مجله ی علمی پژوهشی
رایانش نرم و فناوری اطلاعات
جلد۳ شماره ۳ سال ۱۳۹۳

مکان‌یابی واحدهای بانکی در یک شهر با استفاده از یک رویکرد تکاملی

فاطمه کریمی[۱]، شهریار لطفی[۲]
[۱]دانشگاه تبریز، گروه علوم کامپیوتر، f_karimi89@ms.tabrizu.ac.ir
[۲] دانشگاه تبریز، گروه علوم کامپیوتر، shahriarlotfi@tabrizu.ac.ir

چکیده - مسئله‌ی مکان‌یابی تسهیلات یکی از مسائل بهینه‌سازی کلاسیک است که کاربردهای بسیاری در صنایع خدماتی دارد. بانک‌ها به عنوان بخشی از بنگاه‌های اقتصادی که همه روزه با مردم در ارتباط هستند، حساسیت ویژه‌ای در انتخاب مکان مناسب، جهت بیشینه نمودن سهم خود از بازار و افزایش رضایت‌مندی مشتریان از طریق دسترسی سریع دارند. همچنین با در نظر گرفتن محیط رقابتی موجود در بین بانک‌های مختلف به منظور جذب مشتریان بالقوه، مکان‌یابی بهینه‌ی واحدهای بانکی برای مدیران اهمیت ویژه‌ای یافته است. این مسئله در دسته‌ی مسائل بیشینه پوشش مکان قرار می‌گیرد، که هدف در آن‌ها یافتن بیشینه پتانسیل‌های تجاری پوشش داده شده با در نظرگرفتن تعدادی محدودیت می‌باشد. پژوهش حاضر که بر اساس نیازمندی بانک تجارت جهت انجام یک پروژه‌ی عملی در همین رابطه صورت گرفته‌است؛ با ارائه‌ی یک الگوریتم تکاملی با ویژگی‌های جدید به اصلاح پراکندگی جغرافیایی واحدهای بانکی می‌پردازد. الگوریتم پیشنهادی که به اختصار *TPCEA* نام‌گذاری شده‌است؛ با یک روش کدگذاری جدید و استفاده از عملگرهای مختلف سعی در دستیابی به یک پیکربندی بهینه برای واحدهای بانکی دارد. نتایج حاصل بیانگر قدرت الگوریتم در دستیابی به پاسخ‌های بهینه، مقیاس‌پذیری مناسب نسبت به افزایش ابعاد مسئله، همگرایی قابل قبول و پایداری بالای آن در شرایط مختلف می‌باشد.

کلید واژه‌ها- مکان‌یابی، واحدهای بانکی، رویکرد تکاملی، کروموزوم سه بخشی

۱. مقدمه

انتخاب مکان بهینه‌ی تسهیلات[۱] یکی از مهم‌ترین و راهبردی‌ترین تصمیمات در صنایع مختلف می‌باشد که اثر بسزایی در عملکرد و کارآیی سازمان‌ها دارد. توانایی مدیران در ایجاد تلفیقی جامع از ابعاد مختلف مسأله‌ی مکان‌یابی، شرایط مناسبی برای بقاء و موفقیت سازمان در محیط رقابتی صنعت را فراهم می‌سازد [۱]. ایجاد امکانات جدید شهری، نیازمند مطالعه‌ی دقیق در زمینه‌ی نحوه‌ی استقرار صحیح این تأسیسات در مناطق مختلف یک شهر می‌باشد؛ به طوری‌که اولین نکته‌ی اساسی، انتخاب مکان بهینه با توجه به شرایط متفاوت و گاهی اوقات متضاد است. صرف هزینه‌های گزاف به منظور ایجاد بنگاه‌های اقتصادی و نیز توجه به ارتباطات و سهولت در دسترسی، بیانگر اهمیت موضوع مکان‌یابی صحیح و تعیین موقعیت مکانی مناسب برای این دسته از فعالان اقتصادی می‌باشد به نحوی‌که امکان استفاده‌ی آسان و سریع برای بیشتر شهروندان از این بنگاه‌ها فراهم گردد [۲].

مسئله‌ی مکان‌یابی شعبه‌های بانک در دسته‌ی مسائل بیشینه پوشش مکان (MCLP[۲]) قرار می‌گیرد، که هدف در آن‌ها یافتن بیشینه پتانسیل‌های تجاری پوشش داده شده با در نظرگرفتن تعدادی محدودیت می‌باشد و بسیاری از این مسائل به دلیل NP-سخت[۳] بودن، به دشواری قابل حل می‌باشند [3]. در مطالعات مختلف، الگوریتم‌های فرامکاشفه‌ای[۴] عملکرد بهتری نسبت به روش‌های سنتیِ دقیق در مواجهه با مسائل مکان‌یابی پیچیده از خود نشان داده‌اند [4]. از این‌رو لزوم استفاده از الگوریتم‌های غیرقطعی و فرامکاشفه‌ای جهت دستیابی به پاسخ‌هایی مناسب و در زمانی منطقی، مشخص می‌باشد.

الگوریتم‌های تکاملی زیرمجموعه‌ای از محاسبات تکاملی هستند که برمبنای نظریهٔ تکامل داروین و اصل بقای اصلح و برخی مکانیزم‌های الهام گرفته از تکامل بیولوژیکی، مانند تولیدمثل، وراثت، جهش[۵]، برش[۶]، انتخاب طبیعی و جایگزینی[۷] پایه‌گذاری شده‌اند. راه‌حل‌های کاندیدای مسئله‌ی بهینه‌سازی که کروموزوم نامیده می‌شوند، نقش افراد یک جمعیت را بازی می‌کنند و تابع برازش[۸]، محیطی که افراد در آن زندگی می‌کنند

[۱] facilities
[2] Maximal Covering Location Problem
[3] NP-Hard
[4] metaheuristic
[5] mutation
[6] crossover
[7] repelacement
[8] fitness function

را مشخص می‌سازد. تکامل جمعیت با به کار بردن عملگرهای فوق ادامه می‌یابد تا به یک جواب خوب (و نزدیک به بهینه) دست یابد.

در طی سال‌های متمادی روش‌های متعددی به منظور حل مسائل گوناگون مکان‌یابی ارائه شده‌است که هریک با استفاده از روش‌های متمایز و درنظرگرفتن جنبه‌های مختلف مسائل به حل آن‌ها پرداخته‌اند [5][6][7][8][9]. برای مثال Min و همکاران [10] در سال ۲۰۰۱ با درنظر گرفتن سه لایه‌ی مختلف ارائه دهنده‌ی خدمات در سیستم بانکی، شامل دستگاه‌های خودپرداز، دفاتر شعبه‌های بانک و همچنین شعبه‌های مرکزی بانک یک مدل سلسله مراتبی برای مسئله‌ی مکان‌یابی این واحدها ارائه داده‌اند. Miliotis و همکاران [11] در سال ۲۰۰۲ روشی مبتنی بر برنامه‌ریزی ریاضی و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS[1]) برای مکان‌یابی شعبه‌های بانک ارائه دادند. Aldajani و Alfares [12] در سال ۲۰۰۹ روشی مبتنی بر مدل ریاضی و یک الگوریتم مکاشفه‌ای[2] جدید، جهت یافتن تعداد بهینه و مکان مناسب دستگاه‌های خودپرداز (ATM[3]) ارائه دادند. در این تحقیق، هدف یافتن تعداد بهینه و مکان مناسب شعبه‌های بانک در یک محدوده‌ی مشخص می‌باشد. روش ارائه شده به وسیله‌ی Karaganis و Mimis [13] در سال ۲۰۱۰، راه‌کاری مبتنی بر نمودار ورونویی[4]،GIS و الگوریتم جستجوی ممنوعه‌ی مستقیم (DTS[5]) جهت مکان‌یابی بهینه‌ی شعبه‌های بانک و دستگاه‌های خودپرداز در یک شبکه‌ی بانکی می‌باشد. Cebi و Zeren [14] در سال ۲۰۰۸ با ترکیب مدل پشتیبانی تصمیم‌گیری[6] و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی[7] به اولویت بندی شهرهای مختلف جهت تأسیس شعبه‌های جدید بانک پرداختند. این روش همچنین در سال ۷۹ نیز به وسیله‌ی گلی و همکاران [۱۵] جهت مکان‌یابی دستگاه‌های خودپرداز در یکی از مناطق شهر تهران مورد استفاده قرار گرفته است. Xia و همکاران [3] در سال ۲۰۱۰ روشی مبتنی بر الگوریتم خوشه‌های تودرتو جهت حل مسئله‌ی مکان‌یابی تسهیلات بانکی ارائه دادند. این الگوریتم فضای راه‌حل‌های ممکن را خوشه‌بندی کرده و محاسبات را در مناطق با احتمال بالاتر متمرکز می‌کند. لازم به ذکر است که الگوریتم پیشنهادی در این مقاله نیز از راه‌کار ارائه شده در [3] جهت شبکه‌بندی محدوده‌ی تقاضا ایده گرفته است.

۲. انگیزه و بیان مسئله

تحول‌های اخیر در ارائه‌ی خدمات بانکی، ساختار و تشکیلات بانک‌های پیشرفته را به طور قابل توجهی تحت تأثیر قرار داده است؛ به طوری‌که سازماندهی مجدد شبکه‌ی خدماتی و بهینه‌سازی ساختار آن برای هر بانک به امری ضروری تبدیل شده است [3]. از طرف دیگر افزایش فشار رقابتی در بین بانک‌های مختلف، پیچیدگی و دشواری مدیریت شبکه‌های بانکی را به دنبال خواهد داشت [16]. در این بین مسأله‌ی مکان‌یابی بهینه‌ی واحدهای بانکی، با هدف جذب هر چه بیشتر مشتریان بالقوه، افزایش سود حاصل و پوشش بیشینه‌ی نیازمندی‌های بانکی جامعه اهمیت قابل توجه‌ای یافته است.

نکته‌ی دارای اهمیت در مطالعات مکان‌یابی، تفاوت در ارائه‌ی خدمات بین بنگاه‌های خصوصی و عمومی می‌باشد؛ به طوری‌که در خدمات خصوصی، بنگاه‌ها درصدد استقرار تأسیسات خود در مکان‌هایی هستند که سود حاصل بیشینه گردد اما در مورد بنگاه‌های عمومی و دولتی مکان‌یابی در نقاطی مطرح است علاوه بر افزایش بهره‌وری، رفاه اجتماعی نیز بیشینه گردد [۱۵]. مسأله‌ی مکان‌یابی تأسیسات بانکی در حقیقت ترکیبی از یک مسأله‌ی خصوصی و عمومی می‌باشد و همچنین به دلیل NP-سخت بودن، به دشواری قابل حل می‌باشد [8].

شعبه، باجه و گیشه سه واحد اصلی قرار گیرنده در دسته‌بندی بانکداری سنتی می‌باشند که به صورت سلسله مراتبی به مشتریان خدمات مختلفی ارائه می‌دهند. شعبه‌ها اصلی‌ترین واحد در سیستم بانکی می‌باشند که با بهره‌گیری از کارمندان متخصص در بخش‌های مختلف تمامی خدمات مورد نیاز مشتریان را فراهم می‌نمایند. هر شعبه به طور مستقل دارای یک کد می‌باشد که به وسیله‌ی آن در یک شبکه‌ی بانکی شناسایی می‌شود. در سطح بعدی سلسله مراتب، باجه‌ها[8] قرار می‌گیرد. این واحدها از لحاظ امکانات، نیروی انسانی، بیمه و مشکلات سرقتی در سطح پایین‌تری نسبت به شعبه‌ها قرار دارد و برخی خدمات موجود در شعبه‌ها را نیز پشتیبانی نخواهند کرد.

[1] Geographic Information Systems
[2] heuristic
[3] Automatic Teller Machine
[4] voronoi diagram
[5] Directed Tabo Search
[6] Decision Support Model
[7] Fuzzy Analytic Hierarchy Process
[8] counters

باجه‌ها نیز مانند شعبه دارای کد مستقل می‌باشند. گیشه در آخرین سطح از سلسله مراتب واحدهای بانکداری سنتی قرار می‌گیرد و با تعداد اندکی از کارمندان خدمات محدودتری نسبت به باجه‌ها را فراهم می‌سازد. برخلاف شعبه و باجه، گیشه‌ها دارای کد نمی‌باشند و تحت نظارت یک شعبه فعالیت می‌کنند.

در کنار واحدهای بانکی غیرالکترونیکی، جایگزین‌های الکترونیکی آن‌ها قرار دارند که شامل شعبه‌های الکترونیکی، پایانه‌های فروش(POS[1]) و دستگاه‌های خودپرداز می‌باشند. این واحدها نیز بدون داشتن کد مجزا تحت نظارت شعبه‌ها فعال می‌باشند. نظر به این که از میان واحدهای بانکی تنها شعبه‌ها و باجه‌ها دارای کد مستقل هستند و سایر تسهیلات مانند گیشه و دستگاه خودپرداز تحت نظارت آن‌ها فعالیت می‌نمایند؛ در این تحقیق اصلاح توزیع مکانی شعبه‌ها و باجه‌ها مدنظر می‌باشد. پس از مشخص شدن پیکربندی بهینه‌ی این واحدها می‌توان در حوزه‌ی تحت نظارت هر شعبه یا باجه تصمیمات لازم جهت قرارگیری گیشه و خودپرداز به صورت جداگانه صورت گیرد. لذا در ادامه‌ی این مقاله اصطلاح «واحدهای بانکی» به معنای مجموعه‌ی شعبه‌ها و باجه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲،۱. محدودیت‌های پیش رو در مکان‌یابی واحدهای بانکی

به طور معمول صدور مجوز بانک مرکزی برای تأسیس یک واحد جدید در شبکه‌ی بانکی به سختی و تابع شرایط خاصی صادر می‌شود. بر این اساس و طبق مصاحبه‌ی صورت گرفته با مسئولان بانک، تمایل آن‌ها در جهت حفظ کدهای موجود ارزیابی شد و این امر با صرفنظر از تأسیس واحدهای جدید و ثابت در نظر گرفتن مجموع شعبه‌ها و باجه‌ها در مدل اعمال خواهد شد. لذا در مقاله فرض بر این می‌باشد که هیچ واحد بانکی از شبکه‌ی موجود حذف و یا به آن اضافه نخواهد شد و اصلاح پراکندگی نقاط جغرافیایی تأسیسات، تنها با جابه‌جایی واحدها صورت خواهد گرفت.

۳. راه‌کار پیشنهادی

در بسیاری از مسائل واقعی تصمیم گیرنده تمایل به اتخاذ بیش از یک هدف و یا درنظرگرفتن بیش از یک عامل یا مقیاس دارد. چنین تقاضایی مسأله‌ی تصمیم‌گیری را به یک مسأله‌ی تصمیم‌گیری چندهدفه (MODM[2]) و یا مسأله‌ی تصمیم‌گیری چندصفته (MADM[3]) تبدیل می‌نماید. این گروه از مسائل در یک دسته‌بندی کلی با نام مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM[4]) در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند [17]. شکل ۱ یک دسته‌بندی کلی از مسائل مکان‌یابی را نمایش می‌دهد.

شکل ۱: دسته‌بندی کلی مسائل مکان‌یابی

مسئله‌ی مورد نظر در این تحقیق سناریویی را در نظر می‌گیرد که تصمیم گیرنده می‌بایست با توجه به شبکه‌ی موجود از واحدهای بانکی و در نظر گرفتن معیارهای مختلف، مکان‌های مناسبی را جهت جابه‌جایی تأسیسات انتخاب نماید. لذا با توجه به معیارهای مختلف مؤثر در انتخاب مناسب‌ترین مکان، در نظر گرفتن فضای بسیار بزرگِ مسائل واقعی و در نتیجه NP-سخت بودن آن، لزوم استفاده از الگوریتم‌های مکاشفه‌ای و غیرقطعی آشکار می‌باشد. در این راستا و با توجه به شرایط و محدودیت‌ها موجود در مسئله‌ی مورد نظر، در این تحقیق یک الگوریتم تکاملی با ویژگی‌های جدید ارائه شده‌است که به اختصار TPCEA[5] نامیده می‌شود. الگوریتم پیشنهادی به منظور تطبیق با شرایط خاص مسئله از یک کروموزوم سه بخشی جهت نمایش راه‌حل‌ها استفاده می‌نماید. این شیوه‌ی نمایش برخی محدودیت‌های موجود در تابع هدف را به صورت ضمنی در قالب کدگذاری لحاظ می‌نماید. به دلیل متفاوت بودن نحوه‌ی کدگذاری بخش‌های مختلف کروموزوم از عملگرهای جهش و برش متناسبی برای هر قسمت بهره‌گیری می‌شود. همچنین فرض ثابت بودن مجموع تعداد واحدها، منجر به معرفی یک عملگر برش اصلاح شده برای بخش متناظر در کروموزوم گردیده‌است که عدم تغییر در تعداد واحدها را تضمین می‌نماید.

[1] Point Of Sale
[2] Multi-Objective Decision Making
[3] Multi-Attribute Decision Making
[4] Multi-Criteria Decision Making
[5] Three-Part Chromosome Evolutionary Algorithm

۳،۱. فرض‌ها و پارامترهای مسئله

در مسئله‌ی موجود، محدوده‌ی تقاضا یک فضای پیوسته می‌باشد که به مجموعه‌ای از سلول‌ها تقسیم شده‌است و هریک از این سلول‌ها به عنوان مکان بالقوه جهت قرارگیری واحدها در نظر گرفته می‌شوند. مشتریان نیز در تمام فضای مسئله پراکنده شده‌اند و هر سلول به طور مجزا دارای میزانی از نیازمندی می‌باشد. با در نظر گرفتن یک بررسی همه‌جانبه در تحقیقات صورت گرفته در این موضوع [17][۱۵][14] و همچنین جلسات متعدد با مسئولان بانک، چهار معیار زیر به عنوان اصلی‌ترین عوامل تأثیرگذار در مسئله‌ی مکان‌یابی واحدهای بانکی انتخاب شده‌اند:

دسترسی به امکانات شهری: سهولت دسترسی به امکانات و تسهیلات شهری مانند مراکز تجاری، فروشگاه‌ها، دانشگاه، هتل‌ها، بیمارستان‌ها، پارکینگ، ادارات و شرکت‌های دولتی و خصوصی و غیره یکی دیگر از عوامل مؤثر در انتخاب مکان واحدهای بانکی می‌باشد.

رقابت: حضور رقبا در محدوده‌ی عملیاتی و شرایط مختلف رقابتی محیط در این معیار گردآوری می‌شوند. بر این اساس هر یک از بانک‌ها درصدد جذب هرچه بیشتر مشتریان بالقوه و به دنبال آن افزایش سود و بهره‌وری خود می‌باشند. همچنین در این معیار سعی ما بر این می‌باشد که تا حد امکان نقاط با نیازمندی‌های پوشش داده نشده به وسیله‌ی رقبا با جابه‌جایی واحدهای موجود تحت پوشش قرار گیرند.

مشخصه‌ی جمعیتی: این معیار شامل تراکم جمعیت موجود در هر سلول می‌باشد. در واقع فرض بر این می‌باشد که رشد جمعیت، افزایش میزان نیازمندی‌های مشتریان را به همراه خواهد داشت.

دسترسی به پارکینگ: معمولاً اغلب مشتریان تمایل دارند به محلی امن برای نگهداری از خودروهای خود و همچنین فرار از ترافیک شهری دسترسی داشته‌باشند.

با توجه به موارد ذکر شده در بخش‌های قبلی فرض‌های مورد نظر در این پژوهش نیز شامل موارد ذیل می‌باشد:

۱. مجموع تعداد شعبه‌ها و باجه‌ها ثابت می‌باشد اما ممکن است بر حسب نیاز تعداد شعبه یا باجه‌ها به طور مجزا تغییر یابد.
۲. فضای مسئله دوبعدی و پیوسته می‌باشد که به شبکه‌ای از سلول‌ها تقسیم شده‌است.
۳. هر یک از سلول‌ها به عنوان نقاط بالقوه برای قرارگیری واحدها و همچنین نقاط تقاضا در نظر گرفته می‌شوند.
۴. مشتریان در تمام فضای مسئله پراکنده شده‌اند و دارای نیازمندی‌های ثابت و مشخص می‌باشند.
۵. هریک از انواع واحدها دارای محدوده‌ی ارائه‌ی خدماتی می‌باشند که بررسی معیارها برای آن‌ها در این همسایگی صورت می‌گیرد.

۳،۲. مفاهیم و تعریف‌ها

در روش ارائه شده اصطلاحات و مفاهیم مختلفی جهت توصیف مسئله مورد استفاده قرار گرفته است که در این بخش به معرفی آن‌ها پرداخته می‌شود.

محدوده‌ی تقاضا (DA): فضای دوبعدی مسئله که به مجموعه‌ای از سلول‌ها به شکل یک ماتریس با ابعاد $(U_x \times U_y)$ تقسیم شده‌است.

واحدهای موجود (E): مجموعه‌ی شعبه‌ها و باجه‌های مستقر در شبکه‌ی بانکی مورد نظر

واحدهای جدید (N): مجموعه‌ی مکان‌های پیشنهادی جهت جابه‌جایی واحدهای موجود

پیکربندی جدید(X) S: مجموعه‌ی تأسیسات منتخب از میان واحدهای موجود و جدید

$S(X)=\{F \epsilon E \cup N:$ location F is selected in the new configuration$\}$

در بدترین حالت تمامی واحدهای موجود به مکان‌های جدید منتقل خواهند شد و در این صورت $S(X)=N$ خواهد بود. در اینجا X یک راه‌حل از مسئله می‌باشد.

رقبا (C): مجموعه‌ی شعبه‌های بانک‌های رقیب و واحدهای خودی موجود در محدوده‌ی تقاضا

$C=\{F \epsilon S(X) \cup R:$ R is set of all competitors in demand area$\}$

مکان واحدها(P): مختصات محل قرارگیری یک واحد F بر روی شبکه‌ی سلول‌ها

$P(F)=((x, y): x \in [L_x, U_x], y \in [L_y, U_y])$

جدول ۱ متغیرهای مورد استفاده در مدلسازی مسئله را نمایش می‌دهد.

جدول ۱: متغیرهای مورد استفاده در فرموله‌سازی مسئله

متغیر	توضیح
L_x	حد پایین مختصات x
L_y	حد پایین مختصات y

U_x	حد بالای مختصات x
U_y	حد بالای مختصات y
L	مجموع تعداد واحدها
X	یک راه‌حل از مسئله
N_c	تعداد معیارها
C_k	مقدار عددی برای معیار k
w_k	وزن معیارk
$BC_F(k)$	پوشش معیار k به وسیله‌ی شعبه‌ی F
$CC_F(k)$	پوشش معیار k به وسیله‌ی باجه‌ی F
$B'(X)$	مجموعه‌ی شعبه‌های موجود در پیکربندی جدید
$C'(X)$	مجموعه‌ی باجه‌های موجود در پیکربندی جدید

۳،۳.فرموله‌سازی مسئله

با توجه به مطالب ذکر شده در بخش قبل، چهار معیار اصلی مورد نظر در این پژوهش شامل تراکم جمعیتی منطقه، سهولت دسترسی به تسهیلات و خدمات شهری (مانند مراکز خرید، فروشگاه‌ها، بیمارستان‌ها و غیره) نزدیکی به پارکینگ و در نظر گرفتن سایر رقبا می‌باشند. لذا به منظور فرموله‌سازی مسئله هر یک از این معیارها در قالب یک تابع هدف مستقل در نظر گرفته می‌شوند. درواقع در اینجا با یک مسئله‌ی بهینه‌سازی چند هدفه مواجهیم که برای دستیابی به یک تابع ترکیبی از وزن‌دهی به توابع تک‌هدفه استفاده می‌گردد. بر این اساس تابع هدف و محدودیت‌ها به شکل زیر تعریف می‌شوند:

Objective Function:

$$\text{Maximize } F(X) = R(X) - \sum_{F \epsilon N} f_F^m \qquad (۱)$$

$$R(X) = w_1 \sum_{F \epsilon S(X)} f_F^d + w_2 \sum_{F \epsilon S(X)} f_F^f + w_3 \sum_{F \epsilon S(X)} f_F^p - w_4 \sum_{F \epsilon S(X) \cup C} f_F^c \qquad (۲)$$

Subject to

$$\sum_{i=1,j=1}^{i=U_X, j=U_y} l_{(i,j)} \le 1 \qquad (۳)$$

$$\text{Where } l_{(i,j)} \epsilon \{0,1\}, \forall\, F \epsilon S(X).\ l_{(i,j)} = 1 \text{ if facility } F \text{ is located at } (i,j) \qquad (۴)$$

بخش اول تابع هدف (۱) بهره‌وری کل حاصل از واحدهای موجود در شبکه می‌باشد به طوری‌که در اینجا فرض شده که پوشش همه‌جانبه‌ی معیارها افزایش بهره‌وری بانک را به همراه خواهد داشت. طبق رابطه‌ی (۲) نرخ پوشش جمعیت به وسیله‌ی واحد F در پیکربندی جدید با f_F^d و نزدیکی به سایر واحدها شهری در حوزه‌ی پوششی F با f_F^f مشخص شده‌است. سهولت دسترسی به پارکینگ و وضعیت سایر رقبا در حوزه‌ی پوششی واحد F به ترتیب با f_F^p و f_F^c تعیین می‌گردند.

قسمت دوم تابع هدف مجموع هزینه‌های عملیاتی جابه‌جایی واحدها را تعیین می‌نمایند به طوری‌که f_F^m هزینه‌ی جابه‌جایی واحد F به مکان جدید می‌باشد. بنابراین تابع هدف (۱) معادل با بیشینه‌سازی سود شبکه‌ی واحدهای بانکی است که این مقدار برابر با تفاضل بهره‌وری کل حاصل از پوشش معیارها و هزینه‌های تحمیلی از جابه‌جایی واحدها می‌باشد. محدودیت (۳) تضمین می‌نماید که در هر مکان تنها یک واحد بانکی قرار خواهد گرفت که این امر از هم‌پوشانی تسهیلات در فاصله‌ی نزدیک با یکدیگر جلوگیری می‌نماید. $l_{(i,j)}$ یک متغیر تصمیم می‌باشد که قرارگیری واحد $F \epsilon S(X)$ در مکان (i, j) در شبکه را مشخص می‌نماید. در نهایت می‌بایست مقادیر هریک از توابع نرمالیزه شده و در بازه‌ی [0, 1] قرار گیرند. همچنین ضرایب نیز می‌بایست به شکل نرمال در نظر گرفته شوند و لذا مجموع آن‌ها همواره برابر با یک خواهد بود.

۴. مراحل الگوریتم پیشنهادی

در این بخش به طور مفصل به بررسی ویژگی‌ها و عملگرهای مختلف مورد استفاده در الگوریتم پیشنهادی پرداخته خواهد شد.

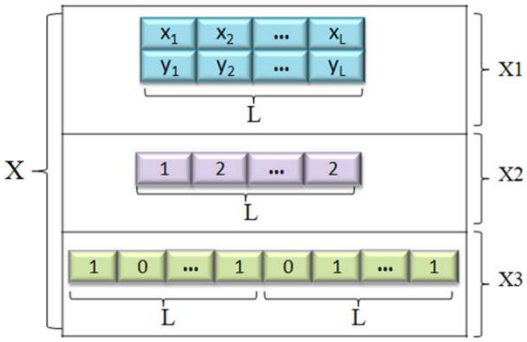
۴،۱. کدگذاری

با توجه به شرایط مسئله یک کروموزوم سه بخشی (X) به طول 4L جهت کدگذاری در نظر گرفته شده‌است به طوری‌که L برابر با مجموع تعداد واحدها می‌باشد. هر یک از واحدها بر روی نقشه‌ی شبکه‌بندی شده با یک مختصات (x,y) نشان داده می‌شوند. در این نمایش بخش اول کروموزوم X1، به شکل

$X1_i \epsilon \{(x,y) \mid x \epsilon \{1, 2, \ldots, U_x\}, y \epsilon \{1, 2, \ldots, U_y\}\}, i \epsilon \{1, 2, \ldots, L\}$

با کدگذاری صحیح مختصات پیشنهادی برای مکان جدید واحدها بر روی شبکه‌ی سلول‌ها را نمایش می‌دهد. از آنجایی‌که ممکن است به طور بیشینه تمامی تأسیسات موجود جابه‌جا شده و به مکان جدیدی منتقل شوند طول این بخش برابر با L در نظر گرفته شده‌است. بخش دوم X2، $X2_i \epsilon \{1,2\}, i \epsilon \{1, 2, \ldots, L\}$ نوع هر یک از واحدهای جدید را مشخص می‌سازد؛ به طوری‌که عدد ۱ بیانگر شعبه و عدد ۲ یک باجه می‌باشد.

بخش سوم کروموزوم X3، $X3_i \in \{0,1\}, i \in \{1, 2,..., 2L\}$ دارای طول 2L می‌باشد و با استفاده از کدگذاری دودویی انتخاب و یا عدم انتخاب یک مکان به ترتیب با اعداد ۱ و ۰ مشخص شده‌است. قسمت X3 از دو بخش مجزا برای واحدهای موجود و واحدهای جدید استفاده می‌کند. به عبارت دیگر در این قسمت ژن‌های $X3_i, i \in \{1, 2,..., L\}$ ثابت ماندن و یا جابه‌جایی تأسیسات موجود را مشخص می‌کنند و $X3_i, i \in \{L, L+1,..., 2L\}$ انتخاب یا عدم انتخاب مختصات پیشنهادی برای مکان جدید واحدها را تعیین می‌نماید. از آنجایی‌که فرض شده‌است مجموع تعداد شعبه‌ها و باجه‌ها ثابت می‌باشند، مجموع تعداد ۱ها در بخش سوم کروموزوم نیز در این مدل ثابت خواهد بود. شکل ۲ نمونه‌ای از کدگذاری پیشنهادی را نمایش می‌دهد.



شکل۲: نمونه‌ای از کروموزوم سه بخشی

از آنجایی‌که مختصات محل قرارگیری واحدهای موجود و نوع آن‌ها ثابت می‌باشد، این مقادیر در کدگذاری وارد نشده‌اند و دو بخش X1 و X2 تنها مختصات و نوع واحدهای جدید را مشخص می‌نمایند. از این‌رو اطلاعات مرتبط با واحدهای موجود شامل مختصات (CE) و نوع آن‌ها (KE) در یک ساختمان داده‌ی مجزا ذخیره خواهند شد.

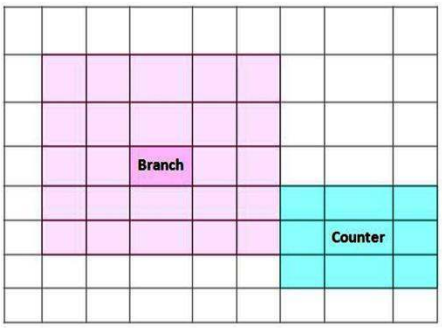
۴،۲. ایجاد جمعیت اولیه و تنظیم پارامترها

همانند سایر الگوریتم‌های تکاملی ایجاد جمعیت اولیه در این روش نیز به صورت تصادفی خواهد بود. برای این منظور هر یک از بخش‌های مختلف کروموزوم‌ها به صورت مجزا مقداردهی اولیه خواهند شد. مقادیر ژن‌ها برای بخش اول کروموزوم به صورت تصادفی و با توزیع نرمال از بازه‌های $[L_x, U_x]$ و$[L_y, U_y]$ انتخاب خواهند شد و قسمت دوم کروموزوم با مقادیر تصادفی ۱ و ۲ تکمیل خواهد شد. به منظور مقداردهی بخش سوم کروموزوم در ابتدا تمامی L عددِ ۱ به صورت تصادفی در ژن‌های مختلف قرار می‌گیرند و مابقی ژن‌ها با عدد صفر تکمیل خواهند شد. این روند ثابت باقی ماندن تعداد ۱ها در بخش سوم کروموزوم را تضمین می‌نماید.

پارامترهای دیگر الگوریتم شامل اندازه‌ی جمعیت، تعداد نسل‌ها، نرخ جهش و برش نیز باید در ابتدای الگوریتم مقداردهی اولیه شوند. هر یک از این مقادیر می‌بایست با توجه به ابعاد و شرایط مسئله به طور مناسب تنظیم گردند.

۴،۳. محاسبه‌ی توابع چند هدفه

همانگونه که قبلاً بیان شد هر یک از تأسیسات موجود در شبکه‌ی بانکی دارای یک محدوده‌ی خدماتی است که در این حوزه قادر به سرویس‌دهی به مشتریان می‌باشد. در واقع این محدوده به عنوان یک بازه جهت ارزیابی معیارهای مؤثر در انتخاب مکان برای واحدهای مختلف در نظر گرفته می‌شود. در این پژوهش یک پوسته‌ی دولایه از سلول‌های شبکه در اطراف هر شعبه به عنوان محدوده‌ی خدماتی در نظر گرفته شده‌است که می‌بایست پوشش معیارها به وسیله‌ی شعبه‌ی متناظر در این محدوده بررسی شود. همچنین از آنجایی‌که خدمات ارائه شده به وسیله‌ی باجه‌ها محدودتر می‌باشد؛ این حوزه‌ی خدماتی برای باجه‌ها به یک لایه کاهش خواهد یافت. شکل ۳ یک نمایش گرافیکی از این راهبرد می‌باشد.



شکل ۳: حوزه‌ی خدماتی واحدهای بانکی

برای هر سلول از شبکه مقدار تمامی معیارها به شکل یک بردار به طول N_c ذخیره می‌شود و در طول اجرای الگوریتم با توجه به نوع واحدهای موجود در هر مکان، مقادیر نهایی معیارها برای قرارگیری در تابع هدف مشخص خواهند شد. بر این اساس پوشش معیار k در محدوده‌ی خدماتی یک شعبه یا باجه‌ی F، مستقر در مکان (i, j) به ترتیب با فرمول‌های (۵) و (۶) محاسبه خواهد شد.

$$BC_F(k)=\sum_{i'=i-2}^{i+2}\sum_{j'=j-2}^{j+2} C_{k(i',j')} \quad (۵)$$

$$CC_F(k)=\sum_{i'=i-1}^{i+1}\sum_{j'=j-1}^{j+1} C_{k(i',j')} \quad (۶)$$

با توجه به راه‌کار فوق پس از محاسبه‌ی پوشش تمامی معیارها در حوزه‌ی خدماتی واحد F، مجموعه‌ی این مقادیر به شکل نرمال مابین ۰ و ۱ تبدیل شده و به صورت یک بردار برای واحد مورد نظر ذخیره خواهند شد. در این قسمت، فرض کنید $B'(X)=\{j\epsilon N: X3_j=1, X2_j=1\}\cup\{j\epsilon E: X3_j=1, KE_j=1\}$ مجموعه‌ی تمامی شعبه؛ و مجموعه‌ی باجه‌های موجود با $C'(X)=\{j\epsilon N: X3_j=1, X2_j=2\}\cup\{j\epsilon E: X3_j=1, KE_j=2\}$ نمایش داده شود. بنابراین با در نظر گرفتن چهار معیار اصلی ذکر شده، در نهایت توابع تک هدفه به شکل زیر تعریف می‌شوند:

$$f^d=\sum_{i\epsilon B'(X)} BC_i(d)+\sum_{i\epsilon C'(X)} CC_i(d) \quad (۷)$$

$$f^f=\sum_{i\epsilon B'(X)} BC_i(f)+\sum_{i\epsilon C'(X)} CC_i(f) \quad (۸)$$

$$f^p=\sum_{i\epsilon B'(X)} BC_i(p)+\sum_{i\epsilon C'(X)} CC_i(p) \quad (۹)$$

$$f^c=\sum_{i\epsilon B'(X)} BC_i(c)+\sum_{i\epsilon C'(X)} CC_i(c) \quad (۱۰)$$

در واقع توابع فوق پوشش معیارها به وسیله‌ی تمامی شعبه‌ها و باجه‌های انتخاب شده در شبکه‌ی جدید واحدهای بانکی را محاسبه می‌نمایند. در اینجا d، f، p و c بیانگر معیارهای مختلف (جمعیت، دسترسی به تسهیلات شهری، نزدیکی به پارکینگ و حضور رقبا) می‌باشند.

۴،۴. عملگر انتخاب

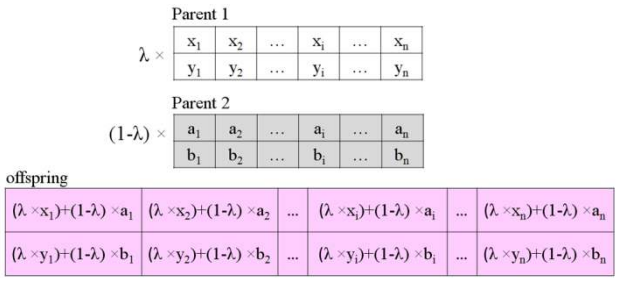
در راه‌کار پیشنهادی از روش چرخ رولت به منظور انتخاب والدین برای تولید فرزندان جدید استفاده شده‌است. در این روش احتمال انتخاب هر فرد برابر با نسبت برازندگی آن به کل جمعیت می‌باشد. به این ترتیب کروموزوم قوی‌تر قطاع بزرگتری بر روی چرخ رولت به خود اختصاص خواهد داد. توزیع احتمال انتخاب در این روش می‌تواند با استفاده از فرمول (۱۱) تولید شود.

$$p(k)=\frac{F_k}{\sum_{i=1}^{n} F_i} \quad (۱۱)$$

در رابطه‌ی بالا $p(k)$ احتمال انتخاب کروموزوم kام، F_k میزان برازندگی کروموزوم kام، $\sum_{i=1}^{n} F_i$ مجموع برازندگی تمامی کروموزوم‌ها و n بیانگر اندازه‌ی جمعیت ژنتیکی می باشند.

۴،۵. عملگر برش

مناسب‌ترین عملگر برش برای بخش اول کروموزوم که شامل مختصات هر یک از واحدها است برش حسابی می‌باشد. چنانچه در فصل سوم ذکر شد این عملگر با استفاده از یک عدد تصادفی $0<\lambda<1$ و ترکیب آن با مقادیر ژن‌های متناظر در والدین، کروموزوم‌های فرزند را تولید می‌نماید. در روش پیشنهادی مقادیر λ در هر عملیات برش به شکل مجزا تولید می‌شود. با انجام این عملیات بخش متناظر برای اولین فرزند ایجاد خواهد شد و جهت تولید فرزند دوم، ضرایب λ و $(1-\lambda)$ جابه‌جا می‌گردند. شکل ۴ نمونه‌ای از برش بخش اول کروموزوم را نمایش می‌دهد.



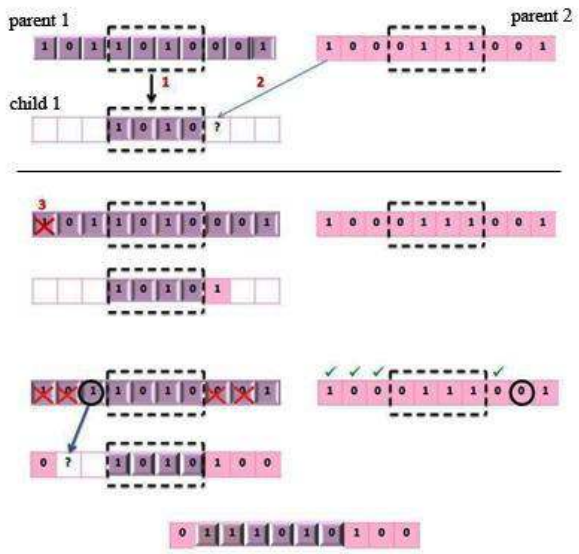
شکل ۴: نمونه‌ای از برش حسابی برای بخش اول کروموزوم

در بخش دوم کروموزوم از برش دو نقطه‌ای استفاده می‌شود. برای این منظور ابتدا ۲ نقطه به طور تصادفی در کروموزوم‌های والد انتخاب شده و سپس ژن‌های بین این نقاط به طور یکی در میان با یکدیگر جابه‌جا می‌شوند.

با در نظر گرفتن این فرض که مجموع تعداد واحدها از نوع ۱ و ۲ می‌بایست در طول اجرای الگوریتم ثابت باقی بمانند، نیاز به عملگر برش مناسبی برای بخش سوم کروموزوم می‌باشد. به همین دلیل از یک عملگر با ویژگی‌هایی مشابه برش نگاشت جزئی که در مسائل با کدگذاری ترتیبی استفاده می‌شود، بهره‌گیری شده‌است که آن را برش نگاشت جزئی اصلاح شده (MPMX[1]) می‌نامیم. برای این منظور پس از انتخاب دو نقطه‌ی تصادفی و انتقال بخش میانی این دو نقطه از والد اول به فرزند برای ژن‌های باقی‌مانده روند زیر انجام می‌شود:

با انتقال هر یک از ژن‌ها از والد دوم به فرزند، مقدار متناظر آن در والد اول کنار گذاشته می‌شود. برای مثال چنانچه ژن

[1] Modified Partially Mapped Crossover



موردنظر در والد دوم برای جایگزینی در فرزند، مقدار ۱ داشته باشد می‌بایست یک ژن با مقدار ۱ از والد اول (به جز قسمت انتقال داده شده به فرزند) کنار گذاشته شود. با ادامه‌ی این روند ممکن است به شرایطی برسیم که تمامی ژن‌ها با مقدار ۱ از والد اول کنار گذاشته شده باشند. در این حالت یک ژن با مقدار ۰ حذف شده و همچنین به جای مقدار ۱، ۰ به فرزند انتقال داده خواهد شد. این روند با جابه‌جایی والدین برای ایجاد دومین فرزند نیز اجرا خواهد شد. شکل ۵ نمایش دهنده‌ی یک نمونه‌ی عددی از این عملگر می‌باشد.

شکل ۵: نمونه‌ای از روند برش MPMX

۴,۶. عملگر جهش

عملکرد عملگر برش به گونه‌ای است که تنها به جستجوی محلی در محدوده‌ای خاص از فضای مسئله می‌پردازد لذا به منظور گسترش حوزه‌ی جستجو و کشف نقاط جدید، عملگر جهش مورد استفاده قرار می‌گیرد. در بخش اول از یک روش جهش مورد استفاده در نمایش اعشاری استفاده شده‌است. در این روش مقادیر هر ژن با اضافه کردن مقداری نویز تغییر خواهد یافت که مولد این نویز توزیع نرمال $N(0,\sigma)$ با میانگین ۰ و انحراف معیار σ در نظر گرفته شده‌است. مقدار σ برای تمامی جهش‌ها به شکل ثابت در نظر گرفته شده‌است. همچنین برای اطمینان از معتبر بودن فرزندان تولید شده، قرارگیری تمامی مختصات‌های (x,y) در بازه‌های $[L_x, U_x]$ و $[L_y, U_y]$ بررسی می‌شود

برای بخش دوم کروموزوم از جهش تغییر بیتی استفاده شده‌است. برای این منظور پس از انتخاب یک ژن به صورت تصادفی مقدار آن از ۱ به ۲ و یا بالعکس تبدیل خواهد شد. با توجه به فرض ثابت بودن تعداد واحدها، عملگر جهش مورد استفاده در بخش سوم جابه‌جایی در نظر گرفته شده‌است. در این حالت پس از انتخاب دو نقطه‌ی تصادفی از کروموزوم ژن‌های متناظر با یکدیگر جابه‌جا خواهند شد.

۴,۷. جایگزینی و شرایط خاتمه

در الگوریتم پیشنهادی به منظور جایگزینی نسل جدید کروموزوم‌های حاصل از عملگرهای فوق بر روی نسل قبلی از روش جایگزینی کلی استفاده می‌شود. اما به منظور حفظ کروموزوم‌هایی با ماده‌ی ژنتیکی مناسب در کنار عملگر فوق از نخبه‌کشی نیز بهره‌گیری می‌گردد.

به منظور اتمام اجرای الگوریتم یک شرط در ابتدای هر نسل مورد بررسی قرار می‌گیرد. در روش پیشنهادی این شرط برابر با تعداد نسل در نظر گرفته شده‌است که پس از اجرای الگوریتم به این تعداد متوقف خواهد شد.

۵. ارزیابی و نتایج عملی

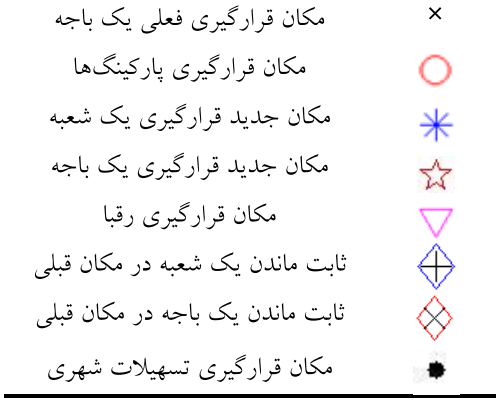
در این فصل راه‌کار پیشنهادی مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت و برای این منظور در ابتدا عملکرد الگوریتم بر روی مجموعه‌ای از سناریوهای تست بررسی خواهد شد. به طور کلی آزمایش‌های مختلفی شامل آزمون قابلیت اطمینان[1]، پایداری[2] و همگرایی[3] الگوریتم بر روی سناریوهای تست صورت خواهد گرفت. به منظور سهولت در بررسی نتایج حاصل از الگوریتم، از نمادگذاری‌های خاصی برای نمایش گرافیکی واحدهای موجود در فضای مسئله استفاده شده‌است. در واقع هریک از این اشکال بر روی ماتریس دارای معنای خاصی می‌باشند. مجموعه‌ای از این نمادها در جدول ۲ گردآوری شده‌اند.

در این پژوهش سناریوهای تست متعددی با درنظر گرفتن شرایط مختلف برای بررسی قابلیت‌های مختلف الگوریتم صورت گرفته‌است اما با توجه به محدودیت‌های موجود در ارائه‌ی مقاله، تنها به تحلیل چند مورد از آن‌ها بسنده می‌کنیم.

جدول ۲: نمادگذاری‌های مورد استفاده در نمایش پاسخ‌ها

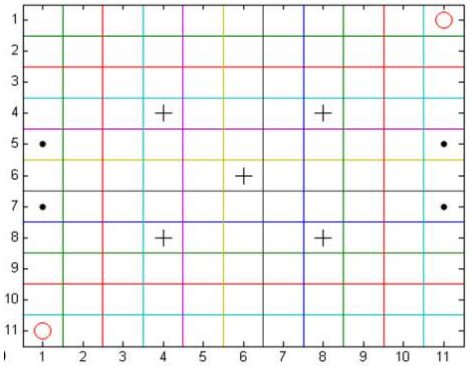
نماد	توضیح
+	مکان قرارگیری فعلی یک شعبه

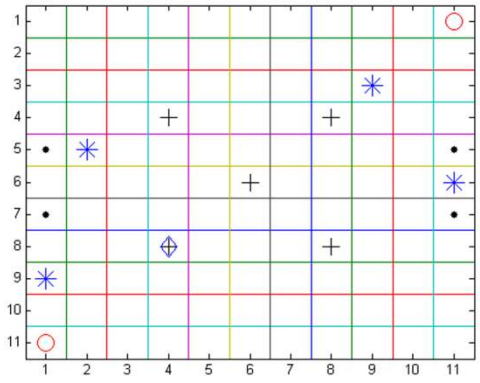
[1] reliability
[2] stability
[3] convergence



۵،۱. بررسی قابلیت اطمینان و همگرایی

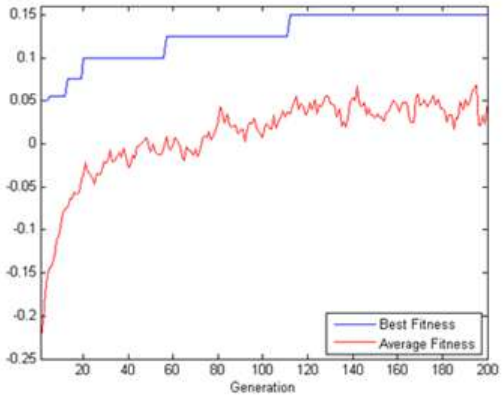
به منظور تست قابلیت اطمینان الگوریتم پیشنهادی در دستیابی به جواب بهینه در ابتدا عملکرد آن بر روی برخی مسائل با پاسخ معین بررسی می‌گردد. چنانچه الگوریتم قادر به یافتن پاسخ بهینه در حالات مختلف باشد می‌توان اطمینان یافت که در مسائلی با پاسخ‌های نامشخص نیز این شرایط برقرار خواهد بود. از طرف دیگر روش پیشنهادی در این تحقیق یک راه‌کار بر پایه‌ی الگوریتم‌های تکاملی می‌باشد که یکی از ویژگی‌های بارز آن‌ها همگرایی به یک مقدار بهینه پس از سپری شدن مراحل تکامل می‌باشد. بر این اساس می‌بایست در طول اجرای الگوریتم نتایج به تدریج بهبود یافته و پس از مدتی به یک جواب بهینه همگرا شوند. شکل ۶ (الف) یک محدوده‌ی تقاضا با ۱۲۱ سلول را نمایش می‌دهد. در این سناریو محل قرارگیری واحدها به صورت منظم در نظر گرفته شده‌اند و دو معیار نزدیکی به امکانات شهری و دسترسی به پارکینگ در این تست مدنظر می‌باشند و ضرایب در نظر گرفته شده برای هریک از معیارها مساوی و برابر با ۰/۵ می‌باشند.





شکل ۶: پیکربندی اولیه‌ی واحدها در تست ۱ (الف) و نتیجه‌ی حاصل از اعمال TPCEA بر روی تست ۱ (ب)

پیکربندی نهایی واحدهای بانکی در این مسئله در شکل ۶ (ب) قابل مشاهده می‌باشد. با توجه به حوزه‌ی پوششی واحدها (که همگی شعبه در نظر گرفته شده‌اند)، در پیکربندی فعلی هیچ یک از معیارها تحت پوشش قرار نگرفته‌اند. طبق نتیجه‌ی حاصل، با تعداد کمینه‌ی جابه‌جایی ممکن پوشش تمامی نیازمندی‌ها صورت گرفته است. از آنجایی‌که به طور کمینه چهار واحد بانکی قادر به پوشش تمامی معیارها می‌باشند؛ واحد بانکی مستقر در مختصات (8, 4) در مکان قبلی خود ثابت باقی مانده است. شکل ۷ همگرایی الگوریتم در مسئله‌ی ۱ را نشان می‌دهد.

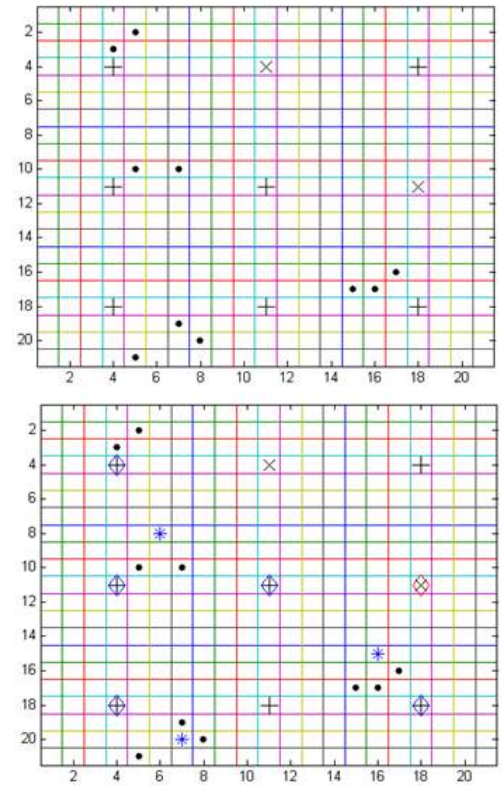


شکل ۷: نمودارهمگرایی TPCEA در تست ۱

به عنوان یک نمونه با ابعاد بزرگتر، تست ۵ با ۴۴۱ سلول در نظر گرفته شده‌است. در این نمونه نیز محل فعلی واحدهای بانکی به صورت منظم بوده و سایر تسهیلات شهری به شکل پراکنده در نقاط مختلف قرار گرفته‌اند؛ این پیکربندی در شکل ۸ (الف) نمایش داده شده‌است.

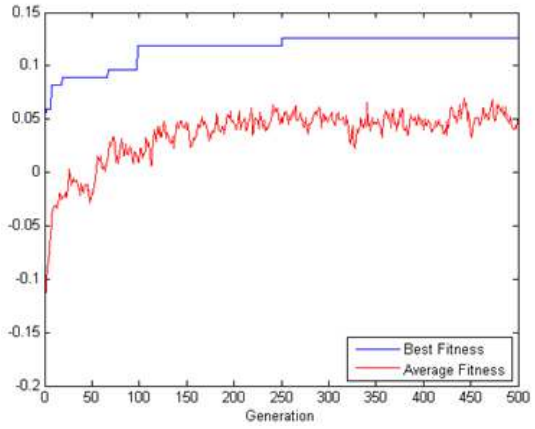
(الف)

(ب)



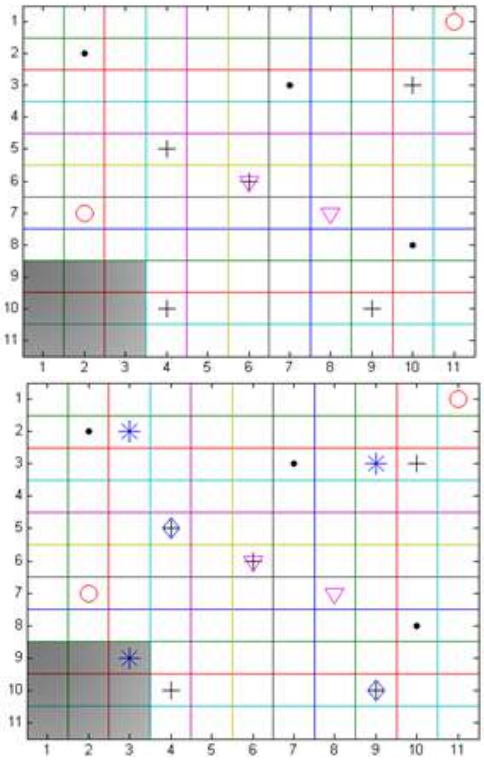
شکل ۸: پیکربندی اولیه‌ی واحدها در تست ۲ (الف) و نتیجه‌ی حاصل از اعمال TPCEA بر روی تست ۲ (ب)

همانطور که در شکل ۸ (ب) ملاحظه می‌گردد همانند مسائل قبل در این آزمایش نیز با تعداد کمینه‌ی جابه‌جایی واحدها، پوشش بهینه فراهم گردیده است. نمودار همگرایی الگوریتم در ۵۰۰ اجرای مختلف برای تست ۲ در شکل ۹ نمایش داده شده‌است. با توجه به افزایش ابعاد مسئله مشاهده می‌گردد که الگوریتم به تعداد تکرار بیشتری جهت یافتن پاسخ بهینه نیاز یافته است.



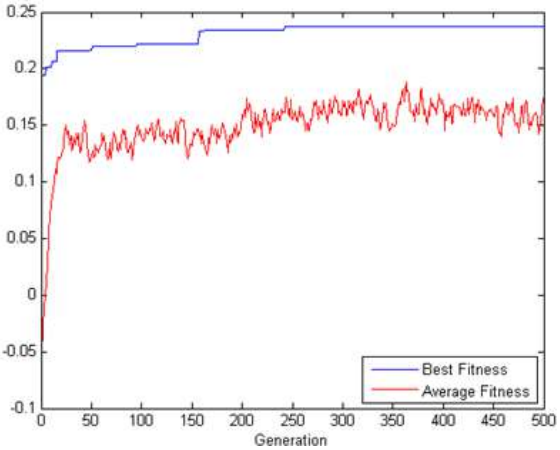
شکل ۹: نمودارهمگرایی TPCEA در تست ۲

به منظور وارد کردن دو معیار دیگر یعنی حضور رقبا و اطلاعات جمعیتی به مسئله، سناریوی تست ۳ به صورتی که در شکل ۱۰ (الف) نمایش داده شده در نظر گرفته می‌شود.



شکل۱۰: پیکربندی اولیه‌ی واحدها در تست ۳ (الف) و نتیجه‌ی حاصل از اعمال TPCEA بر روی تست ۳ (ب)

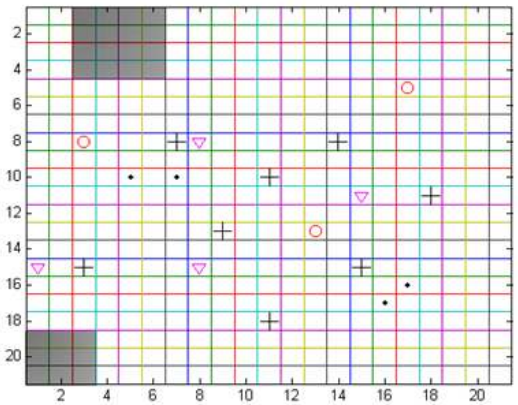
در این شکل قسمت تیره رنگ بخش دارای تراکم جمعیتی بالا را نمایش می‌دهد که می‌بایست به وسیله‌ی واحدها تحت پوشش قرار گیرد. با توجه به نتیجه‌ی حاصل در شکل ۱۰ (ب) شعبه‌ی موجود در مختصات (10, 4) با هدف پوشش کامل جمعیت موجود و همچنین دسترسی به پارکینگ موجود در مکان (7, 2) محل خود را تغییر داده است. با این کار تنها با یک شعبه هر دو معیار تحت پوشش قرار می‌گیرند. همچنین شرایط مشابهی برای واحد موجود در مکان (3, 10) نیز صورت گرفته است. همانگونه که نمودار همگرایی شکل ۱۱ در شکل مشاهده می‌گردد تغییرات در تکرارهای اولیه‌ی الگوریتم با سرعت بیشتری صورت گرفته‌اند و در مراحل پایانی این روند به شکل یکنواخت به اتمام رسیده است.



شکل ۱۱: نمودارهمگرایی TPCEA در تست ۳

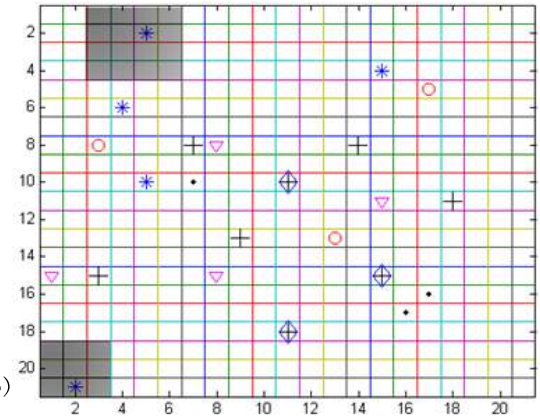
به عنوان آخرین مسئله جهت تست الگوریتم پیکربندی واحدهای موجود در شکل ۱۲ (الف) در نظر گرفته می‌شود. در این سناریو دو قسمت با تراکم جمعیتی بالا در نظر گرفته شده‌است و سایر واحدها به شکل پراکنده در فضای مسئله موجود می‌باشند. پیکربندی پیشنهادی برای تأسیسات به وسیله‌ی TPCEA در شکل ۱۲ (ب) نمایش داده شده‌است.

(الف)



(ب)

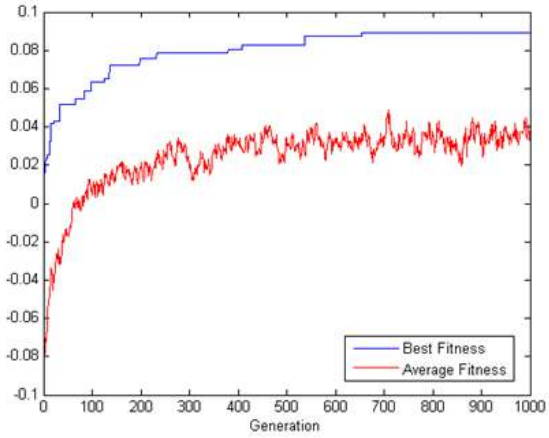
(الف)



(ب)

شکل۱۲: پیکربندی اولیه‌ی واحدها در تست ۴ (الف) و نتیجه‌ی حاصل از اعمال TPCEA بر روی تست ۴ (ب)

شکل ۱۳ نمودار همگرایی الگوریتم پیشنهادی برای مسئله‌ی مورد نظر را نشان می‌دهد.



شکل ۱۳: نمودارهمگرایی TPCEA در تست ۳

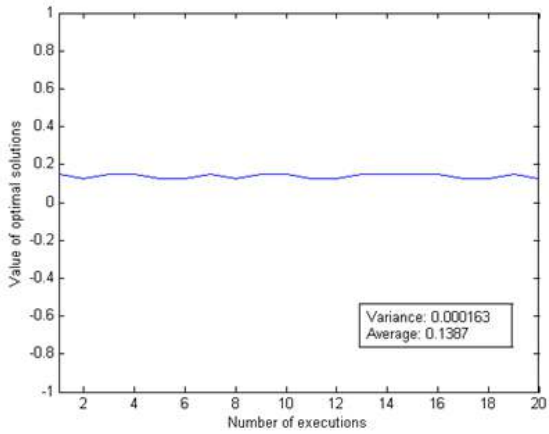
با توجه به آزمایش‌های مختلف صورت گرفته که نمونه‌هایی از آن‌ها در این بخش نمایش داده شد می‌توان از قدرت الگوریتم در دستیابی به پاسخ‌های بهینه در شرایط مختلف اطمینان حاصل کرد.

۵،۲. بررسی پایداری

پایداری یکی از ویژگی‌های مهم در ارزیابی قدرت یک الگوریتم می‌باشد. در واقع پایدار بودن یک الگوریتم بدین معناست که نتایج حاصل تابع شرایط خاص نبوده و یا به صورت اتفاقی به دست نیامده‌اند. بر این اساس برای هریک از سناریوهای تست که در بخش‌های قبلی مورد بحث قرار گرفتند اجراهای مختلفی در شرایط یکسان صورت گرفته است و نتایج حاصل به شکل یک نمودار در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند. چنانچه تفاوت بین مقادیر نهایی تابع هدف در اجراهای مختلف محسوس نباشد نشان دهنده‌ی پایداری مناسب الگوریتم می‌باشد. این امر با محاسبه‌ی

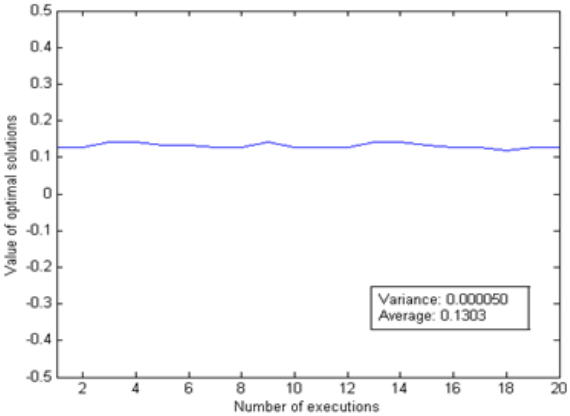
واریانس و انحراف معیار مقادیر مختلف تابع هدف نیز تأیید خواهد شد. بدیهی است که مقدار واریانس (یا انحراف معیار) دارای رابطه‌ی عکس با میزان پایداری الگوریتم می‌باشد. لذا هرچقدر واریانس و یا انحراف معیار دارای مقادیر کوچکتری باشند، الگوریتم پایدارتر خواهد بود.

شکل ۱۴ آزمون پایداری الگوریتم پیشنهادی در ۲۰ اجرا برای تست ۱ را نشان می‌دهد. چنانچه در شکل مشاهده می‌شود تغییرات در مقادیر تابع هدف کوچک بوده که این امر پایداری الگوریتم را تأیید می‌نماید.



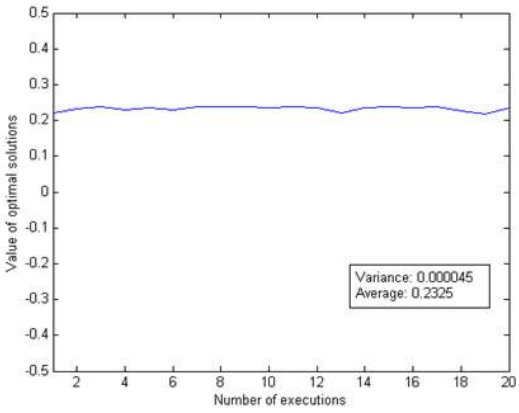
شکل ۱۴: نمودار پایداری TPCEA در تست ۱

شکل ۱۵ نتایج آزمون پایداری برای مسئله‌ی تست ۲ را نمایش می‌دهد.

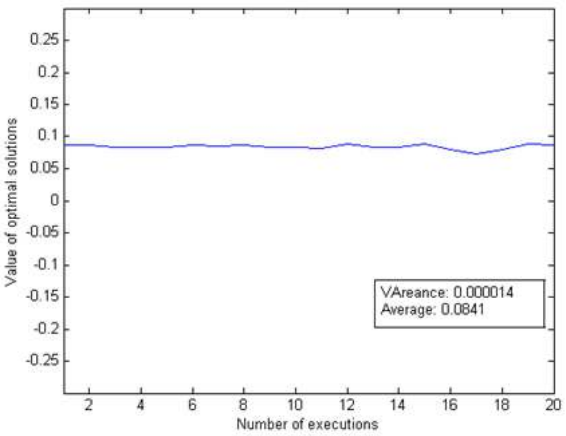


شکل ۱۵: نمودارهمگرایی TPCEA در تست ۲

همانطور که در شکل‌های فوق مشاهده می‌گردد مقدار واریانس در دو آزمون پایداری قبل نزدیک به صفر می‌باشد و این امر نشان دهنده‌ی این امر می‌باشد که الگوریتم در اکثر موارد به جواب یکسانی دست یافته است. در نهایت آزمون پایداری الگوریتم بر روی دو تست دیگر در شکل‌های ۱۶ و ۱۷ نمایش داده شده‌است.



شکل ۱۶: نمودار پایداری TPCEA در تست ۳



شکل ۱۷: نمودار پایداری TPCEA در تست ۴

همانند آزمون‌های قبلی نتایج موجود در جدول فوق نیز پایداری الگوریتم را در مسائل تست ۳ و ۴ تأیید می‌نمایند. حفظ پایداری الگوریتم در این مسائل بیانگر این موضوع می‌باشد که با افزایش ابعاد مسئله نیز الگوریتم به سادگی قادر به دستیابی به پاسخ‌های بهینه می‌باشد.

چنانچه در تمامی آزمون‌های فوق مشاهده شد الگوریتم پیشنهادی دارای پایداری قابل قبولی در مسائل مورد بررسی می‌باشد. این امر قدرت الگوریتم در دستیابی به پاسخ‌های بهینه‌ی مسائل در حالات مختلف را نشان می‌دهد. همچنین به دست آوردن پاسخ‌های بهینه در مسائلی با ابعاد مختلف بیانگر مقیاس‌پذیری الگوریتم می‌باشد؛ بدین معنا که افزایش ابعاد مسئله تأثیر منفی بر کارآیی الگوریتم نخواهد داشت.

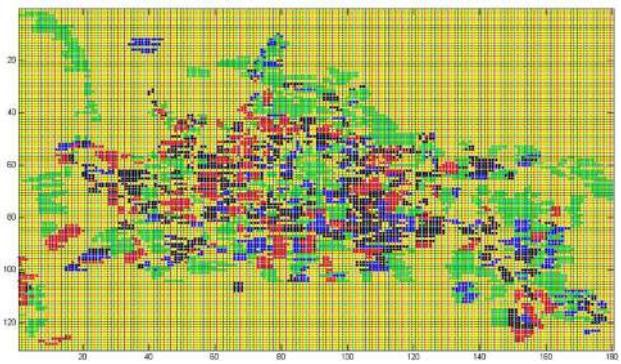
۶. نمونه‌ی موردی

چنانچه در بخش‌های قبل ذکر شد این مقاله بر اساس یک طرح پژوهشی در قالب پایان‌نامه و تحت حمایت بانک تجارت صورت

گرفته است. در این مسئله شهر تبریز به عنوان محدوده‌ی تقاضا در نظر گرفته شده‌است و هدف اصلاح پیکره‌بندی موجود شعبه و باجه‌های بانک تجارت در سطح شهر می‌باشد. هم اکنون توزیع جغرافیایی شعبه‌های بانک تجارت در سطح شهر تبریز به گونه‌ای است که بالغ بر ۸۰٪ تمرکز این واحدها در نقاط مرکزی و تنها ۲۰٪ در مناطق دیگر شهر قرار گرفته‌اند. این شرایط از طرفی با توجه به تمرکز و تراکم اصناف مختلف در محدوده‌ی مرکزی شهر تبریز قابل توجیه می‌باشد اما با افزایش نیازمندی‌ها در مناطق مختلف نیاز به اصلاح پراکندگی این پیکره‌بندی به وضوح احساس می‌شود. در حال حاضر بانک تجارت در سطح شهر تبریز دارای ۴۱ شعبه و ۷ باجه‌ی فعال می‌باشد.

۶,۱. ورودی‌های مسئله

پس از چندین جلسه مصاحبه‌ی حضوری با کارشناسان مربوطه در مدیریت شعب بانک تجارت شهر تبریز معیارهای موردنظر و محدودیت‌های موجود مشخص گردیده و مورد بررسی قرار گرفتند. سپس مجموعه ورودی‌های مسئله شامل محل دقیق قرارگیری شعب و باجه‌های بانکی در سطح شهر به وسیله‌ی مسئول مربوطه در بانک بر روی نقشه‌ی شبکه‌بندی شده مشخص گردیده و به مدل وارد شدند. همچنین اطلاعات مرتبط با محل دقیق قرارگیری پارکینگ‌های عمومی در سطح شهر از طریق سامانه‌ی اطلاع رسانی سازمان ترافیک شهر تبریز جمع آوری گردید. به منظور جمع‌آوری اطلاعات جمعیتی مناطق مختلف و مشخص نمودن پراکندگی سایر تسهیلات شهری از نقشه‌های GIS شهر تبریز استفاده شده‌است. شکل ۱۸ تراکم جمعیتی موجود در قسمت‌های مختلف شهر تبریز را نمایش می‌دهد به طوری‌که رنگ‌های زرد، سبز، آبی، مشکی و قرمز دنباله‌ای از افزایش جمعیت را نشان می‌دهند.



شکل ۱۸: تراکم جمعیتی نقاط مختلف شهر تبریز بر روی نقشه‌ی مشبک

۶,۲. فرض‌های موردنظر

در نمونه‌ی موردی شهر تبریز شامل فضای مسئله به مجموعه‌ی۲۳۴۰۰ سلول با اندازه‌ی تقریبی ۱۰۰متر مربع تقسیم‌بندی شده‌است. از طرف دیگر نیز حوزه‌ی خدماتی شعبه‌ها محدوده‌ای به وسعت تقریبی ۵۰۰ متر مربع در نظر گرفته شده که این محدوده برای باجه‌ها برابر با ۳۰۰ متر مربع می‌باشد. همچنین از آنجایی‌که هزینه‌های عملیاتی جابه‌جایی واحدهای بانکی و استقرار آن‌ها در یک محل جدید تابع عواملی مانند قیمت زمین و نرخ اجاره‌بها در مکان پیشنهادی می‌باشد؛ در اینجا هزینه‌ها به صورت ثابت و برابر با تعداد جابه‌جایی‌های انجام شده در نظر گرفته شده‌اند.

۶,۳. نتایج

پس از انجام آزمایش‌های مختلف و ارزیابی عملکرد الگوریتم بر روی نمونه‌ی موردی با پارامترهای مختلف، در نهایت مجموعه‌ی مقادیر هریک از پارامترها به صورتی که در جدول ۳ آمده است در نظر گرفته شد.

جدول ۳: پارامترهای TPCEA در نمونه‌ی موردی

پارامتر	مقدار
U_x	۱۳۰
U_y	۱۸۰
L	٤٨
N_c	٤
اندازه‌ی جمعیت	۲۰۰۰
نرخ برش	۰/۲
نرخ جهش	۰/۷
تعداد نسل	۳۰۰۰

با توجه به وجود بهینه‌های محلی بسیار زیاد در این نوع مسائل، در این نمونه نیز همانند مسائل تست قبلی نرخ جهش پایین همواره منجر به گرفتار شدن الگوریتم در بهینه‌های محلی گشته و از جستجوی نقاط مختلف فضا جلوگیری می‌نماید. لذا در اینجا نیز نرخ جهش بالایی برای الگوریتم در نظر گرفته شده‌است.

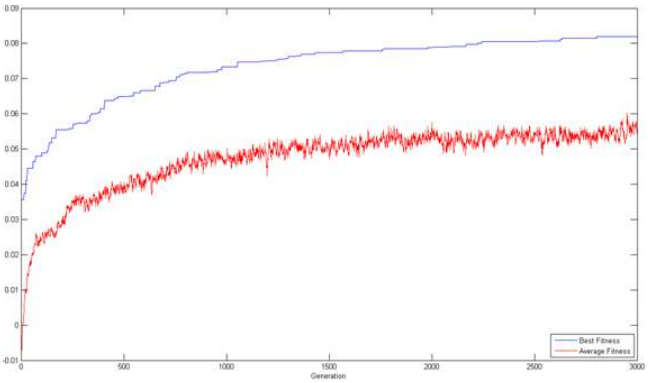
همان‌گونه که قبلاً ذکر شد مقادیر هریک از توابع تک هدفه در بازه‌ی [0, 1] نرمالیزه شده‌اند و طبق اهمیت آن‌ها به هریک وزنی اختصاص داده خواهد شد. با توجه به نظر کارشناسان بانکی

و همچنین بررسی سایر مطالعات صورت گرفته در این زمینه، وزن نهایی هریک از توابع مطابق جدول ۴ در نظر گرفته شده‌است. لازم به ذکر است که این مقادیر، وزن‌های نرمال شده برای معیارها می‌باشند.

جدول ۴: مقادیر وزن‌های اختصاص داده شده به معیارهای مختلف

نام معیار	سهولت دسترسی به تسهیلات شهری (f^f)	تراکم جمعیت (f^d)	نزدیکی به پارکینگ (f^p)	در نظر گرفتن رقبا (f^c)
وزن	۰/۴۱	۰/۲۹	۰/۱۱	۰/۱۷

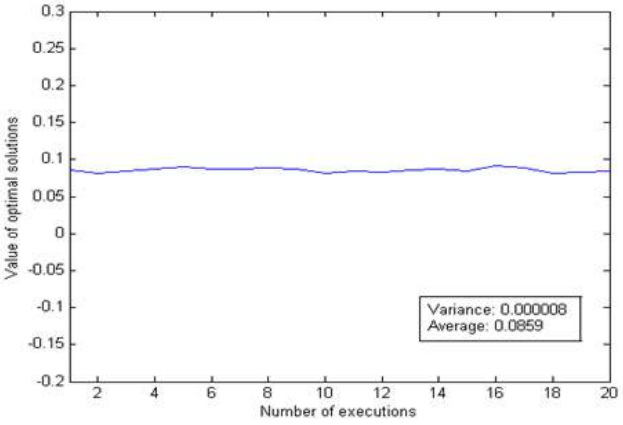
به منظور ارزیابی عملکرد الگوریتم در مسئله‌ی موردنظر تمامی آزمون‌های صورت گرفته برای مسائل تست در این قسمت نیز صورت گرفته است. شکل ۱۹ نمودار همگرایی الگوریتم پیشنهادی در نمونه‌ی موردی را نشان می‌دهد. چنانچه ملاحظه می‌گردد تغییرات در تکرارهای اولیه با سرعت بیشتری صورت می‌گیرد و با پیشرفت الگوریتم و تکامل جمعیت نرخ افزایش تابع هدف کاهش می‌یابد.



شکل ۱۹: نمودارهمگرایی TPCEA در نمونه‌ی موردی

همانطور که در نمودار همگرایی شکل ۱۹ مشاهده می‌شود، مقدار تابع هدف (که بیانگر بهره‌وری شبکه‌ی بانکی می‌باشد) در پیکربندی فعلی برابر با ۰,۳۳ بوده‌است که این مقدار با به‌کارگیری الگوریتم پیشنهادی به ۰,۸۲ در پیکربندی نهایی رسیده‌است. نتیجه‌ی حاصل بیانگر قدرت الگوریتم در یافتن نتایج مناسب در مسائل واقعی و با ابعاد بزرگ می‌باشد.

آزمون پایداری الگوریتم پیشنهادی برای نمونه‌ی موردی در شکل ۲۰ نشان داده شده‌است. این نمودار بیانگر این مورد می‌باشد که در شرایط یکسان و با پارامترهایی مطابق جدول ۳ در اجراهای مختلف الگوریتم نتایج نزدیکی حاصل شده‌است.

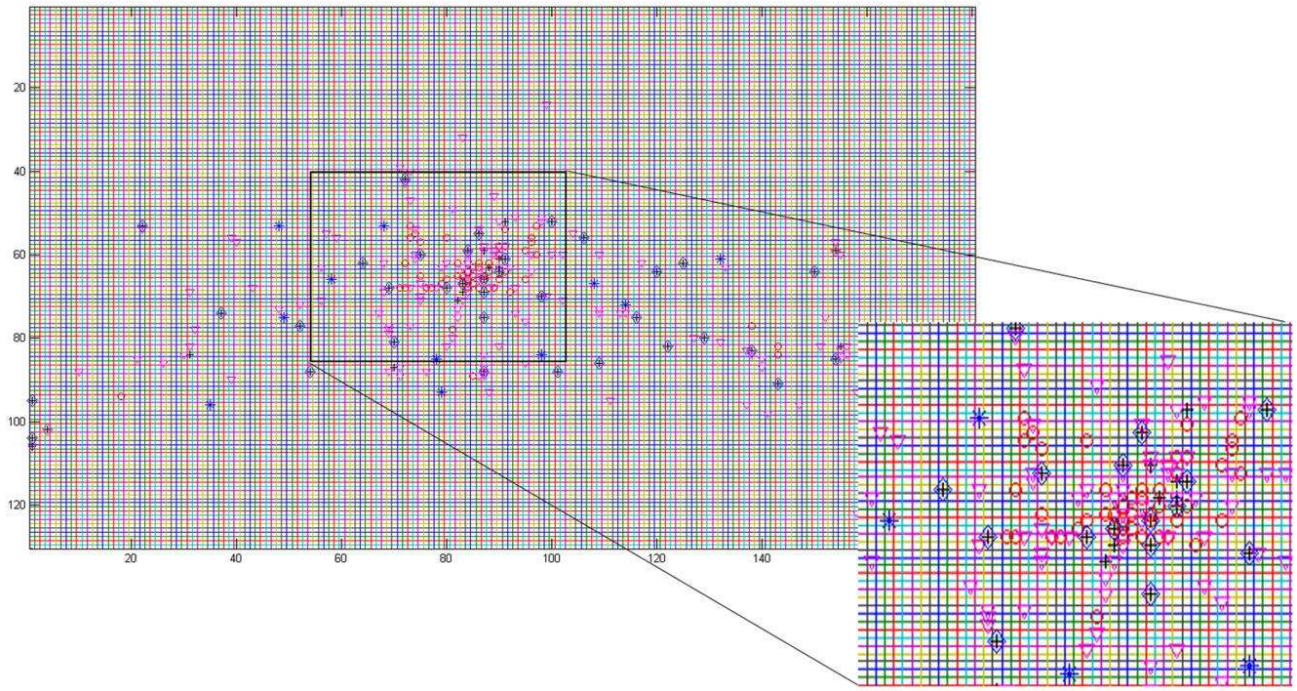


شکل ۲۰: آزمون پایداری TPCEA در نمونه‌ی موردی

شکل ۲۱ پیکربندی نهایی پیشنهادی به وسیله‌ی TPCEA برای اصلاح توزیع جغرافیایی واحدهای بانک تجارت در شهر تبریز را نشان می‌دهد. هم‌چنان که مشاهده می‌گردد محل شعبه‌هایی با فاصله‌ی بسیار کم که به طور عمده در نقاط مرکزی شهر قرار گرفته‌اند؛ به وسیله‌ی الگوریتم تغییر یافته و به مکان‌هایی که نیازمندی‌های پوشش داده نشده در آن‌ها وجود دارد انتقال یافته‌اند. لازم به ذکر است که این پیکربندی تنها به عنوان یک چینش بهینه برای واحدها به بانک ارائه می‌گردد و تصمیمات نهایی در مورد آن به مسئولان مربوطه سپرده خواهد شد.

۶,۴. مقایسه با سایر روش‌ها

چنان‌که قبلاً ذکر شد، راه‌کارهای بسیار متنوعی برای حل مسائل مکان‌یابی و به طور خاص مسائل در حوزه‌ی تسهیلات بانکی به وسیله‌ی محققین ارائه شده‌است. هریک از این راه‌کارها با توجه به شرایط ویژه‌ی مسئله، معیارهای مختلف و محدودیت‌های موجود، روشی متناسب جهت مکان‌یابی بهینه‌ی واحدهای مختلف پیشنهاد داده‌اند. همچنین محدوده‌ی تقاضا و نمونه‌های انتخابی جهت ارزیابی کارآیی روش‌های ارائه شده نیز در هر مورد متفاوت می‌باشد. بر این اساس و از آنجایی‌که دستیابی به داده‌های روش‌های قبلی برای مقایسه‌ی عددی میسر نمی‌باشد در این بخش یک مقایسه‌ی کلی بین روش پیشنهادی و سایر روش‌ها انجام خواهد شد. برای این منظور مقایسه‌ای بین مجموعه‌ای از ویژگی‌های مشترک روش‌های موجود با راه‌کار پیشنهادی در جدول ۵ ارائه شده‌است. شکل ۲۲ نمای کلی از الگوریتم و مراحل مختلف آن را نمایش می‌دهد.



شکل ۲۱: پیکربندی پیشنهادی به وسیله‌ی TPCEA برای واحدهای بانک تجارت در سطح شهر تبریز

جدول ۵: مقایسه‌ی TPCEA با سایر روش‌ها

	TPCEA	[13]	[۱۵]	[12]	[10]	[3]	[14]
درنظر گرفتن رقبا	✓	-	✓	-	-	-	-
قابلیت به کارگیری در مسائلی با ابعاد بزرگ	✓	-	-	-	-	✓	-
در نظر گرفتن ساختار سلسله مراتبی در واحدها	✓	✓	-	-	✓	✓	-
استفاده از ابزار GIS	✓	✓	✓	-	-	✓	-
مشخص کردن مکان دقیق تسهیلات	✓	-	✓	✓	-	-	-
در نظر گرفتن افزایش بهره‌وری بانک به عنوان هدف اصلی	✓	✓	-	-	✓	✓	✓

۷. بحث

در یک مسئله‌ی مکان‌یابی در نظر گرفتن معیارها و شاخص‌های مختلف در کنار یکدیگر با هدف تعیین مناسب‌ترین مکان، موجب پیچیده شدن فرآیند تصمیم‌گیری خواهد شد. این دشواری از آن‌جا ناشی می‌گردد که اغلب معیارها و اهداف مورد نظر در تضاد با یکدیگر بوده و ایجاد تعادل بین آن‌ها به سادگی امکان‌پذیر نمی‌باشد. در این میان افزایش ابعاد مسئله و درگیر شدن با محدودیت‌های موجود در مسائل واقعی بر دشواری آن خواهد افزود. تمامی این موارد در کنار یکدیگر منجر به ایجاد یک فضای جستجوی دندانه‌وار با تعداد بسیار زیاد بهینه‌های محلی می‌گردد. در این حالت چنانچه الگوریتم قدرت رهایی از این بهینه‌های محلی را نداشته باشد به پاسخ بهینه‌ی مسئله نیز دست نخواهد یافت. چنانچه قبلاً ذکر شد کارکرد عملگر برش به گونه‌ای است که تنها به جستجوی محلی در محدوده‌ای خاص از فضای مسئله می‌پردازد؛ لذا به منظور گسترش حوزه‌ی جستجو و کشف نقاط جدید، عملگر جهش مورد استفاده قرار می‌گیرد. در آزمایش‌های صورت گرفته با نرخ‌های مختلف جهش و برش مشاهده گردید که نرخ جهش پایین منجر به متمرکز شدن تسهیلات در یک محدوده گردیده و مانع از جستجوی قسمت‌های مختلف فضا می‌گردد. بنابراین در راه‌کار پیشنهادی استفاده از عملگر جهش با نرخ بالا به ویژه در مسائل با ابعاد بزرگ توصیه می‌شود.

۸. نتیجه‌گیری و راه‌کارهای آتی

نظر به اهمیت مکان‌یابی دقیق و بهینه جهت استقرار تسهیلات بانکی، در این پژوهش الگوریتم TPCEA با ویژگی‌های جدید ارائه گردید. روش پیشنهادی با به‌کارگیری یک شیوه‌ی کدگذاری سه بخشی و استفاده از عملگرهای متناسب سعی در دستیابی به یک پیکربندی بهینه برای تسهیلات بانکی دارد. از دید این روش مسئله‌ی مکان‌یابی تسهیلات بانکی یک مسئله‌ی بهینه‌سازی چند هدفه می‌باشد که هر یک از توابع هدف با وزن‌های متناسب با اهمیتشان، دستیابی به یکی از معیارهای موردنظر را تضمین می‌نمایند. پایداری و همگرایی از مهم‌ترین معیارهای سنجش کارآیی الگوریتم‌ها به شمار می‌روند. با توجه به آزمایش‌های مختلف صورت گرفته در این زمینه، روش پیشنهادی پایداری بالایی را از خود نشان داده است. این امر با توجه به انحراف معیار کوچک مقادیر تابع هدف در اجراهای مختلف الگوریتم به اثبات رسیده است. همگرایی پاسخ‌ها در طی پیشرفت الگوریتم، نمایانگر صحت روند تکامل افراد و دستیابی به پاسخ بهینه می‌باشد و احتمال همگرایی به دلیل گرفتار شدن در بهینه‌های محلی را رد می‌نماید. نتایج حاصل از پیاده‌سازی راه‌کار پیشنهادی بر روی یک مسئله‌ی واقعی به منظور اصلاح توزیع جغرافیایی واحدهای بانکی در یک شهر، صحت ویژگی‌های ذکر شده‌ی الگوریتم در مسائلی با ابعاد بزرگ را نیز تأیید می‌نماید. پیکربندی پیشنهادی به وسیله‌ی الگوریتم، یک دید جدید به منظور سازماندهی شبکه‌ی بانکی موجود به مسئولان خواهد داد.

روش ارائه شده در این مقاله قابلیت به کارگیری در مسائلی با ساختار سلسله مراتبی و ویژگی‌های مشابه را دارا می‌باشد. برای مثال مکان‌یابی بیمارستان‌ها و امکانات بهداشتی درمانی، دفاتر پست و کارخانه‌ها از جمله مسائلی می‌باشند که می‌توان کاربرد راه‌کار پیشنهادی در آن‌ها را مورد بررسی قرار داد. از طرف دیگر، تعیین وزن توابع هدف مختلف در این مسئله با توجه به نظر کارشناسان و استفاده از نتایج پژوهش‌های پیشین صورت گرفته است. این مرحله می‌تواند با به‌کارگیری روش‌هایی مانند AHP و یا الگوریتم‌های مکاشفه‌ای به صورت یک مسئله‌ی مجزا مورد بررسی قرار گیرد.

مراحل TPCEA

۱- تنظیم پارامترهای الگوریتم شامل اندازه‌ی جمعیت، تعداد نسل، نرخ جهش و نرخ برش

۲- ایجاد جمعیت اولیه

تا زمانی که شرط خاتمه برقرار نیست، مراحل ۳ تا ۷ اجرا خواهند شد:

۳- ارزیابی تابع برازش برای تمام افراد جمعیت

٤- انتخاب کروموزوم‌ها با به کارگیری عملگر چرخ رولت و انتقال به جمعیت میانی

۵- انتخاب تصادفی دو والد از جمعیت میانی و انجام عملیات برش

- برش حسابی برای بخش اول کروموزوم
- برش دو نقطه‌ای برای بخش دوم کروموزوم
- برش MPMX برای بخش سوم کروموزوم

٦- انجام عملیات جهش بر روی فرزندان

- جهش اعشاری برای بخش اول کروموزوم
- جهش تغییر بیتی برای بخش دوم کروموزوم
- جهش جابه‌جایی برای بخش سوم کروموزوم

۷- جایگزینی تمام افراد جمعیت جدید بر روی جمعیت قبلی به همراه نخبه‌کشی

۸- بهترین فرد از آخرین جمعیت به عنوان جواب نهایی برگشت داده می‌شود.

شکل ۲۱: نمای کلی الگوریتم TPCEA

مراجع

[۱] رحمانی م. و سعیدیان طبرسی م.، «ارائه‌ی مدل مکان‌یابی امکانات پارک سوار و حل آن با الگوریتم ژنتیک در محیط GIS »، پژوهش‌نامه حمل و نقل، سال ۶، شماره ۳، صص ۲۵۵-۲۴۵، ۱۳۸۸.

[۲] سیدحسینی س. م.، حیدری ر. و حیدری ط.، «حل مسئله‌ی مکان‌یابی پایانه‌های اتوبوس‌رانی درون شهری با استفاده از الگوریتم ژنتیک،» نشریه‌ی بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، دوره ۲۰، شماره ۳، صص۸۶-۷۵، ۱۳۸۸.

[3] Xia L., Yin W., Dong J., Wu T., Xie M. and Zhao Y., "A Hybrid Nested Partitions Algorithm for Banking Facility Location Problems," IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, Vol. 7, No. 3, pp. 654-658, 2010.

[4] Ren Y., Metaheuristics for Multiobjective Capacitated Location Allocation on Logistics Networks, Thesis for the Degree of Master of Applied Science, Concordia University, Canada, 2011.

[5] Chase, R.B., Aquilano N. J. and Jacobs F.R., Production and Operations Management: Manufacturing and Services, Eighth Edition, USA: McGraw-Hill, 1998.

[6] Tzeng, G.H. and Chen, Y.W., "The Optimal Location of Airport Fire Stations: A fuzzy Multi-Objective Programming and Revised Genetic Algorithm Approach," Transportation Planning and Technology, Vol. 23, pp. 37–55. 1999.

[7] Xia L., Xie M., Yin W., Dong J. and Shao J., "Markov Decision Processes Formulation for Stochastic and Dynamic Bank Branches Location Problems," IEEE, 2008.

[8] Xiaoling W., Lei S., Jin W., Cho J. and Lee S., "Energy-Efficient Deployment of Mobile Sensor Networks by PSO," Advanced Web and Network Technologies and Applications Lecture Notes in Computer Science, Vol. 3842, pp. 373-382, 2006.

[9] Yang L., F. Jones B. and Yang Sh., "A Fuzzy Multi-Objective Programming for Optimization of Fire Station Locations Through Genetic Algorithms," European Journal of Operational Research, Vol. 181, pp. 903-915, 2007.

[10] Min H. and Melachrinoudis E., " The three-hierarchical location-allocation of banking facilities with risk and uncertainty," International Transactons in Operational research, Vol. 8, pp. 381-401, 2001.

[11] Miliotis P., Dimopoulou M., and Gianniko I., "A Hierarchical Location Model for Locating Bank Branches in a Competitive Environment," International Transaction in Operational Research, Vol. 9, Blackwel, pp. 549-565, 2002.

[12] Aldajani M. K. and Alfares H. K., "Location of Banking Automatic Teller Machines Based on Convolution," Computers & Industrial Engineering, Elsevier, Vol. 57, pp. 1194-1201, 2009.

[13] Karaganis A. and Mimis A., "A Geographical Information System Framework for Evaluating the Optimum Location of Point-Like Facilities," Asian Journal Of Information Technology, Vol. 10, No. 4, pp. 129-135, 2010.

[14] Cebi F. and Zeren Z., "A Decision Support Model for Location Selection: Bank Branch Case," Management of Engineering & Technology Portland International Conference, South Africa, pp. 1069-1074, 2008.

[۱۵] گلی ع.، الفت ل. و فوکردی ر.، «مکان‌یابی دستگاه‌های خودپرداز با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) مطالعه‌ی موردی: شعب بانک کشاورزی منطقه ۱۰ شهرداری تهران،» فصلنامه‌ی جغرافیا و توسعه، دوره ۱۸، صص ۱۰۸- ۹۳، ۱۳۸۸.

[۱۶] مطیع قادر ح.، لطفی ش. و سیداسفهلان م. م.، مروری بر برخی روش‌های بهینه‌سازی هوشمند، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد شبستر، ۱۳۸۹، ۳۳-۱۹.

[17] Zanjirani Farahani R., SteadieSeifi M. and Asgari N., "Multiple Criteria Facility Location Problems: A Survey," Applied Mathematical Modelling, Vol. 34, pp.1689–1709, 2010.