مقاله پژوهشی

# ارایه رویکردی مبتنی بر الگوریتم‌های بهینه‌سازی به منظور پهنه‌بندی مناطق جمعیتی در سیستم سلامت ایران

جواد طیبی *[1]، سبحان مصطفایی درمیان [2]

[1] استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی کامپیوتر و صنایع، دانشگاه صنعتی بیرجند، بیرجند، ایران

[2] کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی ، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

* **نویسنده مسؤول** جواد طیبی

javadtayyebi@birjandut.ac.ir

## چکیده

**زمینه و هدف:** همواره، برنامه‌ریزی جهت بهبود ساختار سیستم سلامت از دسته‌ی مهمترین مسایل مدیریتی به شمار می‌رود. لذا این مطالعه به بررسی یکی از پرکاربردترین موضوعات حوزه مدیریت عملیات تحت عنوان مسأله پهنه‌بندی پرداخته است. هدف از حل این مسأله تقسیم‌بندی یک جامعه به چندین منطقه است به طوریکه هر منطقه به طور کامل بتواند خدمات سلامتی جمعیت خود را تا حد مطلوبی پوشش دهد.

**روش پژوهش:** در این مطالعه که از نوع بنیادی-کاربردی محسوب می‌گردد، با توجه به مدل راهبردی نظام سلامت به منظور تقسیم‌بندی مناطق جمعیتی به پهنه‌های ده‌گانه، رویکردی مبتنی بر الگوریتم‌های بهینه‌سازی ژنتیک، ازدحام ذرات و تکامل تفاضلی مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به ماهیت مسأله، تابع هدف شامل بیشینه‌سازی میزان تعادل جمعیت موجود در هر پهنه بود. محدودیت‌های مسأله نیز شامل تخصیص منحصر به فرد و همچنین عدم وجود تخصیصات نامتعارف بوده است. تخصیص نامتعارف به معنای عدم فشردگی، عدم وجود پیوستگی و همچنین وجود سوراخ در پهنه‌ها است.

**یافته‌ها:** طبق نتایج حاصل، مشاهده گردید الگوریتم ازدحام ذرات دارای بالاترین کارایی است و الگوریتم تکامل تفاضلی پایین‌ترین کارایی را دارد. اما در تمامی الگوریتم‌ها، محدودیت‌های بیان شده به طور کامل برآورده می‌شوند و این موضوع نشان از کارایی مناسب الگوریتم اصلاحی در تولید پاسخ‌ها دارد.

**نتیجه‌گیری:** نتایج حاصل از حل این مسأله می‌تواند به عنوان یک ابزار علمی مفید در جهت پهنه بندی سیستم سلامت ایران مورد استفاده قرار گیرد.

**واژه های کلیدی:** سیستم سلامت، مسأله پهنه‌بندی، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم ازدحام ذرات، الگوریتم تکامل تفاضلی

**کاربرد مدیریتی:** پهنه بندی سیستم سلامت ایران

**ارجاع:** طیبی جواد، مصطفایی درمیان سبحان. ارایه رویکردی مبتنی بر الگوریتم‌های بهینه‌سازی به منظور پهنه‌بندی مناطق جمعیتی در سیستم سلامت ایران. راهبردهای مدیریت در نظام سلامت ۱۳۹۸؛ ۴(۴): ۳۱۲-۲۹۵.

**تاریخ دریافت:** ۱۳۹۸/۰۶/۲۰
**تاریخ اصلاح نهایی:** ۱۳۹۸/۱۱/۱۳
**تاریخ پذیرش:** ۱۳۹۸/۱۱/۱۶



[ Downloaded from mshsj.ssu.ac.ir on 2026-11-18 ]

[ DOR: 20.1001.1.24766879.1398.4.4.6.6 ]

[ DOI: 10.18502/mshsj.v4i4.2484 ]

**مقدمه**

مسأله پهنه‌بندی از رده مسایل پوشش مجموعه‌ای (set cover problems) به شمار می‌رود و به معنای گروه‌بندی مناطق کوچک (واحدهای پایه‌ای) (basic units) به گروه-های بزرگ‌تر (پهنه) (districts) است. پهنه‌های ایجاد شده باید دارای ویژگی‌هایی مانند تعادل (balance) (در اندازه جمعیت، افراد بالای ۶۵ سال، نرخ بیکاری و معیارهایی مشابه)، پیوستگی (contiguous)، فشردگی (compactness) و عدم وجود سوراخ (absence of hole) باشند. پیوستگی بدین معناست که بتوان به تمام نقاط درون یک پهنه بدون خارج شدن از آن منتقل شد. زمانی‌که یک پهنه دارای شکل دایره‌ای مانند و بدون انحراف شکلی باشد، آن را فشرده گوییم. در نهایت اگر هیچ پهنه‌ای درون پهنه دیگری قرار نگیرد، شرط عدم وجود سوراخ برآورده می‌شود (۱).

جهت حل مسأله پهنه‌بندی لازم است ارتباطات بین مناطق، در ساختاری شبکه‌ای ترسیم شود. این ساختار به صورت گراف بدون جهت $G = (V, E)$ بوده که در آن $V$ مجموعه‌ی رئوس (شهرها یا مناطق جمعیتی) و $E$ مسیرهای ارتباطی بین رئوس است که آن‌ها را یال نامیم. فرض می‌کنیم که $V = \{v_i: i = 1,2, \dots, |V|\}$ مجموعه رئوس گراف با اندازه $|V|$ را نشان دهد. در این مجموعه، هر رأس $v_i$ گراف با ۲ مقدار $(x_i, y_i)$ نشان داده می‌شود که بیانگر طول و عرض جغرافیایی منطقه هستند. مجموعه $E = \{e_{ij}: i, j = 1,2, \dots, |V|; i \neq j\}$ نشان‌دهنده مجموعه یال‌های گراف با اندازه $|E|$ است که در آن ارتباط بین رئوس $v_i$ و $v_j$ گراف توسط $e_{ij}$ نشان داده می‌شود. با این اوصاف هر مسأله پهنه‌بندی مناطق جمعیتی را می‌توان با یک مسأله پهنه‌بندی گراف هم‌ارز دانست. تعیین حوزه فعالیت همواره از مهمترین مراحل اتخاذ تصمیمات راهبردی سازمان‌ها است. این در حالی است که در حوزه‌ی بهینه‌سازی سیستم سلامت، توجه چندانی به این موضوع نشده است و پهنه‌بندی مناطق جمعیتی در سیستم سلامت از جدیدترین کاربردهای این مسأله به شمار می‌رود.

از جمله تحقیقات بنیادی در پهنه‌بندی سیستم سلامت، می‌توان به مطالعه قیگی و همکاران (۱۹۷۵) اشاره کرد که هدف آن ارایه یک روش ترکیبی برای پهنه‌بندی است به گونه‌ای که هر پهنه از نظر سیستم‌های سلامت خود کفا بوده و در نهایت رضایت برنامه‌ریزان و شهروندان حاصل گردد (۲). مینیکاردی و همکاران (۱۹۸۱) به تجزیه یک ناحیه جغرافیایی به تعداد نامشخصی پهنه‌ی غیر همپوشان اشاره کردند (۳). آن‌ها ۲ روش ابتکاری را به کار گرفتند. در نهایت نیز یک مطالعه موردی ارایه دادند. پزلا و همکاران (۱۹۸۱) به ارایه‌ی روشی جهت پهنه‌بندی مناطق جغرافیایی در یک ناحیه پرداختند به گونه‌ای که تخصیص بهینه خدمات بهداشتی درمانی در دسترس باشد (۴). بلایس و همکاران (۲۰۰۳) به مطالعه مسأله پهنه‌بندی مراقبت بهداشت خانگی در یک محیط شهری پرداختند. آن‌ها ۴ معیار پهنه‌بندی، غیرقابل تقسیم بودن واحدهای اساسی، احترام به محدوده بخش‌ها، همبندی و تعادل حجم کار را در نظر گرفتند (۵). بنزارتی و همکاران (۲۰۱۰) به ارایه مسأله طراحی پهنه‌ها برای ساختارهای مراقبت بهداشت خانگی در حوزه‌های مختلف پرداختند (۶). در مطالعه‌ای دیگر، بنزارتی و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی مسأله پهنه‌بندی در زمینه مدیریت عملیات‌های خاص برای مواجه شدن با خدمات مراقبت بهداشت خانگی پرداختند (۷). داتا و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی پهنه‌بندی مناطق جمعیتی در سیستم سلامت کشور انگلستان از طریق طراحی یک مسأله‌ی چند هدفه پرداختند (۱). گوتیرز و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی مسأله‌ی پهنه‌بندی مراقبت خانگی برای شهرهای در حال توسعه و پیامدهای ناشی از افزایش جمعیت در مناطق شهری در کلمبیا پرداختند (۸). استینر و همکاران (۲۰۱۵) در حوزه سیستم‌های سلامت، الگوریتمی چندهدفه جهت پهنه‌بندی شبکه سلامت ایالت پارانا در برزیل ارایه دادند (۹). طیبی و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی مسأله پهنه‌بندی در حوزه سلامت در زمان وقوع جنگ پرداختند و یک مدل ریاضی برای حل آن ارایه کردند (۱۰). مدل ایشان شامل تعداد قابل توجهی محدودیت است که نمی‌توان آن را برای مسایلی با اندازه بزرگ به کار برد.

مسأله‌ی پهنه‌بندی در حوزه‌های دیگری از جمله پهنه-بندی سیاسی، پهنه‌بندی تجاری و پهنه‌بندی توزیع نیز دارای کاربردهای فراوان است. جدول ۱ شامل تحقیقات انجام شده در حوزه پهنه‌بندی گراف براساس روش‌های حل آن‌ها است.



[ Downloaded from mshsj.ssu.ac.ir on 2026-11-18 ]
[ DOR: 20.1001.1.24766879.1398.4.4.6.6 ]
[ DOI: 10.18502/mshsj.v4i4.2484 ]

جدول ۱: تحقیقات انجام شده در حوزه پهنه‌بندی گراف

| نویسنده (نویسندگان) | شماره مرجع | موضوع مسأله | نوع مدل | نوع رویکرد | | | روش |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | قطعی | ابتکاری | فراابتکاری | |
| نووائس و همکاران (۲۰۰۹) | (۱۱) | مسأله تحویل | چندهدفه | | ■ | | دیاگرام ورونوی |
| آگویلار و همکاران (۲۰۱۱) | (۱۲) | مسأله توزیع | چندهدفه | ■ | | | اپسیلون محدودیت |
| شیرابه (۲۰۱۲) | (۱۳) | مسأله حمل و نقل اتوبوس | تک‌هدفه | | ■ | | نقشه جبر |
| کونترراس و همکاران (۲۰۱۲) | (۱۴) | ترکیب مکانیابی تسهیلات و طراحی شبکه | تک‌هدفه | ■ | | | برنامه‌ریزی خطی مختلط عدد صحیح |
| نایت و همکاران (۲۰۱۲) | (۱۵) | مکانیابی خدمات پزشکی اورژانسی | تک‌هدفه | | | ■ | ژنتیک |
| داتا و همکاران (۲۰۱۳) | (۱) | سلامت | چندهدفه | | | ■ | ژنتیک |
| لین و همکاران (۲۰۱۳) | (۱۶) | تعیین سطع منابع در خدمات جراحی | چندهدفه | | | ■ | ژنتیک |
| بنزارتی و همکاران (۲۰۱۳) | (۷) | مراقبت بهداشت خانگی | چندهدفه | ■ | | | برنامه‌ریزی خطی مختلط عدد صحیح |
| مرکادو و پرز (۲۰۱۳) | (۱۷) | مسأله توزیع | تک‌هدفه | ■ | | | برنامه‌ریزی خطی مختلط عدد صحیح |
| دآسیس و همکاران (۲۰۱۴) | (۱۸) | قرائت کنتور برق | چندهدفه | | | ■ | گرسپ |
| لی و همکاران (۲۰۱۴) | (۱۹) | استفاده از زمین شهری | تک‌هدفه | ■ | | | برنامه‌ریزی خطی مختلط عدد صحیح |
| لیو و همکاران (۲۰۱۴) | (۲۰) | مسأله مسیریابی دوره‌ای وسایل نقلیه | تک‌هدفه | | | ■ | جستجوی ممنوع |
| کینگ و همکاران (۲۰۱۸) | (۲۱) | بازبینی محدوده ایالت‌ها | تک‌هدفه | | ■ | | جستجوی محلی |
| قلاسی و همکاران (۲۰۱۹) | (۲۲) | زنجیره توزیع کالا | تک‌هدفه | | | ■ | گرگ خاکستری و ازدحام ذرات |

با توجه به مباحث مطرح شده، مشاهده می‌شود که پهنه-بندی سیستم سلامت یکی از جدیدترین کاربردهای مسایل پهنه‌بندی است. این در حالی است که تقسیم‌بندی مناسب مناطق جمعیتی در سیستم سلامت می‌تواند تا حد بسیار زیادی بر سطح کارایی و نحوه عملکرد آن تاثیرگذار باشد (۹).

در این مطالعه به بررسی مسأله تقسیم‌بندی مناطق جمعیتی ایران به مناطق ده‌گانه پرداخته شد. معیار تقسیم-بندی، ایجاد تعادل جمعیت پهنه‌ها در نظر گرفته شد. برای حل این مسأله ۳ الگوریتم فراابتکاری ژنتیک، ازدحام ذرات و تکامل تفاضلی پیشنهاد شود که نتایج حاصل از آن‌ها با یکدیگر مقایسه گردیده‌اند. نتایج حاصل از این پژوهش را می‌توان در اختیار متخصصان حوزه سیستم سلامت قرار داد تا بتوانند از آن‌ها به عنوان ابزاری علمی در تصمیم‌گیری‌های خود استفاده کنند.

## روش پژوهش

این مطالعه از نوع بنیادی-کاربردی بوده و به بررسی مسأله پهنه‌بندی مناطق جمعیتی با هدف ارتقای سطح مدیریت بهداشت عمومی جامعه از طریق بهبود سیستم موجود در زمستان ۱۳۹۷ پرداخته است. یکی از مهمترین عوامل در طرح‌ریزی سیستم‌های سلامت، توجه به ایجاد تعادل در جمعیت موجود در پهنه‌ها است. این موضوع از آن جهت حائز اهمیت است که از طریق ایجاد تعادل در جمعیت هر پهنه، می‌توان بار کاری بین مراکز ارایه خدمت را تا حدی مطلوب متوازن نمود. در مدل برنامه راهبردی، تصمیم بر آن است که نقاط جمعیتی کشور به ۱۰ پهنه اصلی تقسیم شده و وظیفه نظارت بر نحوه‌ی عملکرد سازمان‌های سلامت هر پهنه، به عهده‌ی مدیران این بخش‌های ده‌گانه باشد. بدین منظور بیش از هزار نقطه جمعیتی مدنظر قرار گرفته و سعی می‌شود مطابق با معیارهای مد نظر سازمان به شکل مناسب پهنه‌بندی شوند. در ادامه به بیان روش‌شناسی تحقیق پرداخته می‌شود.

### ماهیت روش تحقیق

با توجه به تعاریف و خصوصیاتی که از تحقیقات نوع کیفی و کمّی در کتب و منابع روش‌شناسی ارایه شده است، می‌توان



[ Downloaded from mshsj.ssu.ac.ir on 2026-11-18 ]
[ DOR: 20.1001.1.24766879.1398.4.4.6.6 ]
[ DOI: 10.18502/mshsj.v4i4.2484 ]

گفت که با توجه به پارادایم فلسفی حاکم بر تحقیق و همچنین اهداف، راهبرد، روش‌های گردآوری اطلاعات و روش‌های تحلیل اطلاعات در پژوهش حاضر، رویکرد غالب در این تحقیق از نوع کمی است.

نوع و روش تحقیق

به طور کلی تحقیقات بر حسب اهداف به ۳ دسته‌ی بنیادی، توسعه‌ای و کاربردی تقسیم می‌شوند. این مطالعه از لحاظ هدف، از نوع تحقیقات کاربردی به شمار می‌رود. از منظر دیگر که تحقیقات برحسب روش گردآوری داده‌ها به توصیفی و آزمایشی تقسیم می‌شوند. تحقیق حاضر از لحاظ گردآوری داده‌ها از نوع توصیفی می‌باشد.

از آنجاکه مسأله پهنه‌بندی از رده مسایل سخت است (۹)، لزوماً بایستی به منظور حصول پاسخ‌های قابل قبول در زمان-های مناسب، از الگوریتم‌های فرابتکاری استفاده شود. اکثر مطالعات مربوط به پهنه‌بندی مناطق جمعیتی در حوزه‌های مختلف، از الگوریتم فرابتکاری ژنتیک استفاده کرده‌اند (۲۳). در این مطالعه نیز به منظور حل مسأله در ابعاد بزرگ، الگوریتم‌های فرابتکاری ژنتیک، ازدحام ذرات و تکامل تفاضلی استفاده گردید.

نمایش جواب

همواره در طراحی الگوریتم‌های فرابتکاری، یکی از مهمترین گام‌ها، طراحی مناسب و کارآمد نمایش پاسخ‌ها است. کروموزوم مورد استفاده به صورت یک بردار بوده که تعداد ژن‌های آن برابر با تعداد گره‌ها یا شهرها است. در هر ژن عددی حقیقی و مثبت در بازه‌ای مشخص و از پیش تعیین شده (مثلاً بازه بین ۰ تا ۱۰۰) قرار می‌گیرد که بیانگر شماره پهنه‌ای است که ژن مورد نظر به آن تخصیص یافته است. به منظور تعیین شماره پهنه در هر ژن و در واقع تبدیل عدد حقیقی تخصیص یافته به آن به یک عدد صحیح، می‌توان از رویه زیر استفاده نمود.

تعداد پهنه‌ها $(k)$ و بازه تولید اعداد تصادفی $(\text{Interval} = [\min, \max])$ وارد شود.

بازه تولید اعداد تصادفی به $(k)$ زیر بازه با طول‌های مساوی تقسیم شود. (واضح است که حد بالای هر بازه مضربی از مقدار $\left(l = \frac{\max - \min}{k}\right)$ است

به ازای هر ژن $(j)$ محاسبه شود.

به ازای هر $(i \leq k)$ محاسبه شود.

اگر عدد حقیقی ژن $(j)$ در بازه $([(l-1) \times i, l \times i])$ باشد، آنگاه عدد حقیقی موجود در آن ژن به مقدار صحیح $(i)$ تغییر یابد.

اگر $(i)$ با $(k)$ برابر است، محاسبات پایان یافته است در غیر اینصورت به مقدار $(i)$ یک واحد اضافه شود.

اگر تمام ژن‌ها بررسی شده است محاسبات پایان یابد و در غیر اینصورت ژن بعدی بررسی شود.

مطابق با ساختار فوق، مقدار موجود در تمامی ژن‌ها به عددی صحیح تبدیل می‌شود. برای مثال فرض کنید تعداد ۸ شهر باید به ۴ پهنه تقسیم‌بندی شود و بازه تولید اعداد تصادفی نیز $[0,100]$ در نظر گرفته شده باشد. بنابراین، بازه‌ی مورد نظر به زیر بازه‌هایی با طول $\left(\frac{100}{4} = 25\right)$ تقسیم می‌شود. حال باید اعداد تولید شده مطابق با رویه فوق بررسی تا شماره‌ی پهنه‌ها به درستی مشخص گردد.

فرض می‌شود که اعداد تولید شده در هر ژن به صورت شکل ۱ است.

حال برای هر ژن بررسی می‌شود که مقدار عدد حقیقی تولید شده در کدام زیر بازه است، تا شماره پهنه مشخص گردد. از آنجا که زیر بازه‌ها با ضرایب ۲۵تایی تقسیم شده است، بنابراین شماره‌ی پهنه‌ها به صورت زیر در هر ژن قرار می‌گیرد.

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۶۸/۳۱ | ۲۷/۱۱ | ۸/۰۲ | ۹۱/۴۱ | ۸۴/۱۹ | ۴۸/۰۱ | ۱۲/۱۰ | ۳۵/۲ |

شکل ۱: نمونه‌ای از کرموزوم طراحی شده برای حل مسأله

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۳ | ۲ | ۱ | ۴ | ۴ | ۲ | ۱ | ۲ |

شکل ۲: نمونه‌ای از کرموزوم تغییر یافته



[ Downloaded from mshsj.ssu.ac.ir on 2026-11-18 ]
[ DOR: 20.1001.1.24766879.1398.4.4.6.6 ]
[ DOI: 10.18502/mshsj.v4i4.2484 ]

بنابراین،

| | |
|---|---|
| پهنه ۱: | شهرهای ۲، ۶ |
| پهنه ۲: | شهرهای ۱، ۳ و ۷ |
| پهنه ۳: | شهر ۸ |
| پهنه ۴: | شهرهای ۴ و ۵ |

این نمایش پاسخ نمی‌تواند باعث جلوگیری از تشکیل پاسخ‌های ناموجه شود. به دلیل وجود ماهیت تصادفی در تولید پاسخ‌های اولیه، به منظور موجه کردن پاسخ‌ها در تولید جمعیت اولیه و همچنین در هر تکرار باید از الگوریتمی اصلاح کننده استفاده نمود. ساختار این الگوریتم به صورت زیر بیان می‌شود.

**گام۱:** در ابتدا تمامی پاسخ‌ها به طور تصادفی مطابق با ساختار فوق تولید می‌شوند.

**گام۲:** برای هر یک از پهنه‌ها چک می‌شود که آیا اعضای تخصیص یافته به آن دارای پیوستگی ارتباطی هستند یا خیر. در واقع به ازای هریک از پهنه‌ها باید بتوان درخت پوشا را به ازای نقاط تخصیص یافته به آن به‌دست آورد. این موضوع از آن جهت دارای اهمیت است که در یک درخت پوشا تمامی رئوس دارای پیوستگی ارتباطی با یکدیگر هستند. در این مطالعه به منظور به‌دست آوردن درخت پوشا در هر تکرار، از الگوریتم کراسکال استفاده می‌شود.

**گام ۳:** برای هریک از پهنه‌ها باید بررسی شود که ارتباطات غیرداخلی گره‌های موجود در آن پهنه، با یک پهنه منحصر به فرد رخ ندهد. در واقع باید این تضمین به وجود آید که ارتباطات داخلی گره‌های یک پهنه، حداقل با ۲ پهنه‌ی دیگر رخ دهد. این تضمین می‌کند هیچ پهنه‌ای داخل پهنه دیگر قرار ندارد.

تابع برازندگی

به منظور محاسبه برازندگی هر یک از پاسخ‌های تولید شده و ادامه روند اجرای الگوریتم‌ها، بایستی تابع محاسبه‌ی ارزش پاسخ‌ها به گونه‌ای مشخص شود که منجر به ایجاد تعادل در جمعیت پهنه‌ها گردد. بنابراین می‌توان مطابق با ساختار زیر، تابع هدف مسأله که در واقع تابع برازندگی پاسخ‌ها است، را محاسبه نمود.

نمادها

| | |
|---|---|
| $I$ | نماد شهرها |
| $P$ | نماد پهنه‌ها |

پارامترها

| | |
|---|---|
| $Inh_i$ | جمعیت شهر $i$ |

متغیرهای تصمیم

| | |
|---|---|
| $x_{ip}$ | مقدار ۱ می‌گیرد اگر شهر $i$ به پهنه $p$ تخصیص یابد و در غیر اینصورت برابر ۰ خواهد بود |
| $U_p$ | مجموع جمعیت نقاط جمعیتی موجود در پهنه $p$ |

$$\text{Min } Z = \max_{p<p'}\{|U_p - U_{p'}|\} \quad (۱)$$

که در آن

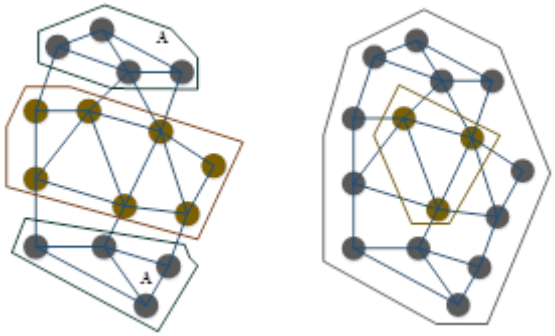
$$\sum_i x_{ip}\, Inh_i = U_p \qquad \forall p \quad (۲)$$

$$x_{ip} \in \{0,1\} \quad (۳)$$

تابع هدف ارایه شده به کمینه‌سازی حداکثر اختلاف موجود در جمعیت پهنه‌ها می‌پردازد. قابل ذکر است که معادله‌ی (۲) نیز جمعیت موجود در هر پهنه را با توجه به شهرهای تخصیص یافته به آن محاسبه می‌کند. البته به منظور ایجاد پهنه‌بندی مناسب، چندین محدودیت دیگر نیز وجود دارد.

- محدودیت تخصیص منحصر به فرد: این محدودیت تضمین می‌کند که هر شهر تنها به یک پهنه تخصیص یابد.
- محدودیت عدم وجود تخصیصات نامتعارف: این محدودیت تضمین می‌کند که پهنه‌های ایجاد شده دارای ساختاری پیوسته بوده و دارای اشکال نامتعارف مانند شکل ۳ نباشد.

[ Downloaded from mshsj.ssu.ac.ir on 2026-11-18 ]
[ DOR: 20.1001.1.24766879.1398.4.4.6.6 ]
[ DOI: 10.18502/mshsj.v4i4.2484 ]



(ب) (الف)

شکل ۳: پهنه‌هایی با ساختارهای نامتعارف

مطابق شکل ۳- (الف) مشاهده می‌شود که در یک تخصیص نامتعارف، ممکن است که یک پهنه در داخل پهنه دیگر باشد. همچنین مطابق شکل ۳- (ب) ممکن است نقاط یک پهنه دارای ساختاری پیوسته نباشند و پهنه مورد نظر به ۲ یا چند قسمت تقسیم شود. در الگوی ارائه شده جهت اصلاح پاسخ‌های تولیدی، با توجه به تشکیل درخت در هر پهنه، تضمینی به وجود می‌آید که ناپیوستگی رخ ندهد. همچنین با توجه به گام ۳ در رویه اصلاح پاسخ‌ها، تضمین به وجود می‌آید که هیچ پهنه‌ای در داخل پهنه دیگر قرار نگیرد.

الگوریتم ازدحام ذرات

الگوریتم ازدحام ذرات (PSO) یک الگوریتم جستجوی اجتماعی است که از روی رفتار اجتماعی دسته‌های پرندگان مدل شده است. در این الگوریتم، پرندگان یا همان ذرات در فضای جستجو پخش می‌شوند. تغییر مکان ذرات در فضای جستجو تحت تأثیر تجربه و دانش خودشان و همچنین همسایگان‌شان است. نتیجه‌ی مدل‌سازی این رفتار اجتماعی فرآیند جستجویی است که ذرات به سمت نواحی دارای پاسخ بهتر میل می‌کنند. ذرات از یکدیگر می‌آموزند و بر مبنای دانش به‌دست آمده به سمت بهترین همسایگان خود می‌روند. اساس کار الگوریتم ازدحام ذرات بر این اصل استوار است که در هر لحظه، هر ذره مکان خود را در فضای جستجو با توجه به بهترین مکانی که تاکنون در آن قرار گرفته است (تجربه‌ی فردی) و بهترین مکانی که در کل همسایگی‌اش وجود دارد (تجربه‌ی جمعی)، انتخاب می‌کند.

ساختار این الگوریتم بدین صورت است که گروهی از پرندگان در فضایی به صورت تصادفی دنبال غذا هستند. این در حالی است که تنها یک تکه غذا در فضای مورد نظر وجود دارد و هیچ یک از پرندگان محل غذا را نمی‌دانند. یکی از بهترین استراتژی‌ها می‌تواند دنبال کردن پرنده‌ای باشد که کمترین فاصله را تا غذا داشته باشد. این استراتژی در واقع مفهوم اصلی طراحی الگوریتم ازدحام ذرات است. هر جواب که به آن یک ذره گفته می‌شود دارای برازندگی مشخصی است. هر چه ذره در فضای جستجو به هدف نزدیک‌تر باشد، دارای برازندگی بهتری است.

همچنین هر ذره دارای یک سرعت است که هدایت حرکت ذره را بر عهده دارد. هر ذره با دنبال کردن ذرات بهینه در حالت فعلی، به حرکت خود در فضای مسأله ادامه می‌دهد. در هر گام، موقعیت هر ذره با استفاده از ۲ مقدار به روز می‌شود. اولین مورد، بهترین موقعیتی است که تاکنون ذره موفق به رسیدن به آن شده است. موقعیت مذکور با نام Pbest شناخته و نگهداری می‌شود. مقدار دیگر، بهترین موقعیتی است که تاکنون توسط جمعیت ذرات به‌دست آمده است. این موقعیت نیز با Gbest نمایش داده می‌شود.

پس از یافتن بهترین مقادیر، سرعت و مکان هر ذره با استفاده از معادلات زیر به روز می‌شود.

$$v = v + c1 \times rand \times (Pbest - position) + c2 \times rand \times (Gbest - position) \quad (۴)$$

$$position = position + v \quad (۵)$$



[ Downloaded from mshsj.ssu.ac.ir on 2026-11-18 ]
[ DOR: 20.1001.1.24766879.1398.4.4.6.6 ]
[ DOI: 10.18502/mshsj.v4i4.2484 ]

سمت راست معادله نخست از ۳ قسمت تشکیل شده است. قسمت اول، سرعت فعلی ذره است که همان مفهوم اینرسی را پیاده‌سازی می‌کند. قسمت‌های دوم و سوم تغییر سرعت ذره و چرخش آن به سمت بهترین تجربه شخصی و بهترین تجربه جمعی را به عهده دارند. اگر قسمت اول در این معادله در نظر گرفته نشود، آنگاه سرعت ذرات تنها با توجه به موقعیت فعلی و بهترین تجربه ذره و بهترین تجربه جمعی تعیین می‌شود. به این ترتیب، بهترین ذره در جای خود ثابت می‌ماند و سایرین به سمت آن ذره حرکت می‌کنند. در واقع حرکت دسته جمعی ذرات بدون قسمت اول معادله نخست، پروسه‌ای خواهد بود که طی آن فضای جستجو به تدریج کوچک شده و جستجویی محلی حول بهترین ذره شکل می‌گیرد. در مقابل اگر فقط قسمت اول معادله نخست در نظر گرفته شود، ذرات راه عادی خود را می‌روند تا به دیواره محدوده برسند و به نوعی جستجویی سراسری را انجام می‌دهند. معیار توقف این است که الگوریتم پس از انجام تعداد مشخصی تکرار متوقف شود. در این مطالعه الگوریتم تا $k = 1000$ مرتبه تکرار شده و همین که مقدار تابع هدف یک مرحله نسبت به مرحله قبل تغییر نکرد، روند اجرا متوقف می‌گردد.

ساختار کلی الگوریتم ازدحام ذرات به صورت شبه کد زیر است.

ساختار الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات

```
For each particle {
Initialize particle
} end
While (Stop Criteria = False) {
For each particle
Population ← Calculate fitness value of the particle
updating particle's best fitness value so far
If (Fitness(Population) is better than Pbest)
set current value as the new Pbest
} end
updating population's best fitness value so far
Set Gbest to the best fitness value of all particles
For each particle {
Calculate particle velocity
Update particle position
} end
} end
```

الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک (GA) در سال ۱۹۷۳ ابداع شده است. ساختار الگوریتم بدین صورت است که در ابتدا به طور تصادفی چندین جواب برای مسأله تولید می‌شوند. این مجموعه جواب را جمعیت اولیه و هر عضو آن که در واقع یک پاسخ است را یک کروموزوم می‌نامند. سپس با به کارگیری نسل جدید موسوم به فرزندان به وسیله اعمال عملگرهای ژنتیک بر روی نسل قبلی تولید می‌شوند.

تولید مثل (همگذری) و جهش، عملگرهای اصلی الگوریتم ژنتیک برای تولید فرزندان (جواب‌های جدید) می‌باشند. همگذری فرآیندی است که در آن، با ترکیب اطلاعات ۲ والد، ۱ (یا چند) جواب جدید به عنوان فرزند، تولید می‌شوند. عملگر همگذری مورد استفاده از نوع ۲ نقطه برش است. عملگر جهش نیز از طریق انتخاب چند ژن از کروموزوم و تعویض مقادیر آن‌ها، اعمال می‌شود. پس از این مرحله، عملگر جایگزینی اعمال می‌شود. هدف از جایگزینی، انتخاب اعضای جمعیت شایسته در هر نسل برای حضور در نسل آینده است. به عبارت دیگر هدف از جایگزینی، تولید نسلی جدید است که از منظر برازندگی از متوسط نسل فعلی بهتر باشند. در این تحقیق برای عمل جایگزینی از روش نمونه تصادفی باقیمانده بدون جایگزینی استفاده می‌شود (۲۴).

روش نمونه تصادفی باقیمانده بدون جایگزینی

بر طبق این روش، ابتدا برای هر کروموزوم طبق فرمول زیر و براساس احتمال وجود هر کروموزوم در نسل بعد، کپی‌هایی تولید می‌شود که تعدادشان از فرمول زیر حاصل می‌گردد.

$$e(i) = P_i \times Popsize \quad (۶)$$



[ Downloaded from mshsj.ssu.ac.ir on 2026-11-18 ]
[ DOR: 20.1001.1.24766879.1398.4.4.6.6 ]
[ DOI: 10.18502/mshsj.v4i4.2484 ]

که درآن

$$P_i = 1 - \frac{F_i}{\sum F_i}. \quad (۷)$$

در روش مذکور ابتدا به تعداد قسمت صحیح $e(i)$، کپی از هر کروموزوم تولید شده و در استخر پاسخ‌ها قرار داده شده و سپس براساس قسمت اعشاری کورموزوم‌ها که ابتدا به شکل اعداد بین ۰ و ۱ استاندارد شده‌اند، قسمت باقی مانده استخر پاسخ پر می‌شود. بدین منظور ابتدا عددی بین ۰ و ۱ تولید شده و بر اساس اعداد استاندارد شده تولیدی از قسمت کسری $e(i)$ به نحوی که از هر کروموزوم حداکثر یک کپی اضافه تهیه شود، استخر پاسخ تکمیل می‌گردد. در این مسأله اندازه استخر پاسخ برابر با اندازه جمعیت اولیه است. معیار توقف، اجرای تعداد تکرارهای الگوریتم تا رسیدن به یک مقدار از پیش تعیین شده است. این الگوریتم مشابه با الگوریتم قبل، تا $k = 1000$ مرتبه تکرار شده و به محض این که مقدار تابع هدف یک مرحله نسبت به مرحله قبل تغییر نکرد، روند اجرا متوقف می‌گردد. البته خاطر نشان می‌گردد که برای بر آورده کردن شرایط یکسان، هر ۳ الگوریتم از همین شرط توقف استفاده می‌کنند. ساختار الگوریتم ژنتیک ارایه شده مطابق زیر است.

ساختار الگوریتم ژنتیک

```
Input ← {algorithm parameters}
Number of districts ← maximum number of possible districts
While (Stop Criteria = False ) {
Population ← Initialize the population
Fitnees ← objective function value for each member of the population
Population ← Remainder Stochastic Sampling Without Replacement Policy (PopulationRSSWRP)
PopulationRSSWRP ← Crossover (CrossoverPopulation)
CrossoverPopulation ← Mutation (MutationPopulation)
MutationPopulation ← Carryout the replacement strategy and evaluate the new generation
}end
```

الگوریتم تکامل تفاضلی

الگوریتم تکامل تفاضلی (DE) یک روش بهینه-سازی احتمالاتی مبتنی بر جمعیت است. عملکرد این الگوریتم در نحوه‌ی تولید جمعیت اولیه و ادامه‌ی تکامل نسل‌های آینده مشابه الگوریتم ژنتیک است. تنها عملگرهای برش و جهش در این الگوریتم با رویکرد دیگری استفاده می‌شود. فرایند کلی الگوریتم فوق به شکل زیر است.

ابتدا از عملگر جهش برای تولید یک بردار مطلوب $U^r(t)$ استفاده می‌شود.

عملگر اصلی برش که به صورت برش گسسته، دو جمله‌ای یا نمایی است، برای تولید فرزند جدید با استفاده از بردار مطلوب $U^r(t)$ و یک جواب والد $X^r(t)$ به صورت احتمالی صورت می‌گیرد.

در عمل اصلی برش همیشه یک فرزند تولید می‌شود که حجم محاسبات را تقریباً کاهش می‌دهد و جهت‌گیری فرزندان بر اساس بردار مطلوب صورت می‌پذیرد.

عملگر جهش DE، با جهش دادن یک پاسخ و یک تفاضل وزن‌دار بین دیگر والدها که به صورت احتمالاتی انتخاب می‌شود، پاسخ جدیدی را تولید می‌کند. لذا برای والد $i-1$، $X_j^r(t)$ بردار پاسخ تولید شده و سپس:

- ✓ یک بردار هدف $U^r(t)$ از جمعیت انتخاب می‌شود به گونه‌ای که $i \neq j$
- ✓ به طور تصادفی ۲ والد دیگر $X_k^r(t)$ و $X_l^r(t)$ از جمعیت انتخاب می‌شوند؛ به طوری که:

$$\begin{cases} i \neq j \neq k \neq l \\ k, l \approx U(l, n_s) \end{cases} \quad (۸)$$

- ✓ بردار هدف برای والد i‌ام بدین شکل تولید می‌گردد:

$$U_i^r(t) = X_j^r(t) + \beta\left(X_k^r(t) - X_l^r(t)\right) \quad (۹)$$

که در آن $\beta \in (0, \infty)$ یک ضریب مقیاس است و میزان تغییر تفاضل را بین جمعیت کنترل می‌کند. استراتژی عملگر برش در واقع یک ترکیب گسسته از بردار هدف $U_i^P(t)$ و بردار والد $X_i^P(t)$ برای تولید فرزند $X_{ij}^P(t)$ است که به شکل زیر به‌دست می‌آید.

$$X_{ij}^P(t) = \begin{cases} i \neq j \neq k \neq l \\ k, l \approx U(l, n_s) \end{cases} \quad (۱۰)$$

$$X_{ij}(t) = \begin{cases} U_{ij}(t) & \text{if } j \in J,\ p_r \geq p_g \\ X_{ij}(t) & \text{others} \end{cases} \quad (۱۱)$$



[ Downloaded from mshsj.ssu.ac.ir on 2026-11-18 ]
[ DOR: 20.1001.1.24766879.1398.4.4.6.6 ]
[ DOI: 10.18502/mshsj.v4i4.2484 ]

قابل ذکر است که تمامی مثال‌ها به کمک نرم افزار Matlab توسط رایانه‌ای با قدرت پردازندگی ۳/۲ گیگاهرتز، حافظه تصادفی در دسترس ۴ گیگابایت و سیستم عامل ویندوز ۱۰، حل شده است. ضمناً این مطالعه در معاونت پژوهشی دانشگاه صنعتی بیرجند با کد RP/95/1007 تایید شده است.

**یافته‌ها**

به منظور بررسی کارایی الگوریتم‌ها، تعدادی مثال عددی تولید شده است. در این مثال‌ها تعداد نقاط جمعیتی (C) و تعداد پهنه‌ها (D) مشخص می‌شوند. نکته‌ی قابل توجه در این مثال‌ها جمعیت و فاصله‌ی بین نقاط جمعیتی است که باید به شکل دقیق مشخص گردند. بدین منظور برای هر مثال، محیطی ۲ بعدی در نظر گرفته شده است. برای تمامی مثال‌های تولیدی، ابعاد محیط مورد نظر از بازه‌ی $U(100,150)$ اختیار شده است. سپس به ازای هر بعد $x$ و $y$ محیط مسأله ، تعداد $|C|$ عدد تصادفی غیر تکراری انتخاب شده و به صورت مجموعه‌ی $\{i \in C|(x_i, y_i)\}$ در نظر گرفته می‌شود. این مجموعه‌ها در واقع مختصات جغرافیایی مناطق جمعیتی مثال مورد نظر هستند. نحوه‌ی ارتباط بین نقاط باید به شکل شبکه گراف همبند بوده و فاصله‌ی بین نقاط به کمک فاصله اقلیدسی محاسبه شود. طبق مطالب فوق، ساختار مسأله شکل گرفته و در گام بعد باید جمعیت هر نقطه مشخص گردد. در این مرحله ابتدا نقاط جمعیتی مورد نظر به ۲ دسته‌ی نقاط روستایی و شهری تقسیم‌بندی شده‌اند. نسبت تعداد نقاط روستایی به نقاط شهری را می‌توان به کمک روابط زیر مشخص نمود. این روابط بر طبق شرایط فعلی کشور ایران ارایه شده است. طبق اطلاعات آماری آخرین سرشماری انجام شده در ایران، تعداد کل نقاط جمعیتی (T) ۹۷۸۷۷ است که در این بین تعداد روستاها (NV) برابر با ۹۶۵۴۶ و تعداد شهرها (NC) برابر با ۱۳۳۱ است. همچنین جمعیت کل کشور (TP) حدود ۸۰ میلیون نفر بوده که سهم روستاها (VPP) ۲۸ درصد و سهم شهرها (CPP) ۷۲ درصد از کل جمعیت است. بنابراین نسبت تعداد نقاط روستایی (NVP) و نقاط شهری (NCP) و همچنین جمعیت هر نقطه برای مثال‌های تولیدی را می‌توان به شکل زیر ارایه کرد.

$$MCP = \frac{TP \times CPP}{NC}, \quad (۱۲)$$

$$MVP = \frac{TP \times VPP}{NV}, \quad (۱۳)$$

$$NCP = \frac{NC}{T}, \quad (۱۴)$$

$$NVP = \frac{NV}{T}. \quad (۱۵)$$

در ابتدا از بین تعداد نقاط جمعیتی مورد نظر ($|C|$) به طور تصادفی تعداد $\lceil |C| \times NCP \rceil$ نقطه به عنوان نقاط شهری و تعداد $\lfloor |C| \times NVP \rfloor$ نقطه به عنوان نقاط روستایی در نظر گرفته می‌شود. جمعیت هر یک از نقاط نیز برای شهرها و روستاها با استفاده از توزیع نرمال به ترتیب از $N\sim(MCP, \rho)$ و $N\sim(MVP, \varphi)$ انتخاب می‌شود که در آن $\rho$ و $\varphi$ انحراف معیار توزیع نرمال بوده و مطابق روابط زیر محاسبه می‌شوند.

$$\rho = \sqrt{\frac{\sum_{i \in city}(MCP - Inh_i)^2}{\lceil |C| \times NCP \rceil - 1}}, \quad (۱۶)$$

$$\varphi = \sqrt{\frac{\sum_{i \in village}(MVP - Inh_i)^2}{\lfloor |C| \times NVP \rfloor - 1}}. \quad (۱۷)$$

پس از تولید مثال‌های عددی مطابق با رویه‌ی فوق، به منظور ارزیابی کارایی الگوریتم‌های پیشنهادی، هر یک از این مثال‌ها توسط هر ۳ الگوریتم حل گردید. جدول ۲ نتایج حاصل از این محاسبات را نشان می‌دهد.

[ Downloaded from mshsj.ssu.ac.ir on 2026-11-18 ]
[ DOR: 20.1001.1.24766879.1398.4.4.6.6 ]
[ DOI: 10.18502/mshsj.v4i4.2484 ]

جدول ۲: مقایسه نتایج حاصل از حل الگوریتم‌ها

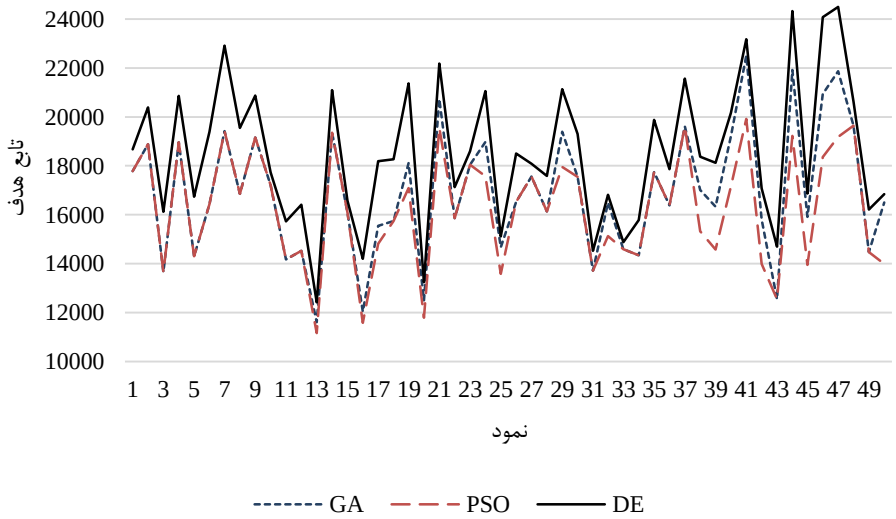
| نمود | اندازه (پهنه-شهر) | GA | | PSO | | DE | | GAP | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | تابع هدف | زمان (ثانیه) | تابع هدف | زمان (ثانیه) | تابع هدف | زمان (ثانیه) | GA-PSO | GA-DE | PSO-DE |
| ۱ | ۱۰-۲ | ۱۷۷۸۸ | ۴۲ | ۱۷۷۸۸ | ۶۰ | ۱۸۶۷۷ | ۴۰ | ۰ | ۰/۰۵ | ۰/۰۵ |
| ۲ | ۱۲-۲ | ۱۸۸۷۸ | ۹۹ | ۱۸۸۷۸ | ۶۱ | ۲۰۳۸۸ | ۴۰ | ۰ | ۰/۰۷ | ۰/۰۷ |
| ۳ | ۱۵-۲ | ۱۳۶۶۳ | ۱۰۹ | ۱۳۶۶۳ | ۷۹ | ۱۶۱۲۲ | ۹۹ | ۰ | ۰/۱۵ | ۰/۱۵ |
| ۴ | ۲۰-۳ | ۱۸۹۶۷ | ۱۲۱ | ۱۸۹۶۷ | ۱۶۰ | ۲۰۸۶۴ | ۱۱۹ | ۰ | ۰/۰۹ | ۰/۰۹ |
| ۵ | ۲۰-۴ | ۱۴۳۰۲ | ۱۲۹ | ۱۴۳۰۲ | ۱۶۰ | ۱۶۷۳۳ | ۱۴۲ | ۰ | ۰/۱۵ | ۰/۱۵ |
| ۶ | ۳۰-۵ | ۱۶۴۳۸ | ۱۴۴ | ۱۶۴۳۸ | ۱۷۱ | ۱۹۳۹۷ | ۱۴۹ | ۰ | ۰/۱۵ | ۰/۱۵ |
| ۷ | ۳۵-۵ | ۱۹۴۱۶ | ۱۷۱ | ۱۹۴۱۶ | ۲۵۷ | ۲۲۹۱۱ | ۱۵۳ | ۰ | ۰/۱۵ | ۰/۱۵ |
| ۸ | ۳۵-۶ | ۱۵۸۵۲ | ۱۷۵ | ۱۶۸۵۲ | ۳۰۶ | ۱۹۵۴۸ | ۱۹۵ | ۰ | ۰/۱۴ | ۰/۱۴ |
| ۹ | ۴۰-۵ | ۱۹۱۵۴ | ۲۰۶ | ۱۹۱۵۴ | ۳۱۸ | ۲۰۸۷۸ | ۲۰۲ | ۰ | ۰/۰۸ | ۰/۰۸ |
| ۱۰ | ۴۵-۵ | ۱۷۲۱۰ | ۲۰۷ | ۱۷۲۱۰ | ۳۷۷ | ۱۷۷۲۶ | ۲۳۲ | ۰ | ۰/۰۳ | ۰/۰۳ |
| ۱۱ | ۵۰-۶ | ۱۴۱۶۶ | ۲۲۱ | ۱۴۱۶۶ | ۳۰۷ | ۱۵۷۲۴ | ۲۶۲ | ۰ | ۰/۱۰ | ۰/۱۰ |
| ۱۲ | ۵۵-۶ | ۱۴۵۲۴ | ۲۲۵ | ۱۴۵۲۴ | ۳۱۱ | ۱۶۴۱۲ | ۲۹۰ | ۰ | ۰/۱۲ | ۰/۱۲ |
| ۱۳ | ۶۰-۶ | ۱۱۶۰۱ | ۲۲۸ | ۱۱۱۵۵ | ۳۳۲ | ۱۲۴۱۳ | ۳۳۳ | ۰/۰۴ | ۰/۰۷ | ۰/۱۰ |
| ۱۴ | ۷۰-۶ | ۱۹۳۵۷ | ۲۳۸ | ۱۹۳۵۷ | ۳۳۶ | ۲۱۰۹۹ | ۳۴۴ | ۰ | ۰/۰۸ | ۰/۰۸ |
| ۱۵ | ۸۰-۷ | ۱۶۰۹۹ | ۲۴۶ | ۱۶۰۹۹ | ۳۵۴ | ۱۶۵۸۲ | ۳۶۷ | ۰ | ۰/۰۳ | ۰/۰۳ |
| ۱۶ | ۸۵-۸ | ۱۲۰۳۵ | ۳۶۱ | ۱۱۵۷۲ | ۳۹۳ | ۱۴۲۰۱ | ۴۷۷ | ۰/۰۴ | ۰/۱۵ | ۰/۱۹ |
| ۱۷ | ۹۰-۸ | ۱۵۵۴۵ | ۳۰۳ | ۱۴۸۰۵ | ۵۰۲ | ۱۸۱۸۸ | ۴۹۶ | ۰/۰۵ | ۰/۱۵ | ۰/۱۹ |
| ۱۸ | ۱۰۰-۸ | ۱۵۷۴۷ | ۳۰۶ | ۱۵۷۴۷ | ۵۰۳ | ۱۸۲۶۷ | ۵۴۵ | ۰ | ۰/۱۴ | ۰/۱۴ |
| ۱۹ | ۱۱۰-۹ | ۱۸۱۱۲ | ۴۰۸ | ۱۷۰۸۷ | ۵۰۴ | ۲۱۳۷۲ | ۵۴۹ | ۰/۰۶ | ۰/۱۵ | ۰/۲۰ |
| ۲۰ | ۱۲۰-۹ | ۱۲۴۸۸ | ۴۲۶ | ۱۱۷۸۱ | ۵۴۲ | ۱۳۲۳۷ | ۵۹۴ | ۰/۰۶ | ۰/۰۶ | ۰/۱۱ |
| ۲۱ | ۱۳۰-۹ | ۲۰۷۲۴ | ۴۲۷ | ۱۹۵۵۱ | ۵۹۳ | ۲۲۱۷۵ | ۶۶۳ | ۰/۰۶ | ۰/۰۷ | ۰/۱۲ |
| ۲۲ | ۱۵۰-۱۰ | ۱۵۸۶۱ | ۴۲۷ | ۱۵۸۶۱ | ۵۹۷۱ | ۱۷۱۳۰ | ۶۷۴ | ۰ | ۰/۰۷ | ۰/۰۷ |
| ۲۳ | ۲۰۰-۱۰ | ۱۸۰۵۱ | ۴۵۳ | ۱۸۰۵۱ | ۶۰۷ | ۱۸۵۹۳ | ۶۷۴ | ۰ | ۰/۰۳ | ۰/۰۳ |
| ۲۴ | ۲۳۰-۱۰ | ۱۸۹۷۳ | ۴۸۷ | ۱۷۵۶۸ | ۶۱۵ | ۲۱۰۶۱ | ۶۸۶ | ۰/۰۸ | ۰/۱۰ | ۰/۱۷ |
| ۲۵ | ۲۵۰-۱۰ | ۱۴۶۶۶ | ۵۱۴ | ۱۳۵۸۰ | ۶۴۹ | ۱۵۱۰۶ | ۷۵۲ | ۰/۰۸ | ۰/۰۳ | ۰/۱۰ |
| ۲۶ | ۳۰۰-۱۱ | ۱۶۵۲۶ | ۵۳۱ | ۱۶۵۲۶ | ۶۶۵ | ۱۸۵۰۹ | ۷۶۱ | ۰ | ۰/۱۱ | ۰/۱۱ |
| ۲۷ | ۳۵۰-۱۱ | ۱۷۵۶۳ | ۵۳۹ | ۱۷۵۶۳ | ۶۸۰ | ۱۸۰۹۰ | ۷۷۷ | ۰ | ۰/۰۳ | ۰/۰۳ |
| ۲۸ | ۳۸۰-۱۱ | ۱۶۱۳۲ | ۵۸۱ | ۱۶۱۳۲ | ۷۰۵ | ۱۷۵۸۴ | ۷۸۲ | ۰ | ۰/۰۸ | ۰/۰۸ |
| ۲۹ | ۴۰۰-۱۱ | ۱۹۳۹۲ | ۶۱۳ | ۱۷۹۵۶ | ۷۱۴ | ۲۱۱۳۸ | ۷۹۰ | ۰/۰۸ | ۰/۰۸ | ۰/۱۵ |
| ۳۰ | ۴۰۰-۱۲ | ۱۷۵۴۹ | ۶۵۲ | ۱۷۵۴۹ | ۷۴۱ | ۱۹۳۰۴ | ۸۲۴ | ۰ | ۰/۰۹ | ۰/۰۹ |
| ۳۱ | ۴۵۰-۱۲ | ۱۳۷۰۵ | ۶۸۳ | ۱۳۷۰۵ | ۷۴۲ | ۱۴۵۲۷ | ۸۳۱ | ۰ | ۰/۰۶ | ۰/۰۶ |
| ۳۲ | ۴۵۰-۱۳ | ۱۶۴۹۰ | ۷۹۸ | ۱۵۱۲۸ | ۷۸۸ | ۱۶۸۱۹ | ۸۴۰ | ۰/۰۹ | ۰/۰۲ | ۰/۱۰ |
| ۳۳ | ۴۸۰-۱۳ | ۱۴۵۹۱ | ۸۳۲ | ۱۴۵۹۱ | ۷۹۵ | ۱۴۸۸۳ | ۸۴۲ | ۰ | ۰/۰۲ | ۰/۰۲ |
| ۳۴ | ۵۰۰-۱۴ | ۱۴۳۴۵ | ۸۶۲ | ۱۴۳۴۵ | ۷۹۸ | ۱۵۷۸۰ | ۸۵۷ | ۰ | ۰/۰۹ | ۰/۰۹ |
| ۳۵ | ۵۵۰-۱۵ | ۱۷۷۴۵ | ۸۷۵ | ۱۷۷۴۵ | ۹۴۹ | ۱۹۸۷۴ | ۸۵۹ | ۰ | ۰/۱۱ | ۰/۱۱ |
| ۳۶ | ۵۵۰-۱۶ | ۱۶۳۸۶ | ۸۹۶ | ۱۶۳۸۶ | ۹۵۸ | ۱۷۸۶۱ | ۸۸۷ | ۰ | ۰/۰۸ | ۰/۰۸ |
| ۳۷ | ۶۰۰-۱۶ | ۱۹۶۱۰ | ۹۸۱ | ۱۹۶۱۰ | ۹۶۹ | ۲۱۵۷۱ | ۹۳۱ | ۰ | ۰/۰۹ | ۰/۰۹ |
| ۳۸ | ۷۰۰-۱۶ | ۱۷۰۱۳ | ۹۸۸ | ۱۵۳۲۷ | ۱۰۰۶ | ۱۸۳۷۴ | ۹۵۲ | ۰/۱۱ | ۰/۰۷ | ۰/۱۷ |
| ۳۹ | ۷۵۰-۱۶ | ۱۶۳۳۲ | ۱۰۰۰ | ۱۴۵۸۲ | ۱۰۱۲ | ۱۸۱۲۸ | ۹۹۱ | ۰/۱۲ | ۰/۱۰ | ۰/۲۰ |
| ۴۰ | ۸۰۰-۱۷ | ۱۹۲۰۹ | ۱۰۰۱ | ۱۷۱۵۱ | ۱۰۲۵ | ۲۰۱۷۰ | ۱۰۰۱ | ۰/۱۲ | ۰/۰۵ | ۰/۱۵ |
| ۴۱ | ۸۰۰-۱۸ | ۲۲۵۰۲ | ۱۰۱۷ | ۱۹۹۱۳ | ۱۰۳۳ | ۲۳۱۷۷ | ۱۰۱۳ | ۰/۱۳ | ۰/۰۴ | ۰/۱۴ |



[ Downloaded from mshsj.ssu.ac.ir on 2026-11-18 ]
[ DOR: 20.1001.1.24766879.1398.4.4.6.6 ]
[ DOI: 10.18502/mshsj.v4i4.2484 ]

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۰/۱۸ | ۰/۰۷ | ۰/۱۳ | ۱۰۲۱ | ۱۷۰۷۳ | ۱۰۷۰ | ۱۳۹۹۰ | ۱۰۱۷ | ۱۵۸۰۹ | ۹۰۰-۱۸ | ۴۲ |
| ۰/۱۵ | ۰/۱۵ | ۰ | ۱۰۳۹ | ۱۴۶۸۷ | ۱۰۷۴ | ۱۳۵۵۳ | ۱۰۳۱ | ۱۲۵۵۳ | ۱۰۰۰-۱۹ | ۴۳ |
| ۰/۲۱ | ۰/۱۰ | ۰/۱۴ | ۱۰۴۲ | ۲۴۳۲۶ | ۱۰۷۷ | ۱۹۲۲۴ | ۱۰۴۴ | ۲۱۹۱۵ | ۱۰۰۰-۲۰ | ۴۴ |
| ۰/۱۷ | ۰/۰۶ | ۰/۱۴ | ۱۰۵۰ | ۱۶۸۶۱ | ۱۱۲۹ | ۱۳۹۵۳ | ۱۰۵۴ | ۱۵۹۰۶ | ۱۱۰۰-۲۰ | ۴۵ |
| ۰/۲۴ | ۰/۱۳ | ۰/۱۴ | ۱۰۸۵ | ۲۴۰۷۴ | ۱۱۵۱ | ۱۸۳۶۳ | ۱۰۶۶ | ۲۰۹۳۴ | ۱۲۰۰-۲۰ | ۴۶ |
| ۰/۲۲ | ۰/۱۱ | ۰/۱۴ | ۱۰۸۵ | ۲۴۴۹۴ | ۱۱۶۳ | ۱۹۱۸۴ | ۱۰۷۱ | ۲۱۸۷۰ | ۱۳۰۰-۲۰ | ۴۷ |
| ۰/۰۵ | ۰/۰۵ | ۰ | ۱۱۰۴ | ۲۰۶۲۵ | ۱۱۷۶ | ۱۹۶۴۳ | ۱۰۷۵ | ۱۹۶۴۳ | ۱۵۰۰-۲۰ | ۴۸ |
| ۰/۱۱ | ۰/۱۱ | ۰ | ۱۱۲۸ | ۱۶۲۰۸ | ۱۱۷۷ | ۱۴۴۷۱ | ۱۰۹۰ | ۱۴۴۷۱ | ۱۸۰۰-۲۰ | ۴۹ |
| ۰/۱۷ | ۰/۰۲ | ۰/۱۸ | ۱۱۵۴ | ۱۶۸۳۵ | ۱۱۹۲ | ۱۳۹۸۷ | ۱۰۹۶ | ۱۶۵۰۵ | ۲۰۰۰-۲۰ | ۵۰ |

با توجه به جدول ۲ مشاهده می‌شود که الگوریتم‌های PSO و GA تا حد زیادی دارای دقت مشابهی هستند. این درحالی است که الگوریتم DE حتی در ابعاد کوچک نیز پاسخ‌هایی با کیفیت پایین‌تر از الگوریتم‌های دیگر ارایه کرده است. این موضوع به خوبی در قسمت GAP محاسباتی جدول ۲ نشان داده شده است. دلیل نتایج نامطلوب حاصل برای روش DE تنها عدم کفایت این روش نیست بلکه ممکن است تعیین پارامترهای آن باعث این عدم مطلوبیت شده باشد. به منظور درک بهتر عملکرد الگوریتم‌ها در مسایل مختلف، پاسخ‌های حاصل را در قالب نمودارهای زیر به صورت مجزا ارایه شده است.



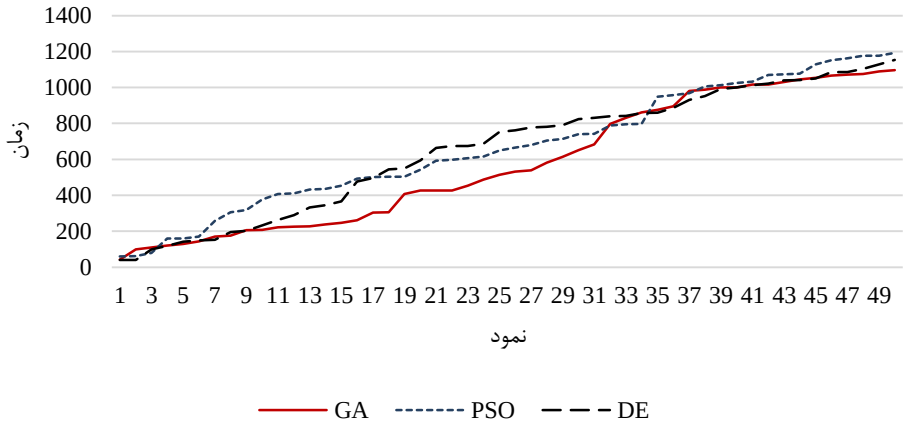

نمودار ۱: مقایسه مقادیر تابع هدف حاصله در الگوریتم‌های مختلف

طبق نمودار ۱ مشاهده می‌شود که در برخی از نمونه‌ها، پاسخ‌های الگوریتم GA و PSO کاملاً برهم منطبق بوده و یا دارای GAP بسیار کمی هستند. اما الگوریتم DE تقریبا در تمامی نمودها دارای GAP غیرقابل چشم‌پوشی است و عملکرد ضعیف‌تری را از خود نشان داده است.

در مورد زمان حل نیز می‌توان مشاهده کرد که الگوریتم GA در کل دارای زمان محاسباتی کمتری است. این درحالی است که الگوریتم PSO و DE تا حدی مشابه یکدیگر هستند. نمودار ۲ به طور مناسبی مقایسه بین زمان‌های حل را نشان داده است.



[ Downloaded from mshsj.ssu.ac.ir on 2026-11-18 ]
[ DOR: 20.1001.1.24766879.1398.4.4.6.6 ]
[ DOI: 10.18502/mshsj.v4i4.2484 ]




نمودار۲: مقایسه زمان حل الگوریتم‌های پیشنهادی

البته باید توجه داشت که پهنه‌بندی معمولاً جزء تصمیمات سطح استراتژیک سازمان بوده و زمان اجرا فاکتور مهمی محسوب نمی‌شود. در این گونه مسایل کیفیت پاسخ‌ها اهمیت بسیار بالاتری نسبت به زمان اجرا دارد. اما در این تحقیق به منظور ارزیابی کارایی الگوریتم‌ها، زمان حل نیز گزارش شده است.

با توجه به نتایج حاصل از حل الگوریتم‌ها مشاهده شد که الگوریتم PSO دارای بالاترین کارایی نسبت به سایر الگوریتم‌ها است؛ بنابراین در مطالعه حاضر نیز از این الگوریتم استفاده شد.

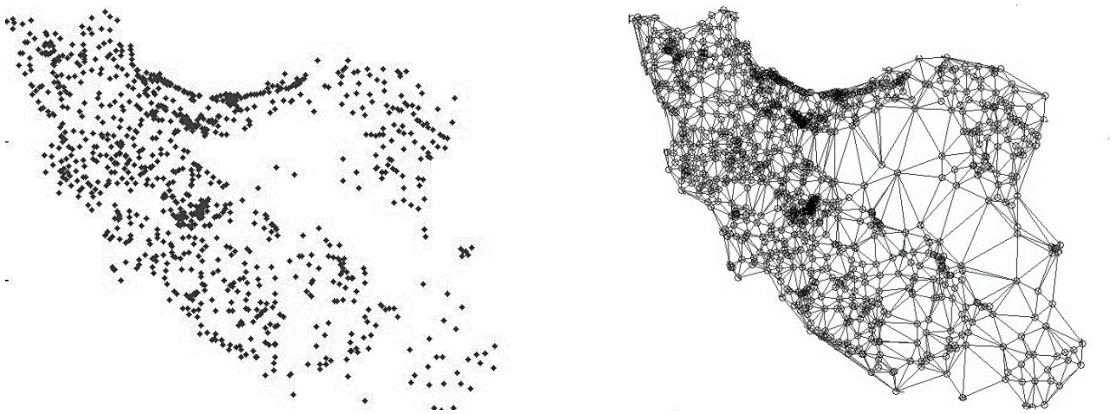
مدیریت خدمات درمانی همواره یکی از بزرگترین دغدغه‌های مدیران بخش سلامت بوده است. ارزش خدمات بخش‌های پزشکی در سال ۲۰۰۲ تقریباً ۲۴ میلیارد دلار آمریکا بود و پیش بینی شده بود تا سال ۲۰۰۷ به ۳۱ میلیارد دلار آمریکا افزایش یابد. ایران با جمعیت تقریبی ۸۰ میلیون نفری یکی از کشورهای پرجمعیت خاورمیانه است. ایران از نظر جمعیت شناسی جزء کشورهای جوان منطقه است و همواره همگام با رشد جمعیت، درخواست-های زیادی برای ارایه خدمات عمومی متنوع داشته است. افراد جمعیت به زودی به سن کافی برای تشکیل خانواده جدید می‌رسند. این موضوع باعث می‌شود رشد جمعیت به شکل قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته و مشخصاً نیاز به زیربنای سلامت عمومی و خدمات بهداشتی افزایش یابد. انتظار می‌رود تمام هزینه‌های خدمات درمانی از ۲۴/۳ هزار میلیارد دلار در سال ۲۰۰۸ به ۸۰ هزار میلیارد تا سال ۲۰۱۸ افزایش داشته باشند که نشان دهنده افزایش درخواست در خدمات پزشکی می‌باشد (۲۵).

کل هزینه‌های درمانی ایران در سال ۲۰۰۵ برار با ۴/۲۰ درصد از تولید ناخالص ملی بود. ۷۳ درصد از ایرانیان تحت پوشش بیمه درمانی می‌باشند. سازمان بهداشت جهانی (WHO) در آخرین گزارش خود عملکرد سطح سیستم بهداشتی در ایران را پنجاه و هشتمین سطح بهداشتی و عملکرد کلی سیستم سلامتی در ایران را رتبه ۹۳ را در میان دولت‌های جهان اعلام کرد. وضعیت بهداشتی در ایران نسبت به دو دهه‌ی قبل بهبود یافته‌است. ایران به واسطه‌ی برپایی شبکه‌ی وسیع خدمات بهداشتی اولیه توانست خدمات پیشگیری بهداشت عمومی را عرضه کند، در نتیجه سطح مرگ و میر مادر و کودک به طور قابل توجهی کاهش یافته و جالب اینکه متوسط طول عمر زندگی از زمان تولد افزایش یافته است. مرگ و میر نوزادان و کودکان زیر ۵ سال در سال ۲۰۰۰ در مقایسه با سال ۱۹۷۰ که از هر هزار نوزاد ۱۲۲ نفر و از هزار کودک زیر ۵ سال ۱۹۱ نفر می‌مردند، به ترتیب ۲۸/۶ و ۳۵/۶۶ از هزار تولد زنده کاهش یافته است (۲۶).

همانطور که بیان شد، جهت اجرای مدل برنامه‌ی استراتژیک نظام سلامت ایران، بایستی مناطق جمعیتی کشور به ۱۰ پهنه تقسیم شوند. از آنجایی که به دلیل گستردگی تعداد مناطق جمعیتی در کشور نمی‌توان تمامی نقاط را جهت حل مسأله مدنظر قرار داد، در این تحقیق بیش از هزار نقطه جمعیتی در نظر گرفته شده‌اند.



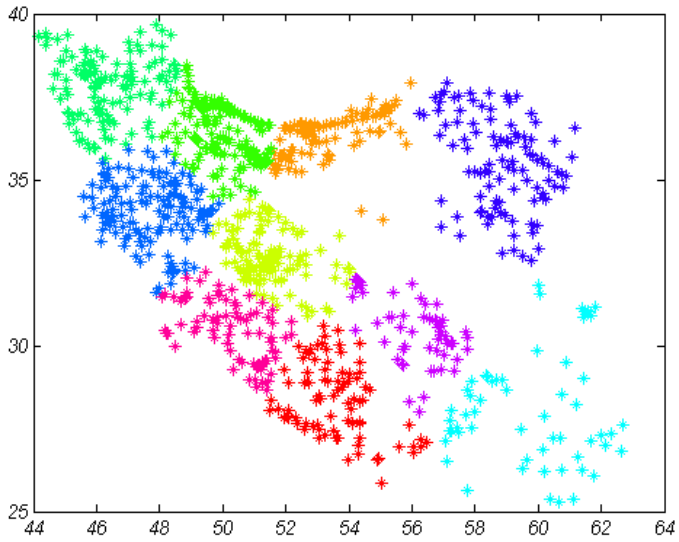
[ Downloaded from mshsj.ssu.ac.ir on 2026-11-18 ]
[ DOR: 20.1001.1.24766879.1398.4.4.6.6 ]
[ DOI: 10.18502/mshsj.v4i4.2484 ]



ب) ساختار گرافی نقاط جمعیتی
الف) ساختار نقاط جمعیتی

شکل ۵: ساختار نقاط جمعیتی کشور ایران

از آنجا که در حل مسایل پهنه‌بندی، ارتباطات بین نقاط به شکل گراف همبند در نظر گرفته می‌شود، نقاط جمعیتی موجود در شکل ۵ (الف) را با استفاده از دستور triangulation نرم افزار Matlab به ساختار گرافی شکل ۵ (ب) تبدیل گردید. پس از حل مسأله به کمک الگوریتم PSO، پهنه‌بندی حاصل به صورت شکل ۶ ارایه شد. نتایج زیر، بهترین نتایج حاصل از ۱۰ بار اجرای مستقل الگوریتم است. همچنین حد بالای تعداد تکرارها برابر با ۲ هزار درنظر گرفته شده است.




شکل ۶: ساختار گرافیکی حاصل از الگوریتم ازدحام ذرات

همانطور که شکل ۶ نشان می‌دهد، نقاط جمعیتی به ۱۰ پهنه‌ی منحصر به فرد تقسیم‌بندی شده‌اند. منظور از تخصیص منحصر به فرد این است که مطابق با تعریف بیان شده، هر گره باید دقیقاً به یک پهنه تخصیص یابد که به خوبی در نتایج لحاظ شده است. همچنین واضح است که هیچ‌گونه تخصیص نامتعارفی ایجاد نشده است. در واقع با توجه به مفهوم پیوستگی، مشاهده می‌شود که همه‌ی پهنه‌ها شرط پیوستگی را برآورده کرده و تمامی گره‌های داخل یک پهنه به شکل مستقیم یا غیر مستقیم با یکدیگر در ارتباط هستند. علاوه بر آن هیچ پهنه‌ای در داخل پهنه-ی دیگر محصور نشده است. این محدودیت که تحت عنوان محدودیت عدم وجود سوراخ در پهنه‌ها معرفی می‌شود، به خوبی توسط الگوریتم اصلاح پاسخ‌ها برآورده شده است. بنابراین این تضمین وجود دارد که الگوریتم اصلاحی در تمامی مراحل الگوریتم، همواره پاسخ‌های موجه را بررسی می‌کند. اما موضوع مهم دیگر، شکل ظاهری پهنه‌ها است.

[ Downloaded from mshsj.ssu.ac.ir on 2026-11-18 ]
[ DOR: 20.1001.1.24766879.1398.4.4.6.6 ]
[ DOI: 10.18502/mshsj.v4i4.2484 ]

همانطور که پیش‌تر بیان شد، در یک پهنه‌بندی مناسب، شکل ساختاری تمامی پهنه‌ها باید تا حد ممکن دارای ظاهری دایره‌ای شکل باشد که این موضوع نیز به خوبی لحاظ شده است. اما در مورد اندازه پهنه‌ها نیز باید به این موضوع توجه داشت که برخی از پهنه‌ها دارای ابعاد بزرگتری هستند. دلیل این موضوع در وجود تفاوت در تراکم جمعیتی در نقاط جمعیتی کشور است. در واقع در نواحی کویری فاصله‌ی بین نقاط از یکدیگر بیشتر بوده و همین موضوع باعث می‌شود که ساختار پهنه‌ها در نقاط شرقی، جنوب شرقی و نواحی مرکزی دارای ابعاد بزرگتری نسبت به نواحی شمالی و غربی کشور باشد. با توجه به تابع برازندگی مورد استفاده در این تحقیق که به ایجاد تعادل در جمعیتی پهنه‌ها توجه داشت، مقادیر تابع هدف نهایی و جمعیتی موجود در هر پهنه در جدول ۳ ارایه شده است. در این جدول علاوه بر جمعیت موجود در هر پهنه، میزان انحراف جمعیت هر پهنه از متوسط اندازه جمعیت هر پهنه نیز ارایه شده است. این اطلاعات می‌تواند جهت ارزیابی کارایی الگوریتم مفید باشد؛ چرا که هر چقدر میزان انحراف جمعیت پهنه‌ها از مقدار میانگین کمتر باشد، نشان از انجام محاسبات دقیق در روند اجرای الگوریتم دارد. قابل ذکر است که مجموع جمعیت نقاط در نظر گرفته شده ۵۳۷۲۴۲۵۵ است که مقدار میانگین برای ۱۰ پهنه ۵۳۷۲۴۲۵/۵ است.

جدول ۳: میزان جمعیت و درصد انحراف از میانگین جمعیت در هر پهنه

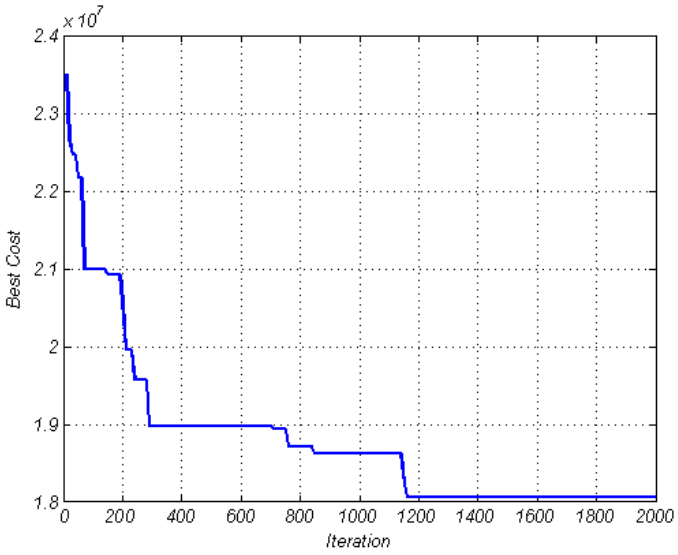
| شماره پهنه | جمعیت پهنه | درصد انحراف از میانگین جمعیت |
|---|---|---|
| ۱ | ۵۹۷۷۰۳۳ | ۱۱/۲۵ |
| ۲ | ۴۸۶۵۵۴۴ | ۹/۴۳ |
| ۳ | ۵۰۲۶۵۴۲ | ۶/۴۴ |
| ۴ | ۵۵۴۹۴۳۵ | ۳/۲۹ |
| ۵ | ۵۶۷۱۰۴۷ | ۵/۵۶ |
| ۶ | ۵۳۲۷۴۳۹ | ۰/۸۴ |
| ۷ | ۵۹۳۸۲۹۶ | ۱۰/۵۳ |
| ۸ | ۵۵۶۷۰۶۴ | ۳/۶۲ |
| ۹ | ۴۸۶۵۱۴۰ | ۹/۴۴ |
| ۱۰ | ۴۹۳۶۷۱۵ | ۸/۱۱ |

همانطور که مشاهده می‌شود، بیشترین میزان اختلاف برابر با ۱۱/۲۵ درصد است که در مقایسه با اندازه‌ی جمعیت کل قابل چشم‌پوشی می‌باشد. در حقیقت در تمامی پهنه‌ها، اندازه‌ی جمعیت موجود تا حد زیادی به مقدار میانگین جمعیت برابر است. بنابراین می‌توان گفت الگوریتم پیشنهادی دارای عملکرد مناسبی است.

موضوع مهم دیگر، نحوه‌ی همگرایی به پاسخ نهایی است. طبق ماهیت الگوریتم‌های فراابتکاری که از رویکردی تصادفی بهره می‌برند، این پیش‌بینی وجود دارد که در تکرارهای اولیه میزان همگرایی بسیار بیشتر از تکرارهای انتهایی باشد. دلیل این موضوع را می‌توان انتقال روند الگوریتم از فاز تنوع‌گرایی به فاز تعمق‌گرایی دانست. نمودار ۳ میزان روند همگرایی به پاسخ نهایی را نشان می‌دهد.



[ Downloaded from mshsj.ssu.ac.ir on 2026-11-18 ]
[ DOR: 20.1001.1.24766879.1398.4.4.6.6 ]
[ DOI: 10.18502/mshsj.v4i4.2484 ]




نمودار ۳: همگرایی به پاسخ نهایی در الگوریتم ازدحام ذرات

با توجه به شکل ۳، مطابق انتظار مشاهده می‌شود که در تکرارهای ابتدایی همگرایی الگوریتم بسیار سریع بوده و میزان بهبود در پاسخ‌ها کاملاً مشهود است و اما رفته رفته با افزایش تعداد تکرارها و بهبود یافتن مقدار تابع هدف، الگوریتم از فاز تنوع‌گرایی خارج شده و وارد فاز تعمق‌گرایی می‌شود، درنتیجه روند بهبود در پاسخ‌ها کاهش یافته تا جایی که در تکرارهای ۱۲۰۰ به بعد دیگر هیچ بهبودی ایجاد نشده و در پایان تعداد تکرارها، پاسخ نهایی گزارش شده است.

**بحث**

با توجه به این که مسایل پهنه‌بندی جزء مسایل سخت می‌باشند، نمی‌توان انتظار داشت که با مدل‌بندی ریاضی مسأله و حل آن همواره بتوان جواب بهینه را برای نمونه‌های بزرگ به‌دست آورد. بنابراین یا بایستی به جواب‌های بهینه تقریبی اکتفا کرده و یا به دنبال حل مسأله به روش‌های فراابتکاری باشیم. با توجه به این موضوع که مسأله مورد بررسی جزء مسایل مدیریت راهبردی در حوزه سلامت است نمی‌توان جواب تقریبی را برای آن پذیرفت. پس ناگزیر بهترین راهکار استفاده از روش‌های فراابتکاری است.

در این مطالعه الگوریتم‌های فراابتکاری GA، PSO، و DE ارایه شد. موضوع مهم در استفاده از این الگوریتم‌ها، اطمینان از صحت عملکرد آن‌ها است. بدین منظور ابتدا تعدادی مثال تصادفی با توجه به مسایل دنیای واقعی طراحی و نتایج حاصل از الگوریتم‌ها با یکدیگر مقایسه گردید. طبق این نتایج، الگوریتم PSO بالاترین کارایی و الگوریتم DE پایین‌ترین سطح عملکرد را دارا است. دلیل این که عملکرد روش DE پایین است تنها بیانگر این نیست که این الگوریتم همواره بدتر از سایرین عمل می‌کند بلکه شاید به خاطر انتخاب نادرست پارامترهای آن، این نتایج حاصل شده است. در پایان نیز نقاط جمعیتی ایران به کمک الگوریتم‌های ارایه شده به ۱۰ پهنه تقسیم گردید.

**نتیجه گیری**

در این مطالعه به بررسی مسأله‌ی پهنه‌بندی مناطق جمعیتی در راستای پیاده‌سازی مدل راهبردی وزارت بهداشت ایران با هدف ارتقای سطح بهداشت عمومی جامعه از طریق بهبود سیستم موجود پرداخته می‌شود. طبق ساختار مصوب در این مدل، تصمیم بر آن است سیستم سلامت کشور به ۱۰ پهنه سلامت تقسیم شود به طوریکه هر پهنه وظیفه نظارت بر نحوه‌ی عملکرد سازمان‌های سلامت مختص خود را به عهده داشته باشد. بدین منظور بیش از هزار نقطه جمعیتی مد نظر قرار می‌گیرد. سعی می‌شود که مطابق با معیارهای مد نظر سازمان به شکل مناسب این نقاط جمعیتی پهنه‌بندی شوند. از مهمترین معیارهای مدنظر جهت پهنه‌بندی، می‌توان به بیشینه‌سازی میزان تعادل جمعیت موجود در هر پهنه و کمینه‌سازی حداکثر فاصله‌ی موجود بین نقاط هر پهنه اشاره کرد. هدف مسأله ارایه شده، ایجاد تعادل جمعیتی در پهنه‌های تشکیل



[ Downloaded from mshsj.ssu.ac.ir on 2026-11-18 ]
[ DOR: 20.1001.1.24766879.1398.4.4.6.6 ]
[ DOI: 10.18502/mshsj.v4i4.2484 ]

شده است. این هدف از طریق کمینه‌سازی حداکثر اختلاف بین جمعیت پهنه‌ها حاصل می‌شود.

در این مطالعه با وجود این که عملکرد ۳ الگوریتم فراابتکاری مشهور با یکدیگر مقایسه می‌شوند، اما متاسفانه نمی‌توان بیان کرد که الگوریتم‌های فراابتکاری دیگر (از جمله الگوریتم گرگ خاکستری) بهتر از این الگوریتم‌ها عمل می‌کنند یا خیر. جهت انجام تحقیقات آتی به منظور گسترش ابعاد بالاتری از مسأله، پیشنهاد می‌شود از الگوریتم‌های فراابتکاری جدید استفاده و نتایج حاصل با نتایج الگوریتم‌های موجود مقایسه گردند.

## سپاسگزاری

نویسندگان بدینوسیله بر خود لازم می‌دانند از معاونت پژوهشی دانشگاه بیرجند بابت کمک مالی تشکر نمایند.

## مشارکت نویسندگان

طراحی پژوهش: ج. ط، س. م

جمع آوری داده‌ها: ج. ط، س. م

تحلیل داده‌ها: ج. ط، س. م

نگارش و اصلاح مقاله: ج. ط، س. م

## سازمان حمایت کننده

این مقاله برگرفته از پروژه درون دانشگاهی تحت عنوان "پهنه بندی سیستم سلامت" مصوب معاونت پژوهشی دانشگاه صنعتی بیرجند می‌باشد.

## تعارض منافع

هیچگونه تعارض منافعی از سوی نویسندگان گزارش نشده است.

## References

1) Datta D, Figueira JR, Gourtani AM, Morton A. Optimal administrative geographies: an algorithmic approach. Socio-Economic Planning Sciences 2013; 47(3): 247-57. doi: http://dx.doi.org/10.1016/ j. seps.2013.03.002.
2) Ghiggi C, Puliafito P, Zoppoli R. A combinatorial method for health-care districting. IFIP Technical Conference on Optimization Techniques; Springer; 1975: 116-30.
3) Minciardi R, Puliafito P, Zoppoli R. A districting procedure for social organizations. European Journal of Operational Research 1981; 8(1): 47-57.
4) Pezzella, F, Bonanno R, Nicoletti B. A system approach to the optimal health-care districting. European Journal of Operational Research 1981; 8(2): 139-46.
5) Blais M, Lapierre SD, Laporte G. Solving a home-care districting problem in an urban setting. Journal of the Operational Research Society 2003; 54(11): 1141-7. doi: 10.1057/ palgrave.jors.2601625.
6) Benzarti E, Sahin E, Dallery Y. Modelling approaches for the home health care districting problem. 8th International Conference of Modeling and Simulation-MOSIM; 2010 May 10-12; Hammamet, Tunisia. 2010: 10-12.
7) Benzarti E, Sahin E, Dallery Y. Operations management applied to home care services: Analysis of the districting problem. Decision Support Systems 2013; 55(2): 587-98. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.dss.2012.10.015.
8) Gutiérrez-Gutiérrez EV, Vidal CJ. A Home Health Care Districting Problem in a Rapid-Growing City. Inge Univ 2015; 19(1): 87-113. doi: 10.11144/ Javeriana.iyu19-1.ahhc.
9) Steiner MTA, Datta D, Neto PJS, Scarpin CT, Figueira JR. Multi-objective optimization in partitioning the healthcare system of Parana State in Brazil. Omega 2015; 52: 53-64.
10) Tayyebi J, Kazemi SMR, Hadavandi E. Future studies in defense systems by using mathematical programming in order to determine healthcare facility locations and to partition areas. Defensive Future Studies 2018; 2(7): 7-30. [Persian]
11) Novaes AGN, de Cursi JS, da Silva AC, Souza JC. Solving continuous location–districting problems with Voronoi diagrams. Computers & Operations Research 2009; 36(1): 40-59. doi: 10.1016/j.cor.2007.07.004.
12) Salazar-Aguilar MA, Ríos-Mercado RZ, González-Velarde JL. A bi-objective programming model for designing compact and balanced territories in commercial districting. Transportation Research Part C: Emerging Technologies 2011; 19(5): 885-95. doi: 10.1016/j.trc.2010.09.011.
13) Shirabe T. Prescriptive modeling with map algebra for multi-zone allocation with size constraints. Computers, Environment and Urban Systems 2012; 36(5): 456-69. doi: 10.1016/j. compenvurbsys.2011.12.003.
14) Contreras I, Fernández E, Reinelt G. Minimizing the maximum travel time in a combined model of facility location and network design. Omega 2012; 40(6): 847-60. doi: 10.1016/j.omega.2012.01. 006.
15) Knight VA, Harper PR, Smith L. Ambulance allocation for maximal survival with heterogeneous outcome measures. Omega 2012; 40(6): 918-26. doi: 10.1016/j.omega. 2012.02.003.



[ Downloaded from mshsj.ssu.ac.ir on 2026-11-18 ]
[ DOR: 20.1001.1.24766879.1398.4.4.6.6 ]
[ DOI: 10.18502/mshsj.v4i4.2484 ]

16) Lin RC, Sir MY, Pasupathy KS. Multi-objective simulation optimization using data envelopment analysis and genetic algorithm: Specific application to determining optimal resource levels in surgical services. Omega 2013; 41(5): 881-92. doi: http://dx. doi. org/10. 1016/ j. omega.2012.11.003.
17) Ríos-Mercado RZ, López-Pérez JF. Commercial territory design planning with realignment and disjoint assignment requirements. Omega 2013; 41(3): 525-35. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j. omega.2012. 08. 002.
18) de Assis LS, Franca PM, Usberti FL. A redistricting problem applied to meter reading in power distribution networks. Computers & Operations Research 2014; 41: 65-75. doi: http:// dx. doi.org/10.1016/j.cor.2013.08.002.
19) Li W, Church RL, Goodchild MF. An extendable heuristic framework to solve the p-compact-regions problem for urban economic modeling. Computers, Environment and Urban Systems 2014; 43: 1-13. doi: http:// dx.doi. org/ 10. 1016/ j.compenvurbsys.2013.10. 002.
20) Liu R, Xie X, Garaix T. Hybridization of tabu search with feasible and infeasible local searches for periodic home health care logistics. Omega 2014; 47: 17-32. doi: http:// dx.doi.org/10. 1016/ j.omega.2014.03.003.
21) King DM, Jacobson SH, Sewell EC. The geo-graph in practice: creating United States Congressional Districts from census blocks. Comput Optim Appl 2018; 69(1): 25-49.
22) Ghollasimood F, Hoseininasab H, Tayyebi J, Fakhrzad MB. Distribution Center Positioning and Territory Design in Supply Chain. Industrial Management Journal 2019; 11(1): 133-56. doi: 10.22059/imj.2019. 269061. 1007518. [Persian]
23) Hwang I, Kim YH, Yoon Y. Moving clusters within a memetic algorithm for graph partitioning. Mathematical Problems in Engineering 2015; 1: 1-10. doi: http://dx.doi. org/10.1155/2015/238529.
24) Busacca PG, Marseguerra M, Zio E. Multiobjective optimization by genetic algorithms: application to safety systems. Reliability Engineering & System Safety 2001; 72(1): 59-74.
25) Worl Health Organization. Health system profile: Islamic Republic of Iran. Who: Geneva. 2006.
26) Jenani A. A review of the performance of government spending and budgetary policies in the health sector. Economic Journal (Quarterly Review of Economic Issues and Policies) 2005; 5(51 and 52): 5-26. [Persian]

[ Downloaded from mshsj.ssu.ac.ir on 2026-11-18 ]
[ DOR: 20.1001.1.24766879.1398.4.4.6.6 ]
[ DOI: 10.18502/mshsj.v4i4.2484 ]

Research Article

# An Optimization Algorithms-based Approach to District Health System Population Areas in Iran

Javad Tayyebi [1*], Sobhan Mostafayi Darmian [2]

[1] Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Computer and Industrial Engineering, Birjand University of Technology, Birjand, Iran
[2] MSc of Industrial Engineering , Faculty of Engineering, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

*** Corresponding Author:** Javad Tayyebi
javadtayyebi@birjandut.ac.ir

**Citation:** Tayyebi J, Mostafayi Darmian S. An Optimization Algorithms-based Approach to District Health System Population Areas in Iran. Manage Strat Health Syst 2020; 4(4): 295-312.

**Received:** September 11, 2019
**Revised:** February 02, 2020
**Accepted:** February 16, 2020

**Funding:** This study has been supported by Birjand University of Technology (NO RP/ 95/ 1007).

**Competing Interests:** The authors have declared that no competing interest exist.

## A B S T R A C T

**Background:** One of important subject in the operations' management fields is partitioning matter that was investigated in the study. This topic has recently received more attention from researchers of the healthcare management systems' field. This subject is important because planning about improvement of the healthcare system structure is considered as one of the most important management problems in each society. The goal of solving this problem was to district a society into several areas, so that each area can cover its health services completely.

**Methods**: This fundamental-applied study was conducted based on the Genetic optimization algorithm, particle swarm, and differential evolution to improve the current structures with regard to the existing health structure in Iran. Moreover, the health system strategic model was applied to categorize the population regions into 10 partitions. According to nature of the investigated problem, the objective function is maximizing the equilibrium amount in each district. The constraints included exclusive assignment and not-existing unusual assignment. Unusual assignment is defined as existence of no contiguity and holes in partitions.

**Results**: According to the obtained results, the particle swarm algorithm had the most efficiency, while differential evolution had the lowest efficiency. However, the stated constraints were satisfied completely in all algorithms, which represented appropriate efficiency of the modified algorithm in the generation solutions.

**Conclusion**: The results obtained from solving this problem can be used as a useful tool in improving the existing healthcare system in Iran.

**Key words:** Healthcare system, Districting problem, Genetic algorithm, Particle swarm algorithm, Differential evolution algorithm

[ Downloaded from mshsj.ssu.ac.ir on 2026-11-18 ]
[ DOR: 20.1001.1.24766879.1398.4.4.6.6 ]
[ DOI: 10.18502/mshsj.v4i4.2484 ]