO کلاسیک (رابطه ۳) بهنگام می‌شود. برای نشان دادن احتمال اینکه مؤلفه متناظر مقدار صفر یا یک را در نظر بگیرد، مفهوم رابطه سرعت تغییر کرده است. پارامتر سرعت v در اینجا احتمال تغییر مقدار صفر به یک و یا یک به صفر برای موقعی است که موقعیت ذره روزآمد می‌شود. از آنجا که مقادیر V عضو اعداد حقیقی هستند، لازم است به فضای احتمال در محدوده صفر و یک تصویر شوند. کندی و ابرهارت برای این کار از تابع سیگموئید[3] به صورت رابطه (۵) استفاده کردند.

رابطه (۵)

$$\mathrm{sig}(v) = \frac{1}{1+e^{-v}} \in [0,1]$$

الکاظمی و موهان (Al-kazemi & Mohan, 2002) روشی را ابداع کردند که مبتنی بر الگوریتم DPSO کندی و ابرهارت بود. یانگ و همکاران (Yang et al., 2004) استراتژی مشابه روش الکاظمی را ابداع کردند. این الگوریتم‌ها تنها به مسائل گسسته با مؤلفه‌هایی با مقادیر باینری محدود می‌شوند. کورآ و همکارانش (Correa et al., 2006) برای حل مسئله انتخاب ویژگی در داده‌کاوی، به منظور دسته‌بندی مجموعه داده‌ها به کلاس‌های با خصوصیات مشابه، الگوریتم DPSO جدیدی را پیشنهاد کردند. اگرچه DPSO جدید اثربخشی حل مسائل انتخاب ویژگی را بهبود بخشیده

1. Cognitive
2. Social
3. Sigmoid function

است، اما پیاده‌سازی پیچیده آن موجب سختی استفاده از آن برای حل سایر مسائل گسسته می‌شود. نسخه‌های DPSO پیشنهادی برای مسائلی که دارای جایگشت هستند، مانند مسئله مشهور فروشنده دوره‌گرد[1](TSP)، در تحقیقات یانگ و همکاران (Yang et al., 2004) و سکرست (Secrest, 2001) به کار برده شده است.

۳-۶- الگوریتم DPSO ابداعی

در این الگوریتم از مفهوم اصلی بهنگام‌سازی سرعت استفاده شده است. سرعت بهنگام‌شده (V_{t+1}) طبق رابطه (۶) حاصل برآیند سه ترم C_1V_t و $C_2(pbest_t - X_t)$ و $C_3(gbest_t - X_t)$ است، که در بعضی مسائل به صورت جمع برداری و در بعضی دیگر به صورت جمع جبری پدیدار گشته است. در الگوریتم پیشنهادی عملگر ضرب تعریف جدیدی دارد.

رابطه (۶)

$$V_{t+1}=C_1\otimes V_t+C_2\otimes(pbest_t-X_t)+C_3\otimes(gbest_t-X_t)$$

V_{t+1}: سرعت جدید ذره برای نسل بعد

V_t: سرعت جاری ذره

C_1: درصد تأثیر V_t در ایجاد یک وضعیت تخصیص جدید (بهنگام‌سازی جواب)

C_2: درصد تأثیر $(pbest_t - X_t)$ در ایجاد یک جواب جدید (بهنگام‌سازی جواب)

C_3: درصد تأثیر $(gbest_t - X_t)$ در ایجاد یک جواب جدید (بهنگام‌سازی جواب)

$\otimes$: عملگر ضرب هر درایه یک آرایه در درایه نظیرش در آرایه دیگر

$gbest_t$: بهترین موقعیت سراسری

$pbest_t$: بهترین موقعیت شخصی

در روش پیشنهادی ابتدا سه آرایه به طول ذره اولیه ساخته می‌شود. در ارایه یکم که مربوط به ترم نخست معادله سرعت، یعنی C_1V_1 است به تعداد C_1، به طور تصادفی عدد یک چیده می‌شود و بقیه درایه‌ها صفر قرار داده می‌شوند. مشابه همین عمل برای C_2 و C_3 نیز انجام می‌شود؛ یعنی آرایه مربوط به C_2 و C_3 به تعداد C_2 و C_3 به ترتیب به صورت تصادفی با یک پر می‌شوند و بقیه درایه‌ها صفر قرار داده می‌شوند. بنابراین بایستی مجموع تعداد C_1 و C_2 و C_3 برابر طول ذره باشد. با استفاده از مقادیر محاسبه‌شدهٔ pbest و gbest دو عبارت و (gbestt - Xt) محاسبه می‌گردند که حاصل دو آرایه به طول ذره اولیه است. سپس با ضرب درایه به درایه C1و C2 و C3 به ترتیب در (Vt، pbestt - Xt) و (gbestt - Xt) هر سه ترم معادله سرعت ساخته می‌شوند و با جمع جبری آنها سرعت بهنگام شده حاصل می‌گردد.

در روش مذکور برای محاسبه سرعت در مقایسه با روش PSO کلاسیک، میزان تصادفی بودن جست‌وجو بالا می‌رود و از سوی دیگر در آرایه‌ها عدد اعشاری موجود نیست و فقط اعداد صحیح هستند که نیازی به گرد کردن ندارند و بدین ترتیب کار از حالت ابهام خارج می‌گردد و به واقعیت نزدیک‌تر می‌شود. پس از محاسبه V بهنگام‌سازی تخصیص‌ها از طریق رابطه اصلی بهنگام‌سازی سرعت الگوریتم اجتماعی ذرات کلاسیک (رابطه ۳) صورت می‌گیرد. در نهایت ذره‌ای که به دست می‌آید، آرایه‌ای است به طول ذره اولیه که می‌تواند اعداد صحیح را نیز دربر گیرد. اما همان‌گونه که گفته شد، برای پذیرفتن یک راه‌حل تخصیص به عنوان خروجی بایستی اعداد آرایهٔ به‌دست‌آمده عضو مجموعه شماره مکان‌های امن باشد. برای حل این مشکل در صورت مشاهده اعداد خارج از مجموعه شماره مکان‌های امن، آن عدد به صورت تصادفی با یکی از اعداد مجموعه مذکور جایگزین می‌شود و در صورتی که اعداد هر کدام از درایه‌ها در مجموعه مجاز قرار بگیرند اما طبیعی نباشند اقدام به گرد کردن آنها می‌شود. در این حالت خروجی کار در هر تکرار یک تخصیص ارائه می‌دهد و به تکرار بعدی می‌رود. این مراحل تا جایی تکرار می‌گردد که شرط توقف ارضا

1. Travelliing Salesman Problem

شود. نتایج حاصل از الگوریتم PSO ابداعی در بخش نتایج ارائه شده است. C_1 میزان اعتماد ذره به جست‌وجوی «خود» و C_2 میزان اعتماد ذره به بهترین ذره «همسایگی خود» را نمایش می‌دهد؛ و C_3 نیز بیانگر میزان اعتماد ذره به «وضعیت سراسری» است.

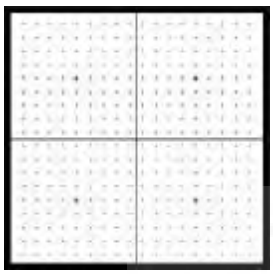
۴- پیاده‌سازی

همان‌طور که در بخش ۳-۲ تشریح شد، فرآیند اسکان موقت دارای سه گام اصلی است که هدف اصلی تحقیق پیش رو، بهینه‌سازی گام سوم آن یعنی تخصیص بلوک‌های ساختمانی به مکان‌های امن به کمک الگوریتم اجتماع ذرات گسسته ابداعی و الگوریتم زنبور توسعه‌یافته برای حل مسئله مذکور است. برای این منظور ابتدا گام‌های اول و دوم به منظور تولید ورودی‌های الگوریتم در گام سوم برداشته می‌شود و پس از آن به گام سوم که هدف اصلی تحقیق است پرداخته می‌شود. به منظور ارزیابی عملکرد دو الگوریتم گفته شده، به دو دسته داده نیاز است. دسته نخست داده‌های شبیه‌سازی‌شده که به منظور کالیبره کردن کد نوشته‌شده به کار می‌رود و دسته دوم داده‌های واقعی که برای ارزیابی عملکرد الگوریتم کالیبره‌شده، مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در ادامه نحوه انجام هر یک از سه گام روی دو دسته داده به صورت جداگانه تشریح می‌گردد.

۴-۱- اجرای مراحل اسکان موقت روی داده‌های شبیه‌سازی‌شده

گام یکم: تعیین مکان‌های امن برای اسکان موقت

در تولید این دسته از داده‌ها فرض شده است که ۳۲۰ بلوک ساختمانی با مجموع جمعیت ۱۲۸۰۰ نفر و چهار مکان امن با مجموع ظرفیت ۱۲۸۰۰ نفر در منطقه وجود دارد؛ به گونه‌ای که جمعیت همه بلوک‌های ساختمانی با یکدیگر برابر و ظرفیت همه مکان‌های امن نیز مساوی است. به‌دلیل وابستگی مستقیم روند بهینه‌سازی به توزیع مکان‌های امن و بلوک‌های ساختمانی در منطقه، در این دسته از داده‌ها توزیع بلوک‌های ساختمانی و مکان‌های امن کاملاً منظم و بر روی شبکه‌ای با فواصل مشخص در نظر گرفته شده است. شکل ۳ این دسته از داده‌ها را نمایش می‌دهد، که در آن نقاط با علامت + نماد مکان‌های امن و نقاط با علامت • نماد بلوک‌های ساختمانی است.



شکل ۳. نمایش داده‌های شبیه‌سازی‌شده

گام دوم: تعیین مسیر بهینه میان بلوک‌های ساختمانی و مناطق امن

در این گام بایستی بهترین مسیر میان هر بلوک ساختمانی و هر مکان امن محاسبه گردد. از آنجا که این دسته از داده‌ها شبیه‌سازی‌شده هستند و به طور واقعی شبکه راهی در منطقه موجود نیست، برای محاسبه فواصل میان بلوک‌های ساختمانی و مکان‌های امن در این دسته از داده‌ها بایستی از فواصل اقلیدسی استفاده کرد. در این مرحله کوتاه‌ترین مسیر مستقیم میان هر بلوک ساختمانی و هر مکان امن محاسبه می‌گردد و به عنوان مسیر بهینه گزارش می‌شود.

گام سوم: تخصیص بهینه بلوک‌های ساختمانی به مناطق امن

هدف از انجام این گام بهینه کردن هم‌زمان دو تابع گنجایش (U) و هزینه (V) است، بنابراین در این مرحله یک مسئله بهینه‌سازی چندمعیاره پیش روست که برای حل آن ابتدا باید مسئله تخصیص چندهدفه را به مسئله‌ای تک‌هدفه تبدیل کرد. برای محاسبه وزن، روش‌های مختلفی وجود دارد که در اینجا وزن توابع معیار از طریق روش AHP محاسبه شده است. در بدو

امر نیاز به نظر افراد خبره و متخصصان امر در مورد مسئله تخصیص داریم. در تحقیق حاضر از نظر ۶ فرد خبره برای ارزش‌گذاری دو تابع معیار استفاده شده است. در ارزش‌گذاری‌های صورت‌گرفته مشاهده شد که کارشناسان به معیار فاصله اهمیت بیشتری داده‌اند. وزن دو معیار هزینه (V) و گنجایش (U) به ترتیب ۰/۸۵ و ۰/۱۵ به دست آمد. توجیه دقت وزن‌های به‌دست‌آمده این است که بنا به تجربه نیز پس از وقوع حادثه عموم افراد ترجیح می‌دهند در مکان‌هایی نزدیک به مکان اولیه زندگی‌شان اسکان یابند، بنابراین طبیعی است که به معیار فاصله بیش از معیار گنجایش اهمیت داده شود. پس از ساخت ترکیب خطی دو تابع معیار مسئله با استفاده از وزن‌های به‌دست‌آمده، اقدام به بهینه کردن به‌وسیله دو الگوریتم گردید. در این مرحله اطلاعات به‌دست‌آمده از دو گام قبل به عنوان ورودی کد نوشته‌شده در نرم‌افزار Matlab 2010a وارد گردید که نتایج و خروجی‌های آن در بخش نتایج آورده شده‌اند.

۴-۲- اجرای مراحل اسکان موقت روی داده‌های واقعی

گام یکم: تعیین مکان‌های امن برای اسکان موقت همان‌طور که در بخش ۳-۱ بیان شد، برای انجام گام اول در داده‌های واقعی، مدرسه‌های منطقه به عنوان مکان‌های امن در نظر گرفته شده‌اند.

گام دوم: تعیین مسیر بهینه میان بلوک‌های ساختمانی و مناطق امن

هدف این مرحله مینیمم کردن جابه‌جایی جمعیتی است که پس از وقوع زلزله از بلوک‌های ساختمانی به سمت مراکز امن حرکت می‌کنند. بنابراین باید بهترین مسیر میان بلوک ساختمانی و هر مکان امن یافت شود. چون این سری از داده‌ها واقعی هستند بایستی برای محاسبه فواصل میان مکان‌های امن و بلوک‌های ساختمانی از مسیر واقعی موجود میان آنها بهره گرفت و برای این منظور لایه شبکه راه‌های منطقه نیز به لایه‌های قبلی اضافه می‌گردد. پس از آن با استفاده از ماژول تحلیل‌گر شبکه[1] در ArcGIS10 کوتاه‌ترین مسیر شبکه‌ای میان هر بلوک ساختمانی تا هر مکان امن جست‌وجو می‌شود.

گام سوم: تخصیص بهینه بلوک‌های ساختمانی به مناطق امن

همان‌گونه که در انجام گام سوم داده‌های شبیه‌سازی‌شده توضیح داده شد، در این مرحله پس از یافتن وزن‌ها و تشکیل تابع هدف نهایی که حاصل ترکیب خطی توابع هدف است، اقدام به بهینه‌سازی آن به وسیله دو الگوریتم مورد بررسی می‌شود. برای این منظور داده‌های حاصل از دو گام قبلی به عنوان ورودی برنامه به آن داده می‌شود و کد الگوریتم‌ها به تعداد تکرارهای مشخص‌شده اجرا می‌گردد. نتایج و خروجی‌های به‌دست‌آمده در بخش نتایج آورده شده‌اند.

۴-۳- الگوریتم زنبور عسل برای حل مسئله اسکان موقت پس از زلزله

با بررسی کدگذاری‌های متفاوت در مسائل مختلف، کدگذاری نمایش داده شده در شکل ۴ به علت تطابق بیشتر با مسئله و کاهش حجم محاسبات برای هر دو الگوریتم انتخاب شد. برای این منظور برداری به طول تعداد بلوک‌های ساختمانی تعریف می‌گردد که درون هر یک از سلول‌های آن شماره مکان امنی است که بلوک مربوط به آن اختصاص یافته است. هر کدام از این آرایه‌ها یک راه حل از مسئله هستند و یک حالت تخصیص را نمایش می‌دهند.

سپس مقادیر اولیه پارامترهای الگوریتم به آن معرفی می‌شوند. این کار در مرحله نخست که هنوز پارامترها تنظیم نشده‌اند، از روی تجربیات به‌دست‌آمده از تحقیقات دیگر انجام می‌شود، اما در مراحل بعدی پارامترها با استفاده از سعی و خطا تنظیم می‌گردند.

1. Network Analyst

N.SA[1]	N.SA	N.SA	N.SA	.....	.....	N.SA	N.SA

شکل ۴. نمایش کدگذاری مسئله

n: تعداد زنبورهای اسکات (جمعیت اولیه) را نشان می‌دهد.

m : تعداد بهترین راه‌حل‌هایی را که برای جست‌وجوی همسایگی باید از میان این n راه‌حل انتخاب شوند، نشان می‌دهد.

e : تعداد بهترین راه حل‌های انتخاب‌شده را از میان m راه حل قبلی(راه حل‌های برگزیده) نشان می‌دهد.

nep[2] : تعدا زنبورهای اختصاص داده شده به بهترین راه حل‌های انتخاب شده (e) رانمایش می‌دهد.

nsp[3] : تعداد زنبورهای اختصاص داده شده به راه حل‌هایی را که از بین m راه حل انتخاب نشده‌اند(m-e) نشان می‌دهد.

ngh : ناحیه جست‌وجو[4]ی همسایگی راه حل انتخاب‌شده را تعیین می‌کند.

پارامتر نهایی نیز شرط خاتمه کار است که می‌تواند تعداد تکرار یا میزان دقت باشد. مراحل انجام بهینه‌سازی به شرح زیر است:

- مرحله نخست: ابتدا جمعیت اولیه با توجه به تعداد بلوک‌های ساختمانی و راه‌حل‌های امن به صورت تصادفی ساخته می‌شوند.
- مرحله دوم: در این مرحله شایستگی هر کدام از مواضعی (راه‌حل‌هایی)[5] که به‌وسیله زنبورهای اسکات یافت شده‌اند، به‌وسیله تابع هدف یا تابع تناسب[6] مسئله محاسبه می‌گردد.
- مرحله سوم: به‌منظور جست‌وجوی همسایگی، با توجه به شایستگی‌های محاسبه‌شده از میان n راه‌حل موجود، m راه‌حل به عنوان بهترین‌ها انتخاب می‌گردد.
- مرحله چهارم: در این مرحله از میان m راه‌حل انتخاب‌شده، راه‌حل‌هایی که دارای بالاترین شایستگی هستند به عنوان راه‌حل‌های منتخب[7] (نخبه) انتخاب می‌شوند.
- مرحله پنجم: حال بایستی همسایگی راه‌حل‌های مذکور جست‌وجو شود. پارامتر ngh مشخصات ناحیه همسایگی را به الگوریتم معرفی می‌کند. در این حالت زنبورهای بیشتری سراغ e راه‌حل منتخب فرستاده می‌شوند تا با این کار عمل جست‌وجو بهبود یابد و به تعداد (nep) زنبور نیز برای جست‌وجوی همسایگی m-e راه‌حل باقی‌مانده فرستاده می‌شوند. درواقع با تخصیص تعداد زنبور بیشتر به راه‌حل‌های بهتر سعی می‌شود جست‌وجو به سمت جزئیات بیشتر سوق داده شود.
- مرحله ششم: در این مرحله برای انتخاب نسل بعدی جمعیت در هر همسایگی از راه‌حل‌هایی استفاده می‌شود که بیشترین شایستگی را دارند، تا بدین ترتیب نسل بعدی در مقایسه با نسل قبل بهبود یابد.
- مرحله هفتم: تا اینجا برای جمعیت نسل بعد m راه‌حل تولید شده و n-m راه‌حل باقی مانده است. برای ساختن n-m راه‌حل از جمعیت نسل بعد بایستی زنبورهای باقی‌مانده در جمعیت به‌طور تصادفی در فضای جست‌وجو پراکنده شوند و جواب‌های جدیدی پیدا کنند. بدین ترتیب با انجام جست‌وجوی تصادفی نهایی، جمعیت نسل بعد ـ که تعداد آن مانند نسل قبل است ـ ساخته می‌شود.
- مرحله هشتم: تا زمانی‌که شرط توقف ارضا نشده است مراحل قبلی تکرار می‌گردند.

1. Number of Safe Area
2. Number of bees around elite points
3. Number of bees around other selected points
4. Patch size
5. Site
6. Fitness function
7. elite

مقادیر پارامترهای اولیهٔ n، m، e براساس تجربیات به‌دست‌آمده از تکرارهای مختلف الگوریتم و به صورت سعی و خطا به ترتیب ۵۰، ۳۰ و ۱۵ در نظر گرفته شدند. پس از اجرای برنامه و گذاشتن شرط توقف تعداد تکرار ۱۰۰۰، نتایج گونه‌های روند تخصیص در تکرارهای مختلف و نمودار تابع تناسب به دست آمد.

۴-۴- تهیه مدل بهینهٔ اسکان موقت با استفاده از الگوریتم DPSO ابداعی

در ادامه، مراحل حل مسئله تخصیص بلوک‌های ساختمانی به مکان‌های امن بیان می‌گردد:

- مرحله نخست: ابتدا ذرات اولیه با توجه به تعداد بلوک‌های ساختمانی و شماره مکان‌های امن به صورت تصادفی ساخته می‌شوند. هر ذره در واقع یک جواب مسئله است و با تشکیل ذرات به صورت تصادفی بلوک‌های ساختمانی به صورت تصادفی به مناطق امن تخصیص داده می‌شوند.
- مرحله دوم: مقدار تابع هدف برای هر یک از ذرات محاسبه می‌گردد.
- مرحله سوم: مقدار بهترین ذرهٔ کلی (gbest) و بهترین وضعیت ذره (pbest) به دست می‌آید.
- مرحله چهارم: بردار سرعت ذرات محاسبه می‌گردد.
- مرحله پنجم: بردار موقعیت به‌وسیله بردار سرعت بهنگام می‌گردد.
- مرحله ششم: در هر تکرار الگوریتم، تخصیص‌های مختلفی به دست می‌آید و از حالت کاملاً تصادفی خارج می‌شود. درواقع الگوریتم در هر تکرار به حالت بهینه نزدیک‌تر می‌شود.
- مرحله هفتم: در هر تکرار تابع هدف محاسبه می‌گردد.
- مرحله هشتم: در صورتی که مقدار آن نسبت به حالت‌های قبل بهبود یافته باشد به عنوان بهترین حالت تا آن زمان (pbest) نگهداری می‌شود و به مرحله سوم می‌رویم.
- مرحله نهم: این فرایند تا جایی تکرار می‌شود که دیگر مقدار محاسبه‌شده نسبت به قبل بهبود نیابد و در صورتی که شرط توقف تعداد تکرار باشد با انجام تعداد تکرارها الگوریتم متوقف می‌شود.

همان‌طور که گفته شد در PSO کلاسیک برای محاسبهٔ سرعت از رابطه (۱) استفاده می‌شود که شامل دو عبارت $(pbest_t - X_t)$ و $(gbest_t - X_t)$ است، که با اضافه کردن حاصل جمع آنها با عبارت سوم معادلهٔ سرعت (یعنی C_1V_t) خروجی سرعت آرایه‌ای به تعداد درایه‌های آرایه ذره اولیه به دست می‌آید که می‌تواند حاوی اعداد حقیقی باشد. در نتیجه هنگامی که این خروجی در مرحله بعد با موقعیت جمع می‌گردد و آن را بهنگام می‌کند، خروجی نهایی نیز می‌تواند حاوی اعداد حقیقی باشد؛ و این در حالی است که هدف رسیدن به خروجی‌ای مانند ذره اولیه است، یعنی ذره‌ای به طول آرایه اولیه که تنها حاوی اعداد طبیعی عضو مجموعه شماره مکان‌های امن منطقه باشد. براساس تجربیات به‌دست‌آمده از تکرارهای مختلف الگوریتم اجتماع ذرات گسسته پیشنهادی و به صورت سعی و خطا، مقادیر پارامترهای اولیه که عبارت‌اند از C_1، C_2 و C_3 به ترتیب برابر ۸۰، ۲۳۰ و ۱۰ برای داده‌های شبیه‌سازی‌شده و ۷۶، ۲۱۸ و ۹ برای داده‌های واقعی هستند و تعداد ذرات در هر دو سری داده برابر ۵۰ است.

۵- ارائه نتایج

پس از انجام گام‌های یکم، دوم و سوم اسکان موقت در بخش پیاده‌سازی، نتایج حاصل برای دو سری دادهٔ شبیه‌سازی‌شده و واقعی به طور جداگانه در این بخش ارائه می‌شوند.

۵-۱- نتایج حاصل از اجرای الگوریتم‌ها روی داده‌های شبیه‌سازی‌شده

با توجه به توضیحاتی که در مورد این دسته از داده‌ها در بخش پیاده‌سازی ارائه شد، قبل از اجرای الگوریتم انتظار می‌رود تا در هر یک از چهار زون، فضایی

ستاره‌ای شکل ساخته شود به طوری که در مرکز آن پناهگاه‌ها قرار دارد و انتهای بازوهای آن نیز بلوک‌های ساختمانی واقع‌اند. به‌وسیله این دسته از داده‌ها می‌توان الگوریتم‌ها را کالیبره کرد و اشکالات احتمالی آنها را برطرف ساخت. با استفاده از این دسته از داده‌ها می‌توان پارامترهای بهینهٔ هر یک از الگوریتم‌ها را نیز به صورت سعی و خطا به‌دست آورد. بنابراین در صورتی که در نتایج این سری از داده‌ها چهار ستاره از هر لحاظ مشابه یکدیگر به دست آیند، توانایی الگوریتم در بهینه ساختن تخصیص مکان‌های امن به بلوک‌ها اثبات می‌گردد. با تحلیل نمودار تابع تناسب این مسئله بهتر نشان داده می‌شود.

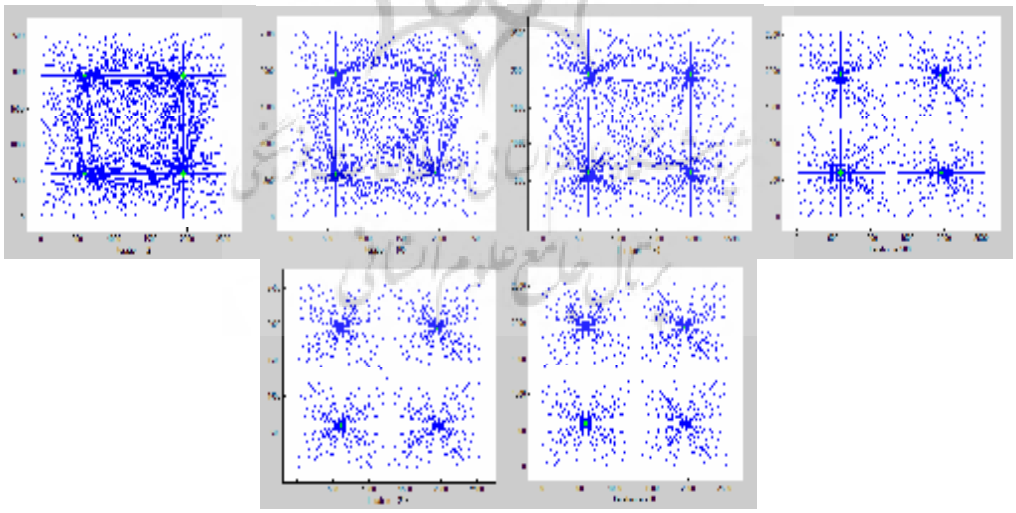
در شکل ۵ روند بهینه شدن تخصیص بلوک‌های ساختمانی به پناهگاه‌ها در تکرارهای ۲، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۱۵، ۲۳۰ الگوریتم زنبور نمایش داده شده است و در آن از هر بلوک به مکان امنی که به آن تخصیص یافته خطی وصل شده است. در تکرار ۲ - که ابتدای فرآیند بهینه‌سازی است ـ تخصیص بلوک‌ها به صورت غیربهینه صورت گرفته است.

الگوریتم با هر تکرار به سمت حالت بهینه پیش می‌رود. در نهایت تخصیص بهینه در تکرار ۲۲۵ حاصل شده است که همان شکل مورد انتظار است و نشان از عملکرد صحیح الگوریتم دارد. شایان ذکر است که در تکرارهای بعدی نیز تخصیص‌ها به حالت بهینه همگرا شده‌اند. همان طور که در شکل دیده می‌شود، بلوک‌های ساختمانی هر زون به پناهگاه مربوط به همان زون تخصیص داده شده است.

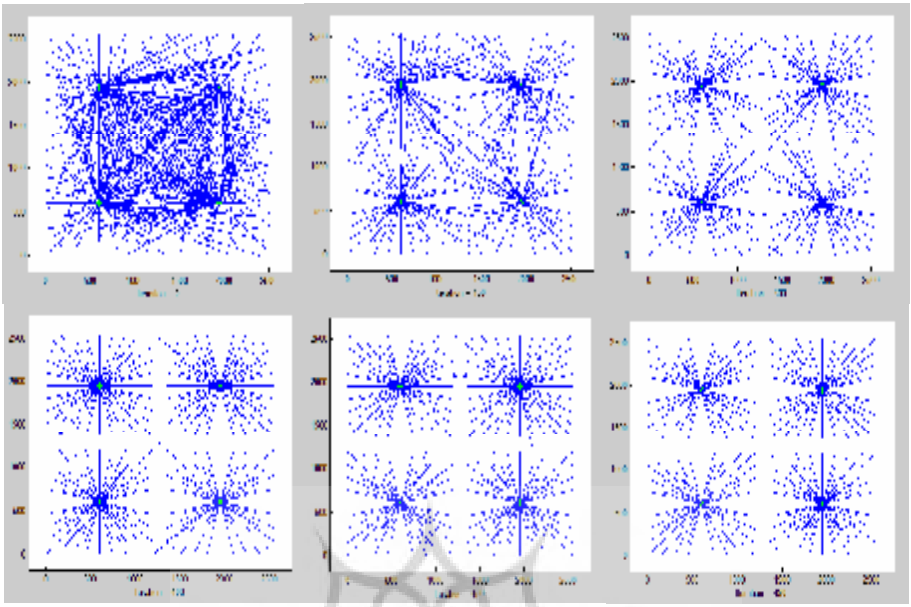
در شکل ۶ روند بهینه شدن تخصیص در تکرارهای ۲، ۱۵۰، ۳۰۰، ۴۰۰، ۴۵۰، ۴۹۰ اجرای الگوریتم پرندگان نمایش داده شده است. شکل نهایی تخصیص در تکرار ۴۹۰ نمایش داده شده است و الگوریتم در تکرار ۴۸۸ همگرا شده است و تخصیص‌های بعد از آن نیز بهینه می‌باشند.

برای بررسی بیشتر بهینگی تخصیص‌ها بایستی نمودار روند بهینگی تابع هدف نیز برای هر کدام از الگوریتم‌ها مورد بررسی و تحلیل قرار گیرد.

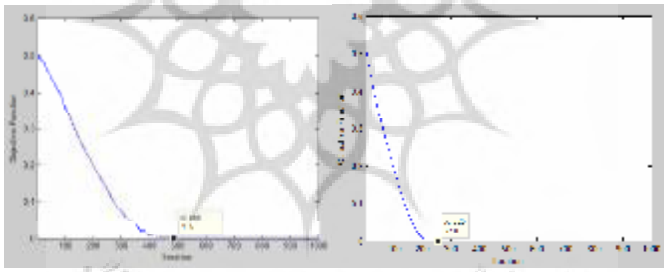
شکل ۷ نمودار روند بهینگی تابع هدف هر دو الگوریتم را نمایش می‌دهد.



شکل ۵. تخصیص بلوک‌های منظم در تکرارهای ۲، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۱۵، ۲۳۰ اجرای الگوریتم زنبورها



شکل ۶. تخصیص بلوک‌های منظم در تکرارهای ۲، ۱۵۰، ۳۰۰، ۴۰۰، ۴۵۰، ۴۹۰ اجرای الگوریتمDPSO



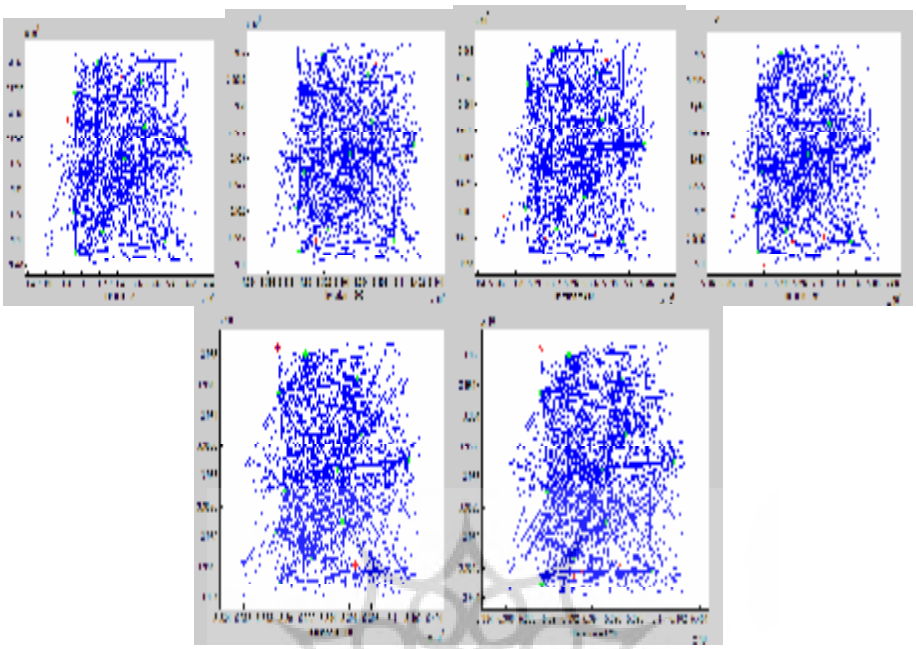
شکل ۷. روند بهینگی تابع هدف در الگوریتم زنبورها (شکل چپ) و الگوریتم اجتماع ذرات گسسته پیشنهادی (شکل راست) برای حالت منظم

سیر نزولی نمودارهای شکل ۷ نشان‌دهنده مینیمم شدن تابع هدف (هدف این تحقیق) است. در الگوریتم زنبور در تکرار ۲۲۵ تابع به صفر همگرا می‌گردد که به معنای صفر شدن هر یک از توابع معیار U و V به صورت مجزاست و با پیش‌بینی‌ها همخوانی دارد. تابع در الگوریتم پرندگان نیز در نهایت به صفر همگرا می‌شود، اما همگرایی آن در تکرار ۴۸۸ رخ می‌دهد.

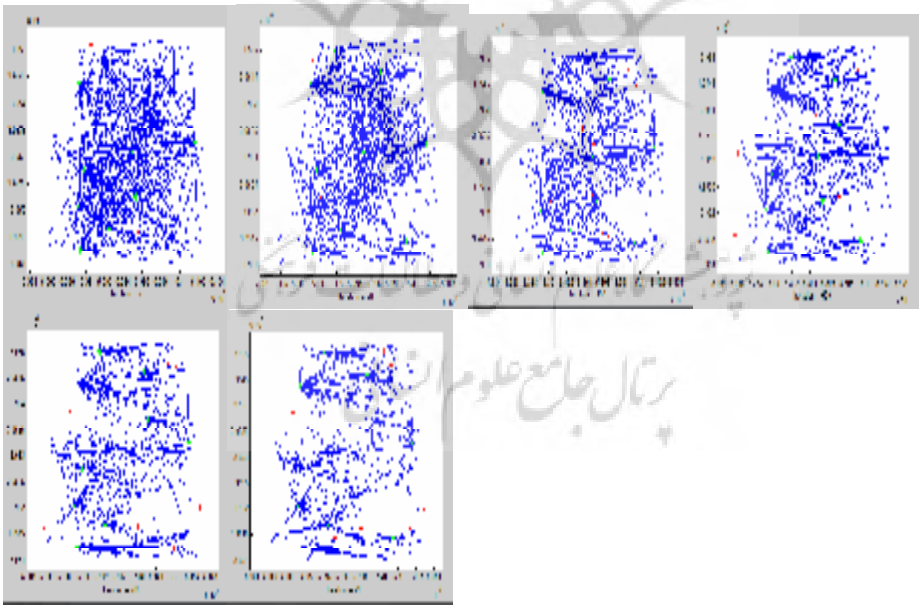
۵-۲- نتایج حاصل از اجرای الگوریتم‌ها روی داده‌های واقعی

مراحل بهینه شدن تخصیص بلوک‌ها در تکرارهای ۲، ۲۰۰، ۴۰۰، ۵۰۰، ۶۰۰، ۶۲۰ اجرای الگوریتم زنبور در شکل ۸ نمایش داده شده است.

نتایج حاصل از تخصیص بلوک‌ها در تکرارهای ۲، ۲۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰، ۷۰۰، ۷۱۰ اجرای الگوریتم اجتماع ذرات گسسته در شکل ۹ مشاهده می‌گردد.



شکل ۸. تخصیص بلوک‌های داده‌های واقعی در تکرارهای ۲، ۲۰۰، ۴۰۰، ۵۰۰، ۶۰۰، ۶۲۰ اجرای الگوریتم زنبورها



شکل ۹. نمایش مراحل بهینه شدن تخصیص بلوک‌ها در تکرارهای ۲، ۲۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰،۷۰۰، ۷۱۰ اجرای الگوریتم DPSO

همان‌طور که مشاهده می‌گردد شکل تخصیص نهایی الگوریتم اجتماع ذرات گسسته پیشنهادی به مراتب بهتر از الگوریتم زنبور، بلوک‌ها را به مکان‌های امن تخصیص می‌دهد. البته با توجه به نتایج داده‌های قبلی، این نتیجه خلاف انتظار بود زیرا انتظار می‌رفت که در این سری از داده‌ها نیز نتیجهٔ تخصیص‌ها مشابه یکدیگر گردد، که چنین نشد. اشکال تقریباً ستاره‌ای تفکیک‌شده گویای این مسئله‌اند.

در داده‌های واقعی نظیر داده‌های شبیه‌سازی‌شده، شکل تخصیص نهایی ارتباط منحصر به فردی با فاصله‌های اقلیدسی بلوک‌های منطقه از مکان‌های اسکان ندارد، زیرا شکل تخصیص‌ها وابستگی مستقیم با نحوه توزیع پناهگاه‌ها در سطح منطقه، فواصل شبکه‌ای میان بلوک‌ها از مکان‌های امن، ظرفیت مکان‌های امن و جمعیت بلوک‌ها دارد. بنابراین در چنین وضعیتی دیگر نمی‌توان رسیدن به شکل ستاره‌ای را معیار دقیقی برای عملکرد صحیح الگوریتم‌ها برشمرد و می‌بایست عملکرد الگوریتم‌ها در بهینگی را از روی تحلیل نمودار تابع هدف اجتماع ذرات برای این دسته از داده‌ها نشان داده شده است.

نخستین اختلاف مشهود در دو الگوریتم شیب نمودارها، در فرآیند کمینه شدن است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد کمینه شدن الگوریتم اجتماع ذرات گسستهٔ پیشنهادی در مقایسه با الگوریتم زنبور با شیب تندتری صورت می‌گیرد. در نمودار الگوریتم زنبور از ابتدا تا انتهای روند بهینگی تغییرات چندانی در مقدار تابع هدف مشاهده نمی‌شود و نمودار تقریباً با شیب ثابتی در حرکت است و تنها در چند نقطه تغییر ناگهانی می‌یابد و دوباره با همان شیب ثابت به حرکت خود ادامه می‌دهد. اختلاف میان مقدار تابع هدف در نخستین تکرار و تکراری که در آن نمودار به همگرایی رسیده بسیار اندک است. این در حالی است که نمودار تابع هدف در الگوریتم اجتماع ذرات با شیب زیادی نسبت به نمودار الگوریتم زنبور فرآیند کمینه شدن را طی می‌کند. بنابراین همان طور که در نمودارها نیز مشاهده می‌گردد، عدد همگرایی الگوریتم اجتماع ذرات گسسته ابداعی با اختلاف فاحشی کمتر از الگوریتم زنبور است. در شکل ۱۰ نشان داده شده است که نمودار الگوریتم زنبور به عدد ۰/۱۸۷ همگرا شده و این همگرایی در تکرار ۶۱۵ رخ داده است. در صورتی‌که این شماره تکرار با تکرارهایی که در حالت‌های قبل تابع هدف در آن به همگرایی رسیده بود اختلاف فراوانی دارد و عدد همگرایی آن نیز در مقایسه با حالت‌های پیشین، عدد بزرگی است. همچنین در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود که روند کمینه‌سازی به خوبی الگوریتم اجتماع ذرات انجام نشده، که علت آن را می‌توان در پیچیدگی‌های اضافه‌شده در این سری از داده‌ها در مقایسه با داده‌های شبیه‌سازی‌شده دانست؛ مانند فاصله شبکه‌ای، توزیع نامنظم و تصادفی بلوک‌ها و مکان‌های امن، جمعیت تصادفی بلوک‌ها، ظرفیت تصادفی مکان‌های امن و مانند اینها. در مقابل، نمودار الگوریتم اجتماع ذرات دارای روند کمینه‌سازی مناسب و معقولی است. نمودار این الگوریتم پس از رسیدن به عدد ۰/۰۳۸۳ که در تکرار ۷۰۴ رخ می‌دهد دیگر تغییری ندارد و به این عدد همگرا می‌گردد. همچنین عدد همگرایی و تعداد تکرارهای به‌دست‌آمده در اجرای این الگوریتم برای این سری از داده‌ها تفاوت چندانی با حالت قبل (داده‌های شبیه‌سازی‌شده) ندارد.

با توجه به اشکال تخصیص نهایی و نمودارهای روند بهینگی حاصل از این دو الگوریتم در تست داده‌های واقعی، این نتیجه به‌دست می‌آید که الگوریتم DPSO ابداعی در تحقیق عملکرد بسیار خوبی در مقایسه با الگوریتم زنبور توسعه‌یافته در مواجهه با داده‌های جهان واقعی دارد. نتایج نشان می‌دهد که این الگوریتم در محیط‌هایی که ماهیت تصادفی و نامنظم دارند نیز عملکرد بسیار خوبی دارد. شاید بتوان دلیل این امر را چنین برشمرد که بنابر آنچه در توضیح الگوریتم DPSO ابداعی عنوان شد، برای حل مشکل الگوریتم PSO کلاسیک در بهینه‌سازی مسائل اسکان موقت از ایده‌ای استفاده کردیم که تصادفی بودن را به بهترین

صورت ممکن در الگوریتم در نظر می‌گیرد و به همین دلیل این الگوریتم برای هر دو سری داده شبیه‌سازی‌شده و واقعی عملکردی خوب از خود به نمایش گذاشته است. این در حالی است که الگوریتم زنبور تنها برای داده‌های شبیه‌سازی‌شده عملکرد خوبی دارد و در مواجهه با داده‌های واقعی، به خوبی الگوریتم اجتماع ذرات گسستهٔ پیشنهادی بهینه‌سازی را انجام نمی‌دهد.

۵-۳- نتایج حاصل از آزمون تکرارپذیری

آزمون تکرارپذیری برای هر دو سری داده انجام گرفته و نتایج آن در جدول ۱ نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مقادیر به‌دست‌آمده در هر تست برای هر دسته داده دارای اختلافات بسیار جزئی است، که نشان از پایداری و ثبات جواب‌های الگوریتم حاصل از حل مسئله بهینه‌سازی مورد بررسی در این تحقیق دارد.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، مقادیر بهینهٔ هر تکرار در هر دو سری داده بسیار نزدیک به یکدیگرند. در داده‌های فرضی، درصد تکرار در نتایج هر دو الگوریتم برابر ۹۰ درصد است و جالب اینکه در داده‌های واقعی نیز درصد تکرار هر دو الگوریتم برابر یکدیگر و مقدار آن ۷۰ درصد است. این اعداد نشان از پایداری و ثبات بسیار بالای جواب‌های به‌دست‌آمده دارند. بدین ترتیب می‌توان آزمون تکرارپذیری الگوریتم را معیاری برای ارزیابی دقت الگوریتم دانست، به طوری که از تعدد تکرار جواب‌های به‌دست‌آمده می‌توان دقت بالای الگوریتم پیشنهادی را در بهینه کردن تخصیص نتیجه گرفت. لازم به ذکر است که درصد تکرارها با احتساب دقت سه رقم اعشار به‌دست آمده‌اند.

جدول ۱. نتایج حاصل از آزمون تکرارپذیری دو الگوریتم زنبور و اجتماع ذرات گسسته روی هر دو سری دادهٔ شبیه‌سازی‌شده و واقعی

	مقادیر تابع هدف داده‌های شبیه‌سازی‌شده		مقادیر تابع هدف داده‌های واقعی	
شماره اجرا(Run)	الگوریتم Bees	الگوریتم DPSO	الگوریتم Bees	الگوریتم DPSO
۱	۰	۰/۰۰۰۱	۰/۱۹۷	۰/۰۳۸۷
۲	۰	۰/۰۰۰۵	۰/۱۸۷	۰/۰۳۸۳
۳	۰	۰	۰/۱۸۷	۰/۰۳۸۳
۴	۰/۰۰۰۶	۰	۰/۱۸۷	۰/۰۳۸۷
۵	۰	۰/۰۰۰۱	۰/۱۸۷	۰/۰۳۸۳
۶	۰/۰۰۰۳	۰	۰/۱۸۷	۰/۰۳۸۳
۷	۰	۰	۰/۱۸۷	۰/۰۳۸۳
۸	۰	۰/۰۰۰۱	۰/۲۰۷	۰/۰۳۸۳
۹	۰	۰	۰/۲۰۷	۰/۰۳۸۳
۱۰	۰	۰	۰/۱۸۷	۰/۰۳۸۷

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

۶- بحث و نتیجه‌گیری

۶-۱- نتیجه‌گیری و ارزیابی نتایج

بررسی‌ها و مقایسهٔ نتایج حاصل از دو الگوریتم مورد بررسی، نتایجی را به‌دست می‌دهند که در ادامه به آنها پرداخته می‌شود.

- در داده‌های شبیه‌سازی‌شده، مقدار بهینه در هر دو الگوریتم یکسان است اما الگوریتم زنبور در تعداد تکرار کمتری به این مقدار بهینه دست می‌یابد.
- در داده‌های شبیه‌سازی‌شده، سرعت اجرای هر تکرار در الگوریتم زنبور کمتر از سرعت اجرای هر تکرار در الگوریتم اجتماع ذرات پیشنهادی است؛ که این مسئله در تکرارهای بیشتر و داده‌های با حجم بالاتر محسوس است. البته لازم به ذکر است که افزایش یا کاهش مقدار پارامترهای n و nsp و nep در الگوریتم زنبور عسل رابطه‌ای مستقیم با افزایش یا کاهش زمان اجرای برنامه دارد. این مسئله در مورد پارامتر n الگوریتم پرندگان نیز صادق است.
- در داده‌های واقعی که با جهانی مملو از آشفتگی و بی‌نظمی سروکار داریم، الگوریتم اجتماعی ذرات دارای مقادیر همگرایی به مراتب بهتر و با اختلافات فاحش از مقادیر همگرایی الگوریتم زنبور است. قدرت بهینه‌سازی بسیار بیشتر الگوریتم اجتماع ذرات پیشنهادی در مقایسه با الگوریتم زنبور را در اشکال نهایی تخصیص به وضوح می‌توان مشاهده کرد. در داده‌های واقعی نیز سرعت اجرای هر تکرار الگوریتم زنبور کمتر از سرعت اجرای تکرار الگوریتم اجتماع ذرات است.
- با توجه به نتایج حاصل از آزمون تکرارپذیری، هر دو الگوریتم دارای عملکرد باکیفیت و دقت بالایی هستند و مقایسهٔ میان آن دو اختلافات بسیار ناچیزی را میان تکرارهای دو الگوریتم نشان می‌دهد، به طوری که می‌توان کیفیت و دقت هر دو الگوریتم را یکسان برشمرد.
- همان‌گونه که گفته شد، در مواردی که جمعیت بلوک‌های ساختمانی بیشتر از مکان‌های امن است و در نتیجهٔ آن سرریز جمعیت وجود دارد و تعدادی از بلوک‌های ساختمانی را نمی‌توان به مکان امنی تخصیص داد بایستی از قبل در مکان مناسبی نزدیک آن بلوک یا بلوک‌ها مکان امنی ساخت و یا برای آن بلوک‌های ساختمانی مکان یا مکان‌های امن پیش‌ساخته در نظر گرفت و به محل منتقل کرد؛ که برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری متخصصان شهرسازی را می‌طلبد.

۶-۲- بحث

- دلیل بهتر بودن نتایج الگوریتم اجتماع ذرات ابداعی در مقایسه با الگوریتم زنبور در داده‌های واقعی، تفاوت ساختمان دو الگوریتم با یکدیگر است. سیاست الگوریتم زنبور به گونه‌ای است که تمایل به محدود کردن محیط جست‌وجو در هر مرحله از کار خود را دارد و این کار را از طریق نخبه‌گزینی و معطوف ساختن توجه به نخبه‌ها انجام می‌دهد و با این کار فعالیت خود را بیشتر به سمت جست‌وجوی محلی سوق می‌دهد؛ در صورتی که سیاست کاری در الگوریتم اجتماع ذرات پیشنهادشده به گونه‌ای است که در هر مرحله از کار، بی‌نظمی و تصادفی بودن به الگوریتم تزریق می‌شود و در نتیجه سراسری بودن جست‌وجو بیشتر در دستور کار قرار می‌گیرد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که دلیل عملکرد بهتر الگوریتم اجتماع ذرات، سازگاری بیشتر آن با جهان واقعی است.
- وابستگی پارامتری اشکالی است که در روش‌های بهینه‌سازی احتمالی و تصادفی وجود دارد، بدین ترتیب که نتیجه نهایی بهینه‌سازی با پیچیدگی مسئله ارتباط دارد. این وابستگی گاه به دلیل تعیین و تنظیم پارامترهاست، بدین معنا که اگر برای مسئله‌ای معین که با داده‌های مشخصی کار می‌کند تنظیمات مختلفی از پارامترها ارائه شود، عملکرد الگوریتم برحسب نوع پارامتر تغییر می‌کند و تغییرات نیز متفاوت خواهند بود. بدین ترتیب

پارامترهای تعیین‌شده برای داده‌های این تحقیق لزوماً نمی‌توانند برای داده‌های مورد استفاده در تحقیقات دیگر نیز مفید باشند. در حالت کلی، مجموعه پارامتر مشخص و معینی وجود ندارد که بتوان برای هر نوع مسئله از آن استفاده کرد و این مورد یکی از نقاط ضعف این الگوریتم‌ها به شمار می‌آید.

- تعیین دقیق پارامترهای بهینه، کاری بس طاقت‌فرسا و دشوار است. به‌منظور ارزیابی تأثیر هر پارامتر می‌بایست آن پارامتر به تنهایی و بدون تغییر سایر پارامترها تغییر داده شود و پس از انجام هر اجرا (۱۰۰۰ تکرار) عملکرد مورد بررسی قرار گیرد و برای سوق دادن پارامتر به سمت مقدار بهینه گام برداشته شود. در بعضی از پارامترها تغییرات جزئی منتج به تغییرات چشمگیری در نتیجهٔ کار می‌شود. دشواری این کار زمانی آشکارتر می‌شود که قرار باشد پارامترها در کنار یکدیگر عملکرد الگوریتم را بهینه سازند و ترکیبات مختلفی که از اعداد پارامترها ساخته می‌شود هم بسیار زیاد باشد.

۶-۳- وجه تمایز پژوهش حاضر با پژوهش‌های دیگر در این زمینه

- الگوریتم اجتماع ذرات گسستهٔ پیشنهادی در اینجا برای نخستین بار و به‌وسیله نویسندگان مقاله ارائه شده است. در این تحقیق برخلاف تحقیقات مشابه آن، هر دو الگوریتم اجتماع ذرات پیشنهادی و زنبور توسعه داده‌شده، کالیبره شده‌اند و کالیبراسیون آنها نیز به‌وسیله داده‌های شبیه‌سازی‌شدهٔ منظم صورت گرفته است. به منظور کالیبراسیون الگوریتم‌های مذکور از ۷ سری دادهٔ شبیه‌سازی‌شده استفاده گردید که به دلیل مفصل بودن مراحل کاری، تنها به تشریح یک دسته از آنها اکتفا شد. پس از ارزیابی صحت هر دو الگوریتم، در جهان واقعی نیز به کار گرفته شدند، که چه بسا همین موضوع وجه تمایز اصلی این تحقیق با سایر تحقیقاتی که در آنها الگوریتم جدیدی ارائه می‌شود، باشد.
- در پژوهش سعادت‌سرشت و همکاران (SaadatSeresht et al., 2009) گروه‌بندی بلوک‌های ساختمانی مربوط به هر مکان امن با استفاده از بهینه‌سازی تکاملی چندگانهٔ مقید مبتنی بر مفهوم جبههٔ پرتو مدنظر بوده است و با استفاده از الگوریتم NSGA-II به حل مسئله بهینه‌سازی اسکان موقت پرداخته‌اند، در صورتی که در تحقیق حاضر این کار از طریق میانگین‌گیری وزن‌دار و با استفاده از الگوریتم‌های هوش جمعی انجام شده است.
- در تحقیق نقدی (Naghdi, 2010) تابع هدف مناسب به صورت ضرب دو تابع معیار ظرفیت و فاصله در نظر گرفته شده و در نهایت نیز حل مسئله بهینه‌سازی به‌وسیله الگوریتم اجتماع ذرات کلاسیک (پیوسته) انجام شده است. در صورتی‌که در تحقیق حاضر به منظور احراز از همگرایی زودرس و غیرواقعی، تابع هدف نهایی حاصل ترکیب خطی (میانگین وزن‌دار) دو تابع معیار ظرفیت و فاصله انتخاب شده و برای بهینه‌سازی نیز از الگوریتمی کاملاً متفاوت با الگوریتم PSO کلاسیک استفاده شده است.
- صمدزادگان و یادگاری (Samadzadegan & Yadegari, 2010) با استفاده از روشی مبتنی بر بهینه‌سازی کلونی زنبورها (BCO) به بهینه‌سازی توزیع اسکان شهروندان مناطق شهری در مکان‌های امن پرداختند، که بنابر آنچه در بخش پیشینهٔ تحقیق گفته شد، الگوریتم به‌کاررفته و به طور کلی استراتژی تحقیق پیش رو کاملاً متفاوت از پژوهش آنهاست.

در پایان پیشنهاد می‌شود به منظور بهینه‌سازی گام‌های یکم و دوم که شامل مکان‌یابی بهینه مکان‌های امن و مسیریابی بهینه میان بلوک‌های ساختمانی و مکان‌های امن است، از الگوریتم بهینه‌سازی ـ به‌ویژه الگوریتم‌های هوش جمعی ـ استفاده گردد تا بدین وسیله بهینگی جواب نهایی نیز بهبود یابد.

۷- منابع

Abbass H.A., 2001, **Marriage in Honey Bees Optimisation: A Haplometrosis-polygynous Swarming Approach**, The congress on evolutionary computation, CEC2001, vol 1. Seoul, Korea, PP. 207–214.

Al-kazemi B., Mohan CK., 2002, **Multi-phase Discrete Particle Swarm Optimization,** In: Fourth International Workshop on Frontiers in Evolutionary Algorithms, Kinsale, Ireland.

Beni G., Wang J., 1989, **Swarm Intelligence in Cellular Robotics Systems**, NATO Advanced Workshop on Robots and Biological. Tuscany, Tuscany, Italy.

Clerc M., 2005, **Particle Swarm Optimization: ISTE (International Scientific and Technical Encyclopedia)**, Translated from: M. Clerc, L'optimisation par essaims particulaires. Versions paramétriques et adaptatives: Hermès Science.

Consoli S., Moreno-Pe´rez J., Darby-Dowman K., Mladenovic N., 2009, **Discrete Particle Swarm Optimization for the Minimum Labelling Steiner Tree Problem**, Springer Science+Business Media B.V.

Correa ES., Freitas AA., Johnson CG., 2006, **A New Discrete Particle Swarm Algorithm Applied to Attribute Selection in a Bioinformatic Data Set**, In: Proceedings of GECCO, PP. 35–42.

Dorigo M., 1992, **Optimization, Learning and Natural Algorithms**, Politecnico di Milano, Italy: Ph.D. Thesis.

Fiedrich, F., Gehbauer, F. and Rickers, U., 2000, **Optimized Resource Allocation for Emergency Response After Earthquake Disasters,** Safety Science, 35, PP. 41-57.

Georgiadou P., Papazoglou I., Kiranoudis C., Markatos N., 2007, **Modeling Emergency Evacuation for Major Hazard Industrial Sites**, Reliability Engineering & System Safety, 92 (10), PP. 1388-1402.

Kazemian M., Ramezani Y., Lucas C. and Moshiri B., 2006, **Swarm Clustering Based on Flowers Pollination by Artificial Bees**, Studies in Computational Intelligence (SCI) 34, PP. 191–202.

Kamrouz Khodayar G., Kaffash N., Alesheikh A., 2010, **Comparison of Ant Colony and Genetic Algorithm in Travelling Sales Man Problem,** Geomatics 90. Tehran, Iran.

Karaboga D., 2005, **An Idea Based on Honey Bee Swarm for Numerical Optimization**, Technical Report TR06. Computer Engineering Department, Engineering Faculty, Erciyes University.

Kennedy J., Eberhart R., 1995, **Particle Swarm Optimization,** In: Proceedings of the 4th IEEEInternational Conference on Neural Networks, Perth, Australia, PP. 1942-1948.

Kennedy J., Eberhart R., 1997, **A Discrete Binary Version of the Particle Swarm Algorithm**, In: IEEE Conference on Systems, Man, and Cybernetics, vol 5, PP. 4104-4108.

Kongsomsaksakul S., Yang C., Chen A., 2005, **Shelter Location-Allocation Model for Flood Evacuation Planning**, Journal of the

Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 6, PP. 4237-4252.

Lemmens N., Jong S., Tuyls, K. and Nowe, A., 2007, **A Bee Algorithm for Multi-agent Systems: Recruitment and Navigation Combined**, Adaptive and learning agents (ALAg-07).

Lemmens N., Tuyls K., Nowe A., De Jong S., 2008, **Bee Behaviour in Multi-agent Systems: A Bee Foraging Algorithm,** from Adaptive Agents and MAS III, LNAI 4865, vol.3, n. 4865.

Lučić p., Teodorović D., 2001, **Bee System: Modeling Combinatorial Optimization Transportation Engineering Problems by Swarm Intelligence**, TRISTAN IV Triennial Symposium on Transportation Analysis , Sao Miguel, Azores Islands, Portugal, PP. 441-445.

Naghdi, M., 2010, **Modeling & Optimization of Multi-objective Allocation Problem Using PSO Algorithm**, **Case study: Temporal Dwelling.** M.Sc. Thesis, University of Tehran.

Pham D., Ghanbarzadeh A., Koc E., Otri, S., Rahim S. and Zaidi M., 2005, **The Bees Algorithm**,Technical report, Manufacturing Engineering Centre, Cardiff University, UK.

Quijano N., Passino K., 2007, **Honey Bee Social Foraging Algorithms for Resource Allocation**, **part i: algorithm and theory.** American control conference. ACC '07, PP. 3383–3388.

Quijano N. and Passino K., 2007, **Honey Bee Social Foraging Algorithms for Resource Allocation**, **part ii: algorithm and theory,** American control conference. ACC '07, PP. 3389–3394.

SaadatSeresht M., Mansourian A., Taleai M., 2009, **Evacuation Planning Using Multiobjective Evolutionary Optimization** Approach. Journal of Operational Research, 198 (1), PP. 305-314.

Samadzadegan F., Yadegari M.R., 2010, **A Bee Colony -Inspired Optimization Algorithm for Evacuation Planning inUrban Disaster Management**, Geospatial Engineering Journal, Dept. of Geomatics, Vol. 1, No. 2, PP. 47-59.

Secrest BR., 2001, **Traveling Salesman Problem for Surveillance Mission Using Particle Swarm Optimization**, Master's thesis, School of Engineering and Management of the Air Force Institute of Technology.

Teodorovic D., Lucic P., Markovic G., Orco M., 2006, **Bee Colony Optimization: Principles and Applications**, 8th seminar on neural network applications in electrical engineering, NEUREL, PP. 151–156.

Vozenilek, V., 2009, **Artificial Intelligence and GIS: Mutual Meeting and Passing**, Intelligent Networking and Collaborative Systems, INCOS '09, PP. 279-284.

Yang S., Wang M., Jiao L., 2004, **A Quantum Particle Swarm Optimization**, In: Proceedings of CEC2004, the congress on evolutionary computing, vol 1, PP. 320–324.