تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۲۵

به‌کارگیری الگوریتم‌های بهینه چند هدفه ژنتیک در مکان‌یابی اسکان موقت بعد از زلزله (مورد مطالعه: منطقه ۵ شهر تبریز)

مهدی محمدی سرین دیزج (نویسنده مسئول)
استادیار، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران، M_mohammadi@pnu.ac.ir

اکبر محمدی
دانش‌آموخته کارشناسی ارشد GIS، واحد ممقان، دانشگاه آزاد اسلامی، ممقان، ایران

چکیده
مکان‌یابی پناهگاه‌های اسکان موقت یک مسئله پیچیده بهینه‌سازی است. در این پژوهش منطقه ۵ شهر تبریز به دلیل حساسیت مکانی از نظر جغرافیایی و زمین‌شناسی، به‌منظور مکان‌یابی محل استقرار موقت جمعیت‌های آسیب‌دیده از زلزله مورد مطالعه قرار گرفته است. روش تحقیق تحلیلی- توصیفی و از دودسته معیار سازگار و ناسازگار استفاده شده که با به‌کارگیری الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه ژنتیک، به‌عنوان یک روش جدید فرا ابتکاری، در ترکیب با سیستم اطلاعات جغرافیایی مدلی ارائه شده است که هم‌زمان با انتخاب مکان‌های امن، تخصیص جمعیت را انجام و کیفیت مکان‌یابی را بر اساس توابع هدف تعریف شده، مورد بررسی قرار می‌دهد. با ارزیابی ۱۴ معیار طبیعی و انسانی، مکان‌های امن شناسایی‌شده با استفاده از مدل AHP در سه اولویت قرارگرفته، سپس الگوریتم NSGA-II جهت تخلیه بلوک‌های جمعیتی به مکان‌های امن بر اساس تابع کمترین فاصله به‌منظور انتقال سریع و تابع حداقل تعداد مکان‌های امن برای تخصیص بلوک‌های جمعیتی جهت سرویس‌دهی و مدیریت بهینه و نیز تابع هدف میزان نقض بلوک‌های جمعیتی توسط جمعیت آسیب‌دیده در نرم‌افزار متلب مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که همه بلوک‌های جمعیتی به بهترین شکل ممکن به نزدیک‌ترین و حداقل مکان‌های امن تخصیص یافتند. نقاطی از شهر که دارای فضاهای باز کافی و درعین‌حال سازگار با کاربری‌های اطراف می‌باشند، دارای پتانسیل نسبتاً بهتری برای استقرار آسیب‌دیدگان هستند.

واژگان کلیدی: مکان‌یابی، اسکان موقت، زلزله، الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه ژنتیک، NSGA-II، منطقه ۵ شهر تبریز.

۱- مقدمه

شهرها، به‌عنوان پیچیده‌ترین ساخته‌ی دست بشر هستند که امروزه با رشد بی‌رویه جمعیت مواجه بوده و گسترش آنها روی بسترهای پرمخاطره شدت گرفته است. اگر شهرها درک روشنی از خطر مخاطراتی که با آن‌ها روبرو هستند نداشته باشند، برنامه‌ریزی کاهش خطرپذیری (ریسک) به‌احتمال زیاد بی‌فایده خواهد بود [۱]. برنامه‌ریزی و تأمین حداقل استانداردها برای سکونتگاه‌های موقت و اضطراری، از حقوق و احتیاجات اولیه کسانی است که در معرض مخاطرات و سوانح قرار می‌گیرند. وجود سرپناه به‌منظور مصونیت در برابر انواع خطرات، امری ضروری بوده و برای حفظ منزلت انسان، در چارچوب نظام خانوادگی و اجتماعی در شرایط دشوار، از اهمیت بالایی برخوردار است [۲]. ازجمله این مخاطرات زلزله است که به‌طور غافلگیرکننده و اجتناب‌ناپذیر در سکونتگاه‌های انسانی و به‌طور اخص در شهرها رخ‌داده و به علت گستردگی تأثیر بر منابع مادی و انسانی و قطع روند طبیعی حیات، غالباً خارج از ظرفیت تطابق جوامع بوده است.

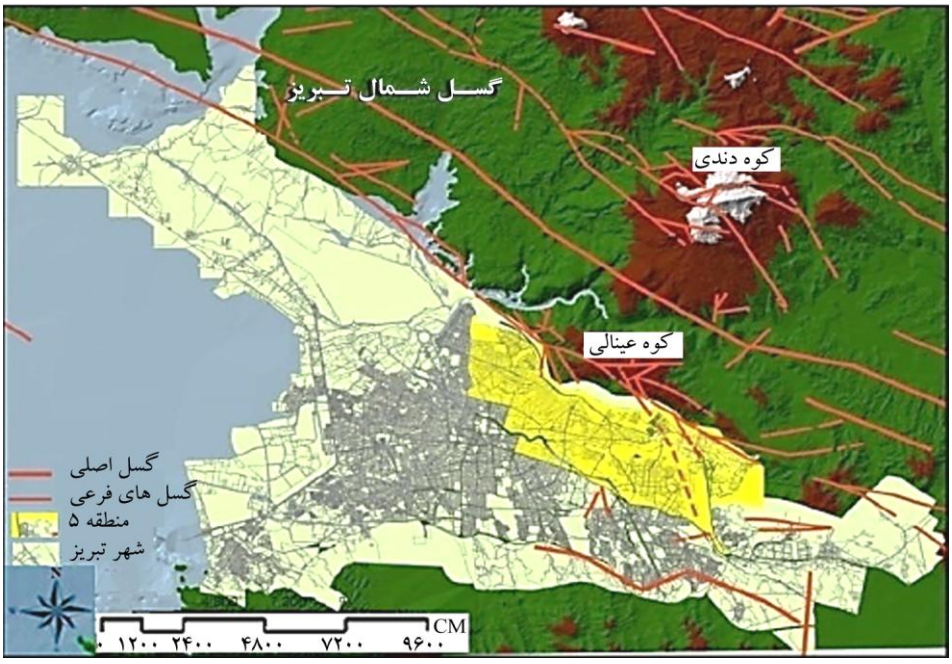
امروزه اهمیت زلزله در ایران، با شدت یافتن گسترش شهرها و تمرکز جمعیت در آنها بیشتر درک می‌شود. در این راستا، شهر تبریز ازجمله سکونت‌گاه‌هایی است که بارها رویارویی مستقیم با مخاطره زلزله را تجربه کرده است. پهنه‌بندی خطر زلزله شهر

تبریز که در سال ۱۳۸۸ توسط شرکت تهران پادیر انجام‌شده، در شرایط کنونی بیش از ۴۲۶ هزار تلفات انسانی را برای زلزله شمال تبریز پیش‌بینی کرده است [۳]. گسل شمال شهر تبریز بنیادی‌ترین سازند موجود در گستره‌ی دشت تبریز است که به لحاظ فرونشست فشاری آن، دشت تبریز ایجاد شده است و به لحاظ اینکه گسل فوق اکثر رسوبات کواترنر را قطع می‌نماید، دارای قدرت لرزه‌ای بالایی است [۴].

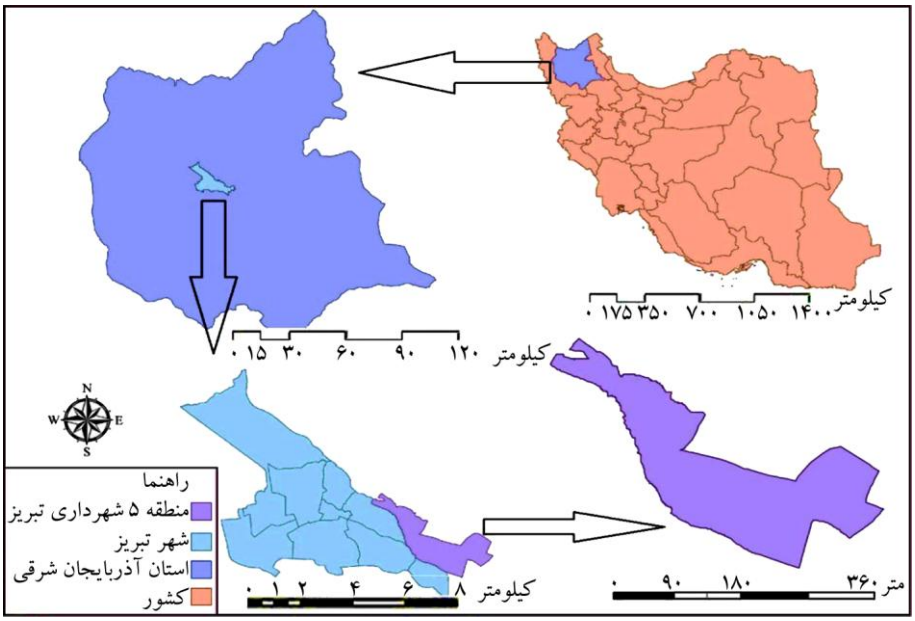
مطالعات نشان می‌دهد که دقیقاً در محدوده مورد مطالعه (منطقه ۵ تبریز) و کاملاً روی گسل و حریم آن ساختمان‌سازی بسیاری صورت گرفته است [۵] (شکل ۱)؛ درحالی‌که طبق مقررات شهرسازی، ساخت‌وساز و ایجاد کاربری در شهرها باید حداقل ۲۰ کیلومتر از حریم گسل فاصله داشته باشد. پهنه‌بندی عوامل زمین‌ساخت (شیب و توپوگرافی) نشان می‌دهد که علی‌رغم نامطلوب بودن شرایط جغرافیایی حاکم بر این قسمت از شهر و رعایت نشدن ساخت‌وساز در حریم گسل در یک قرن اخیر، جمعیت‌پذیری بی‌رویه به همراه فرسودگی بافت‌های مسکونی به‌شدت ادامه پیدا کرده است. این در حالی است که هم‌اکنون نیز با وجود هشدارهای محققان و کارشناسان امر و آگاهی مسئولان ذی‌ربط نسبت به میزان خطرپذیری و ریسک ساخت‌وساز مسکن به‌ویژه بلندمرتبه‌سازی به‌صورت برج‌های مسکونی و تجاری در منطقه مورد مطالعه همچنان فعالیت‌های ساختمان‌سازی و احداث، با سرعت تمام در جریان است. امکان پتانسیل لرزه‌ای باسابقه زلزله‌های تاریخی شدید به همراه شکل‌گیری بافت‌های حاشیه‌ای در ۵۰ سال اخیر و به‌تبع آن فرسودگی بافت‌های مذکور در محدوده‌ی مورد مطالعه وقوع یک فاجعه عظیم انسانی را در این شهر به دنبال خواهد داشت. این پژوهش بر مبنای مدیریت بحران در مرحله‌ی پس از وقوع زلزله با محوریت برنامه‌ریزی اسکان موقت بر اساس الگوریتم‌های بهینه‌ی چندهدفه ژنتیک در محیط GIS[1] است. با این برآیند از وضعیت محدوده‌ی مورد مطالعه در ارتباط با میزان و شدت خطرپذیری آن در برابر زلزله می‌توان این سؤال را مطرح کرد: مکان‌های مناسب جهت اسکان موقت زلزله‌زدگان در زمان پس از وقوع زمین‌لرزه در منطقه ۵ شهر تبریز کجا می‌تواند باشد و تخصیص جمعیت به چه صورت خواهد بود؟

۲- معرفی محدوده موردمطالعه

شهر تبریز بزرگ‌ترین شهر منطقه شمال غرب ایران و مرکز



شکل (۱): نقشه فاصله منطقه از خطوط گسل.



شکل (۲): نقشه موقعیت جغرافیایی محدوده منطقه مورد مطالعه در مقیاس شهر، استان و کشور (نگارندگان، ۱۳۹۶).

استان آذربایجان شرقی است (شکل ۲). این شهر در ۴۶ درجه و ۱۵ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ و ۳۸ درجه و ۸ دقیقه عرض شمالی از مبدأ و با ارتفاع متوسط حدود ۱۳۴۰ متر در جلگه‌ای به نام تبریز واقع شده است. بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۵ با جمعیتی بالغ‌بر ۱۵۵۸۶۹۳ نفر پنجمین شهر پرجمعیت ایران محسوب می‌شود [۶]. کلان‌شهر تبریز با ۲۴۴۵۳ هکتار وسعت دارای ۱۰ منطقه شهرداری است که در این بین منطقه ۵ با وسعتی معادل ۳۱۵۳ هکتار در جهات شمال و شرق تبریز واقع‌شده است، که از شمال به کوی فرشته، از جنوب به باغمیشه، از غرب به کوی ولی امر – اتوبان پاسداران، و از شرق به مرزداران و نصر محدود می‌شود. این منطقه نسبت به سایر مناطق ده‌گانه از نظر وسعت رتبه دوم را داراست. جمعیت این منطقه بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۵ بالغ‌بر ۱۲۶۱۲۵ نفر است. نزدیکی بیش‌ازحد به گسل بزرگ شمال تبریز و همچنین دارا بودن ترکیبی از انواع بافت‌های شهری به‌خصوص بافت‌های فرسوده و حاشیه‌نشین و شبکه‌ی ارتباطی ناموزون از ویژگی‌های این منطقه است. این ویژگی‌ها از علل عمده انتخاب این منطقه جهت پژوهش بوده است. همان‌طور که در شکل (۱) مشاهده می‌شود قسمت‌هایی از محدوده مورد مطالعه کاملاً بر روی گسل تبریز قرار دارند.

۳- مراحل کلی فرآیند بهینه‌سازی اسکان موقت

بهینه‌سازی اسکان موقت در سه گام کلی به شرح زیر صورت می‌گیرد (شکل ۳):

- گام اول: تعیین بهینه مکان‌های امن برای اسکان موقت؛
- گام دوم: تعیین مسیر بهینه بین بلوک ساختمانی و مکان‌های امن؛
- گام سوم: تخصیص بهینه بلوک‌های جمعیتی به مکان‌های امن. در نهایت در این گام، هدف گروه‌بندی بلوک‌های ساختمانی برای هر مکان امن است به‌گونه‌ای که دو شرط زیر رعایت شود:

شکل (۳): نمودار گام‌های اسکان موقت.

- جابه‌جایی جمعیت از بلوک‌های ساختمانی به مکان‌های امن باید حداقل باشد تا افراد با حداکثر سرعت و حداقل تلفات در مکان‌های امن اسکان یابند.
- مکان‌های امن به‌طور نسبی اضافه یا کمبود جمعیت نداشته باشند [۷].

۵- روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش از نظر نوع کاربردی و از نظر روش توصیفی- تحلیلی و میدانی است. در این راستا در مرحله‌ی جمع‌آوری اطلاعات و داده‌های اولیه، از مطالعات کتابخانه‌ای و میدانی و مصاحبه با صاحب‌نظران و کارشناسان استفاده گردید. برای تولید معیارهای مورد استفاده در پژوهش از مواد و داده‌های زیر استفاده شده است.

۱. استفاده از DEM[۲] منطقه مورد مطالعه برای تولید نقشه شیب در محیط GIS، استفاده از نقشه زمین‌شناسی تبریز برای ترسیم خطوط گسل‌های منطقه
۲. استفاده از نقشه کاربری اراضی شهری تبریز برای تولید نقشه‌های مراکز آتش‌نشانی، مراکز درمانی، فضاهای باز و زمینه‌ای خالی، مراکز نظامی و انتظامی و...
۳. بعد از تولید نقشه‌های مورد نیاز، همه نقشه‌های تولید شده در محیط GIS گردآوری، ذخیره و بعد از وزن دهی از طریق فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)[۳] روی‌هم‌گذاری شده و نقشه مکان‌های امن برای اسکان موقت آسیب‌دیدگان ناشی از زلزله در منطقه مورد مطالعه شناسایی شده و مورد تحلیل قرار گرفته است. در ادامه جهت بهینه‌یابی مکان‌های امن به‌دست‌آمده و تخصیص بلوک‌های جمعیتی به مکان‌های امن با استفاده از مختصات نقشه‌های محل‌های اسکان موقت و جمعیت بلوک‌های جمعیتی با به‌کارگیری روش الگوریتم‌های چندهدفه ژنتیک (NSGA-II)، به برنامه‌نویسی در نرم‌افزار متلب اقدام گردید.
۴. مهم‌ترین اقدام در مکان‌یابی، تعیین پارامترها و معیارهای مناسب است. برای این امر، معیارها به دودسته کلی سازگار و ناسازگار و داده‌های عرضه و تقاضا تقسیم‌بندی شدند. در ابتدا معیارهای سازگار و ناسازگار به‌کاررفته در تحقیق مورد بررسی قرارگرفته سپس به فرآیند مدل تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) پرداخته شد.

معیارهای ناسازگار: پارامترهای ناسازگار شامل زیرمجموعه خطرات طبیعی و کانون‌های خطرساز ازجمله گسل‌ها، پمپ‌بنزین، خطوط انتقال گاز، ارتفاع، شیب و... می‌باشند. این معیارها با توجه به خطراتی که به‌طور بالقوه دارا هستند باید بیشترین فاصله را تا مکان‌های امن داشته باشند.

معیارهای سازگار: با توجه به نیازها و اهداف این کاربری که در راستای امداد و کمک‌رسانی بعد از وقوع حادثه است، لایه‌های مراکز درمانی، معابر، آتش‌نشانی، مراکز انتظامی، فضای سبز، ورزشی و گنجایش مکان‌های امن در این بخش قرار گرفته‌اند.

بلوک‌های جمعیتی (نقاط تقاضا): هرچه تراکم جمعیتی در شهر کمتر باشد و این تراکم به‌طور متعادل در سطح شهر توزیع شده باشد، آسیب‌پذیری شهر در برابر زلزله کمتر خواهد بود. البته این وضعیت ایده‌آل در کمتر جایی در دنیا وجود دارد. برعکس تراکم جمعیتی بالا در شهر هم موجب بالا رفتن تلفات در لحظه زلزله خواهد شد و هم کار امدادرسانی، اسکان موقت و اسکان دائم را با مشکل مواجه خواهد کرد. طبق سرشماری سال ۱۳۹۵، منطقه ۵ شهر تبریز بالغبر ۱۲۶۱۲۵ نفر جمعیت دارد و با توجه به مساحت کنونی ۳۱۵۳ هکتار، تراکم جمعیت فعلی این منطقه معادل ۳۹۹ نفر در کیلومترمربع است.

مکان‌های امن (نقاط عرضه): آنچه در زمان وقوع بحران اتفاق می‌افتد، علاوه بر خسارت‌های جانی و مالی، خسارت‌های اجتماعی فراوانی نیز به دنبال دارد. بنابراین به‌منظور کاهش خسارات اجتماعی و روانی در تأمین سرپناه و اسکان موقت آسیب‌دیدگان، مکان‌یابی این مراکز بایستی با توجه به یک‌سری ملاحظات صورت گیرد. از این جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [۸].

- پرهیز از اسکان بازماندگان در نقاط دور از محل کار، مدرسه و سایر امکانات اجتماعی اقتصادی با توجه به دلایل عاطفی و

روانی آنها برای حضور در محل حادثه، حفظ اموال برجای‌مانده و تأکید بر مالکیت زمین.

- پرهیز از ایجاد اردوگاه‌های اضطراری وسیع، به‌منظور کاهش معضلات اجتماعی در مراکز اسکان موقت و ایجاد امنیت عاطفی و روانی در یک محیط خصوصی و نیمه‌خصوصی برای کمک به بازگرداندن شرایط به حالت عادی.

۵-۱- مدل تحلیل سلسله‌مراتبی AHP

تحلیل سلسله‌مراتبی AHP جهت برنامه‌ریزی، مکان‌یابی و اولویت‌بندی استفاده می‌شود که از طریق مقایسات زوجی هر سطح نسبت به عنصر مربوطه خود در سطح بالاتر به‌صورت زوجی مورد مقایسه قرار می‌گیرد. در این تحلیل ماتریس، تعدادی مقایسه دوتایی را به‌عنوان ورودی دریافت و اوزان مورد نظر را به‌عنوان خروجی تولید می‌کند [۹-۱۱]. در ادامه این رابطه ماتریس مقایسه دودویی (جدول ۱) برای تعیین وزن نهایی هر یک از معیارها آورده می‌شود.

۵-۲- الگوریتم ژنتیک چندهدفه مبتنی با مرتب‌سازی نامغلوب (NSGA-II)[۴]

الگوریتم‌های تکاملی از سال ۱۹۶۰ و با الهام‌گیری از پدیده‌های طبیعی جهت حل مسائل بهینه‌سازی مورد توجه قرار گرفت. یک نوع از این الگوریتم‌ها ژنتیک است که برای اولین بار توسط جان هالند [۱۲] معرفی شد. از بین الگوریتم‌های تکاملی، الگوریتم ژنتیک غالباً برای حل مسائل کاربری زمین به‌کار رفته است [۱۳]. الگوریتم‌های ژنتیک در کنار سیستم اطلاعات مکانی یک ترکیب بالقوه قوی برای حل مسائل بهینه‌سازی ترکیبی بزرگ‌مقیاس و مکانی ارائه می‌کنند. الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب[۵] یکی از پرکاربردترین و قدرتمندترین الگوریتم‌های موجود برای حل مسائل بهینه‌سازی چندهدفه است.

جدول (۱): ماتریس مقایسه دوتایی مدل AHP (نگارندگان، ۱۳۹۶).

معیارها	ابعاد زمین	تراکم جمعیت	مسیل	فضای سبز	ورزشی	معابر	تعداد طبقات	خطوط گاز	آموزشی	جایگاه سوخت	آتش‌نشانی	درمانی	گسل	شیب	وزن نهایی
ابعاد زمین	۱	۹	۹	۹	۹	۹	۹	۹	۹	۹	۹	۹	۹	۹	۰/۲۰۰۵
تراکم جمعیت	۰/۱۱۱	۱	۲	۳	۳	۴	۴	۵	۵	۷	۷	۹	۹	۹	۰/۱۶۸۹
مسیل	۰/۱۱۱	۰/۵	۱	۲	۲	۳	۳	۴	۴	۵	۵	۷	۷	۹	۰/۱۳۲۷
فضای سبز	۰/۱۱۱	۰/۳۳۳	۰/۵	۱	۲	۲	۳	۳	۴	۴	۵	۵	۷	۷	۰/۱۰۵۴
ورزشی	۰/۱۱۱	۰/۳۳۳	۰/۵	۰/۵	۱	۲	۲	۳	۳	۴	۴	۵	۷	۷	۰/۸۶۶
معابر	۰/۱۱۱	۰/۲۵	۰/۳۳۳	۰/۵	۰/۵	۱	۲	۲	۳	۳	۴	۴	۵	۵	۰/۰۶۸۶
تعداد طبقات	۰/۱۱۱	۰/۲۵	۰/۳۳۳	۰/۳۳۳	۰/۵	۰/۵	۱	۲	۲	۳	۳	۴	۵	۵	۰/۰۵۶۵
خطوط گاز	۰/۱۱۱	۰/۲	۰/۲۵	۰/۳۳۳	۰/۳۳۳	۰/۵	۰/۵	۱	۲	۲	۳	۳	۴	۴	۰/۰۴۴۶
آموزشی	۰/۱۱۱	۰/۲	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۳۳۳	۰/۳۳۳	۰/۵	۰/۵	۱	۲	۲	۳	۳	۴	۰/۰۳۷۷
ایستگاه سوخت	۰/۱۱۱	۰/۱۴۲۹	۰/۲	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۳۳۳	۰/۳۳۳	۰/۵	۰/۵	۱	۲	۲	۳	۳	۰/۰۲۹۳
آتش‌نشانی	۰/۱۱۱	۰/۱۴۲۹	۰/۲	۰/۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۳۳۳	۰/۳۳۳	۰/۵	۰/۵	۱	۲	۲	۳	۰/۰۲۵۴
درمانی	۰/۱۱۱	۰/۱۱۱	۰/۱۴۲۹	۰/۲	۰/۲	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۳۳۳	۰/۳۳۳	۰/۵	۰/۵	۱	۲	۲	۰/۰۲۰۳
گسل	۰/۱۱۱	۰/۱۱۱	۰/۱۴۲	۰/۱۴۲	۰/۱۴۲	/۱۴۲	۰/۲	۰/۲۵	۰/۳۳۳	۰/۳۳۳	۰/۵	۰/۵	۱	۲	۰/۰۱۵۸
شیب	۰/۱۱۱	۰/۱۱۱	۰/۱۱۱	۰/۱۴۲	۰/۱۴۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۳۳۳	۰/۳۳۳	۰/۵	۰/۵	۱	۰/۰۰۷۷
مجموع															۱

در این راستا دب [۱۴] در سال ۱۹۹۴ الگوریتم NSGA را معرفی کرده است که تفاوت آن با GA ساده فقط در نحوه عملکرد اپراتور انتخاب است. به دلیل پیچیدگی محاسباتی این الگوریتم، او در سال ۲۰۰۲ الگوریتم کامل‌تر NSGA-II را پیشنهاد داد [۱۵]. این الگوریتم با اضافه شدن دو عملگر ضروری به الگوریتم ژنتیک تک‌هدفه معمولی، به یک الگوریتم چندهدفه تبدیل‌شده است که به‌جای یافتن بهترین جواب تک‌بعدی، دسته‌ای از بهترین جواب‌ها را ارائه می‌دهد که با نام جبهه پارتو شناخته می‌شوند. این دو عملگر عبارتند از:

- عملگری که یک معیار برتری (رتبه) بر اساس مرتب‌سازی نامغلوب و جبهه‌بندی به اعضای جمعیت اختصاص می‌دهد.
- عملگری که تنوع جواب و پراکندگی آنها را در میان جواب‌های با رتبه برابر حفظ می‌کند [۱۵].

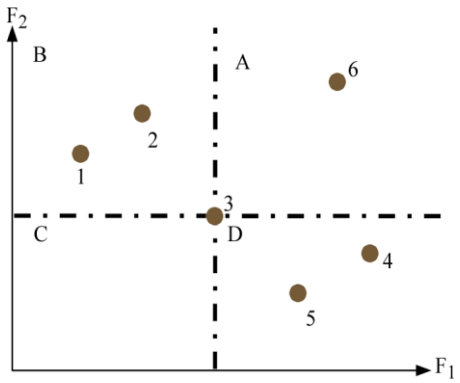
۵-۳- مفاهیم الگوریتم بهینه چندهدفه با مرتب‌سازی نامغلوب

الف- مفهوم غلبه: جواب بر جواب دیگر غلبه می‌کند زمانی که هر دو شرط زیر برقرار باشد:

- جواب در هیچ‌یک از توابع هدف بدتر از جواب نباشد.
- جواب حداقل در یکی از توابع هدف مطلقاً از جواب بهتر باشد.

ب- نقاط بهینه سراسری: که مانند برداری به صورت سراسری و بهینه در نظر گرفته می‌شود، هرگاه در کل فضای جواب نتوان بردار دیگری پیدا نمود، به‌طوری که این بردار بتواند بر آن غلبه کند. در این حالت بردار را به صورت سراسری جواب غیر مغلوب می‌نامند. البته بدیهی است که یک مسئله چندهدفه برخلاف مسایل تک‌هدفه که دارای یک جواب بهینه هستند، معمولاً چندین جواب بهینه دارند، این جواب‌ها می‌توانند از تعداد کمی تا بی‌نهایت تغییر کنند. تصمیم گیرنده برای انتخاب این جواب‌ها می‌تواند به صورت دلخواه یا نظام‌مند عمل کند. این مجموعه از جواب‌ها و نقاط در حوزه بهینه‌سازی چندهدفه، به مرز پارتو معروف هستند

پ- مرتب‌سازی نامغلوب: در این الگوریتم به هر جواب یک رتبه اختصاص داده می‌شود که بر اساس تعداد مغلوب شدن آنها نسبت به سایر نقاط محاسبه می‌گردد (بدین‌صورت نقاطی که در جبهه اول قرار دارند و توسط هیچ کدام از جواب‌ها مغلوب نشده‌اند، دارای رتبه یک و جواب‌هایی که فقط توسط (حداقل یکی از) جواب‌های جبهه اول مغلوب می‌شوند، در جبهه دوم و رتبه دوم قرار می‌گیرند و ...). در پایان الگوریتم، نقاطی که بهترین رتبه یعنی رتبه یک را دارا باشند به‌عنوان مجموعه جواب یا نقاط جبهه پارتو انتخاب می‌شوند. مطابق شکل (۴) تعدادی نقطه در فضای مربوط به کلیه جواب‌های ممکن مسئله مشخص شده‌اند که هرکدام دارای دو مقدار از توابع هدف هستند. نقطه سه بر تمامی نقاط موجود در فضای A برتری دارد، بدین‌صورت که مقدار توابع هدف و برای این نقطه نسبت به تمامی نقاط موجود در فضای A کمتر می‌باشند. لذا این نقطه بر نقاط موجود در صفحه A همیشه غلبه می‌کند. همچنین می‌توان نشان داد که نقطه سه همیشه توسط نقاط موجود در فضای C، مغلوب می‌شود. به‌عنوان نمونه، نقطه سه، نقطه شش را مغلوب می‌کند، اما در مورد وضعیت برتری یا عدم برتری نقاط موجود در فضای B و D نسبت به نقطه سه نمی‌توان مستقیماً قضاوت کرد، چون نقاط موجود در صفحه B نسبت به نقطه سه بهتر و در مورد تابع، بدتر هستند و در فضای D برعکس. پس با این مقایسه مستقیم، نمی‌توان گفت کدام نقطه بر دیگری غلبه می‌کند. در چنین مواردی، از حضور سایر اعضای جمعیت برای قضاوت استفاده می‌شود.

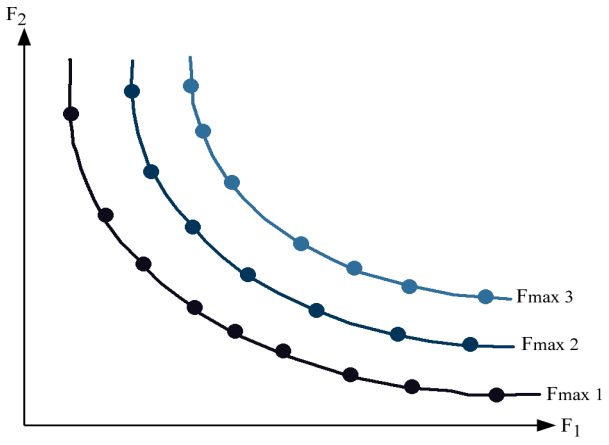


شکل (۴): نمودار جواب‌های به‌دست‌آمده برای یک مسئله کمینه‌سازی دو هدفه (نگارندگان، ۱۳۹۶).

در ابتدا فرض می‌شود نقطه‌ای در فضای C وجود ندارد، برای مقایسه بین نقاط دو و سه، هرکدام در یکی از توابع هدف از دیگری بهتر و در دیگری بدتر می‌باشند. در این شرایط باید بررسی کرد که آیا نقطه دیگری وجود دارد که از هر دو نظر از دیگر نقاط بهتر باشد؟ نقطه دو توسط نقطه یک مغلوب می‌شود، اما نقطه‌ای وجود ندارد که از هر دو نظر از نقطه سه بهتر باشد. بنابراین چون نقطه دو توسط سایر اعضای جمعیت یک‌بار مغلوب شده و نقطه سه هرگز مغلوب نشده است، نقطه سه بهتر از نقطه دو است. در مورد نقطه چهار و نقطه سه نیز وضع چنین است. ازآنجاکه نقطه چهار توسط نقطه پنج مغلوب می‌شود ولی نقطه سه توسط هیچ نقطه‌ای مغلوب نمی‌شود پس نقطه سه در برابر نقطه چهار هم وضعیت بهتری دارد. اما در مورد نقاط یک و پنج نسبت به سه نمی‌توان اظهار نظر کرد، زیرا این نقاط توسط هیچ نقطه‌ای مغلوب نشده‌اند و هرکدام نسبت به هم یک برتری و یک عدم برتری دارند. لذا نقاط یک و سه و پنج که هرگز مغلوب نشده‌اند و رتبه یک را دارند، جزو نقاط جبهه پارتو می‌باشند.

با توجه به شکل (۵) ابتدا دسته‌ای از اعضای جمعیت که هرگز مغلوب نشده‌اند مشخص شده و به آنها رتبه یک اختصاص داده می‌شود. سپس برای بقیه اعضا با نادیده گرفتن اثر اعضای با رتبه یک بر جمعیت، مجدداً مرتب‌سازی نامغلوب انجام می‌شود و اعضایی که در این مرحله هرگز مغلوب نشده‌اند با رتبه دو مشخص می‌شوند. برای بقیه اعضا، با نادیده گرفتن اثر اعضای با رتبه یک و دو بر جمعیت، بار دیگر مرتب‌سازی نامغلوب را انجام داده و اعضایی که در این مرحله هرگز مغلوب نشده‌اند با رتبه سه مشخص می‌شوند و این روند تا جایی ادامه می‌یابد که رتبه همه اعضای جمعیت مشخص شود.

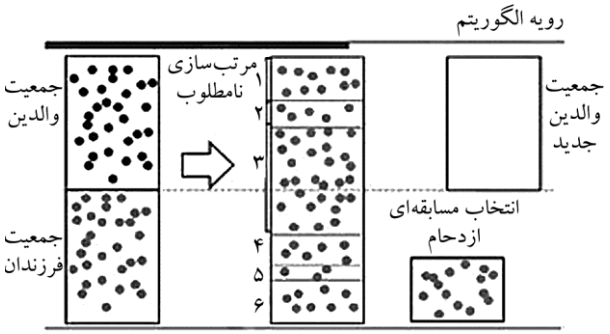
ت- حفظ تنوع جواب‌ها (فاصله ازدحامی): برای به دست آوردن تخمینی از چگالی جواب‌های موجود در کنار یک جواب خاص، میانگین فاصله‌ای از دو جواب واقع در طرفین آن جواب برای هر تابع هدف جداگانه محاسبه می‌شود. پس از معرفی کلیات الگوریتم NSGA-II، به معرفی مراحل آن پرداخته می‌شود.



شکل (۵): نمودار جبهه‌بندی جواب‌ها.

۵-۴- مراحل الگوریتم NSGA-II

پس از ایجاد جمعیت اولیه محاسبه معیار برازندگی شروع می‌شود که در این مرحله مقادیر توابع هدف برای تک‌تک افراد جمعیت محاسبه می‌شود. سپس جمعیت بر اساس شرط‌های غلبه کردن مرتب می‌شود. پس از مرتب‌سازی پاسخ‌ها بر اساس غلبه، باید آنها را بر اساس فاصله ازدحامی مرتب کرد که موجب ایجاد نظم بیشتر در بین پاسخ‌های بهینه نیز می‌گردد. سپس دست به انتخاب زد، که ابتدا جمعیت‌ها در رتبه‌های پایین‌تر انتخاب می‌شوند (جواب بهتر در رتبه‌هایی پایین‌تر از نظر عددی قرار گیرند) سپس عضوی انتخاب می‌شود که فاصله ازدحامی بیشتری دارد [۱۶]. سپس تقاطع و جهش برای تولید فرزندان جدید انجام می‌شود. در مرحله بعد، جمعیت اولیه و جمعیت ناشی از تقاطع و جهش ابتدا برحسب رتبه دسته‌بندی می‌شوند و قسمتی از آنها که دارای رتبه‌ی بالاتر هستند، حذف می‌گردند. تمامی مراحل تا نسل (و یا شرایط بهینگی) مورد نظر تکرار می‌شوند [۱۵، ۱۷-۱۸]، شکل (۶).



شکل (۶): نمودار روند الگوریتم NSGA-II.

۵-۵- تعیین توابع هدف الگوریتم NSGA-II

با توجه به اینکه الگوریتم NSGA-II به‌صورت کمینه‌سازی در نظر گرفته شده، سه هدف مورد نظر در این تحقیق عبارتند از: کمینه کردن فاصله بلوک‌های جمعیتی تا مکان‌های امن، ظرفیت و اینکه چه مقدار از این ظرفیت‌ها نقض شده است و کمینه کردن تعداد مکان‌های امن. در مسئله مکان‌یابی- تخصیص به‌طورکلی چنین تصور می‌شود که چندین نقطه تقاضا وجود دارد و امکاناتی که باید بر روی چندین مکان داوطلب، تعیین موقعیت شوند [۳]. در واقع هدف مکان‌یابی- تخصیص؛ یافتن موقعیت بهینه برای امکانات از میان تعدادی موقعیت مشخص و تعریف‌شده است به‌گونه‌ای که به‌خوبی بتوانند به تقاضاها پاسخ دهند. منظور از تخصیص نیز تقاضاها یا جمعیت اختصاص‌یافته به یک امکان می‌باشند. واژه امکان برای تعریف شیئی به‌کار می‌رود که موقعیت مکانی آن از طریق مدل یا الگوریتم بهینه می‌شود، مانند ایستگاه آتش‌نشانی. متقاضی و یا مشتری نیز شخصی است که نیازمند خدمات‌رسانی است. امروزه مسئله مکان‌یابی- تخصیص دارای انواع و طبقه‌بندی‌هایی است.

به مجموعه جواب‌های بهینه در فضای تصمیم، بهینه پارتو و به تصویر آن در فضای هدف، پارتو فرانت گفته می‌شود. در عمل در مسائل بهینه‌سازی چند معیاره، یافتن یک جواب یکه که بر دیگر جواب‌ها غلبه کند، غیرممکن است. در عوض انتظار می‌رود که تعدادی از جواب‌های بهینه پارتو (نامغلوب) یافت شوند. هدف بهینه‌سازی چند معیاره، یافتن جواب‌های ممکن است که بر روی پارتو فرانت یا نزدیک به آن هستند. در بین این جواب‌ها که موازنه‌های مختلفی را بین اهداف نشان می‌دهند تصمیم‌گیرنده می‌تواند یک جواب مناسب را انتخاب کند [۱۴].

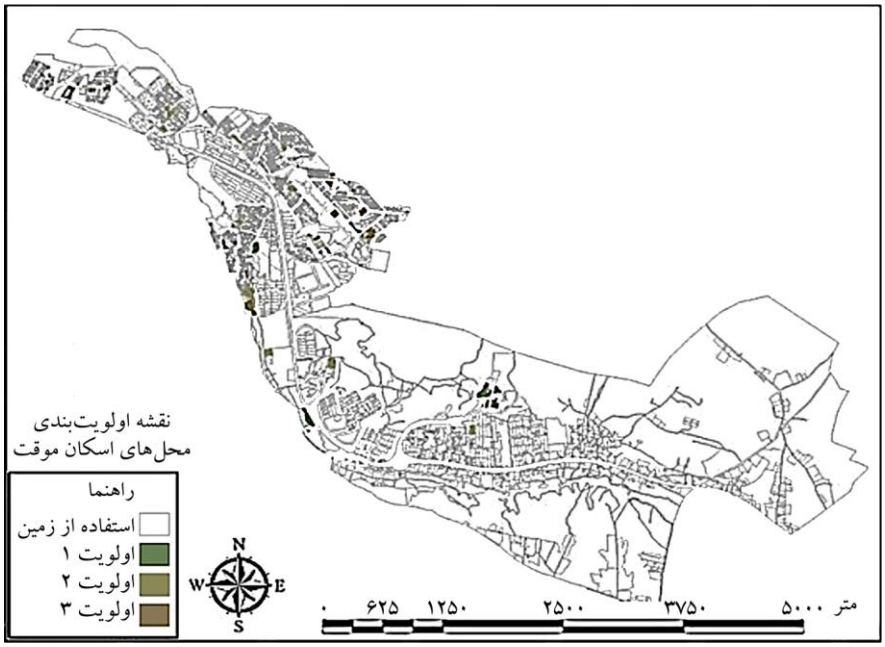
۶- پیاده‌سازی و تحلیل یافته‌ها

به‌منظور ارزیابی قابلیت‌های روش الگوریتم بهینه چندهدفه ژنتیک برای اسکان موقت آسیب‌دیدگان زلزله از محل وقوع زلزله به اماکن امن، این روش در منطقه ۵ شهر تبریز مورد مطالعه قرار گرفت. برای این منظور ابتدا نقشه‌های حاصل از تحلیل معیارها در قالب پهنه‌بندی بر اساس فاصله از گسل، سیل، ایستگاه سوخت، خطوط گاز، تراکم جمعیت، شیب، طبقات ساختمان، فاصله از معابر، مراکز درمانی، ایستگاه‌های آتش‌نشانی، فضای سبز، مراکز آموزشی، اماکن ورزشی و ابعاد اماکن امن تولید شدند. در ادامه با تلفیق این نقشه‌ها در Arc GIS و بر مبنای مدل تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، نقشه اولویت‌بندی محل‌های اسکان موقت تهیه شد. بر این اساس با توجه به اولویت امکان اسکان اضطراری حادثه‌دیدگان، اراضی واقع در محدوده به سه طبقه دسته‌بندی شدند. سپس کاربری‌های مناسب و مطلوب به‌منظور احداث سایت‌های اسکان اضطراری که در مناطق با امتیاز بالا قرارگرفته‌اند از نقشه کاربری‌های منطقه استخراج و در نقشه شکل (۷) بر اساس اولویت ۱ تا ۳ نشان داده شده‌اند.

جدول (۲) مقایسه کاربری‌های پیشنهادی استخراج‌شده را از نقشه شکل (۷) جهت اسکان موقت سانحه‌دیدگان نسبت به یکدیگر و برحسب درصد نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود از مجموع ۱۰۴ مکان پیشنهادی، (۴۰ مورد اولویت اول، ۴۰ مورد اولویت دوم، ۲۴ مورد اولویت سوم) و نیز ۳۱ مکان به فضای سبز و باغ، ۵۵ مکان به زمین بایر و ۱۸ مکان به پارکینگ، آموزشی، مذهبی و نمایشگاه اختصاص‌یافته که در هنگام وقوع زلزله تحت عنوان مکان‌های اسکان موقت معین شده‌اند.

جدول (۲): تعداد و نوع کاربری‌های به‌کار رفته در اولویت‌های سه‌گانه جهت اسکان موقت.

نوع کاربری	تعداد			
	اولویت ۱	اولویت ۲	اولویت ۳	مجموع
فضای سبز	۳	۱۱	۱۲	۲۶
زمین بایر	۲۹	۱۷	۹	۵۵
باغ	۱	۳	۱	۵
پارکینگ	-	۳	-	۳
آموزشی	-	۴	۲	۶
مذهبی	۱	۲	-	۳
نمایشگاه	۶	-	-	۶
مجموع	۴۰	۴۰	۲۴	۱۰۴



شکل (۷): نقشه اولویت‌بندی محل‌های اسکان موقت (نگارندگان، ۱۳۹۶).

با توجه به جمعیت ۱۲۶۱۲۴ نفری منطقه ۵ شهر تبریز و نیز سرانه در نظر گرفته‌شده ۴ مترمربع به ازای هر نفر اسکان موقت (استاندارد سرانه برای این منظور۳/۵ تا ۴/۵ مترمربع است) کل مساحت مورد نیاز جهت اسکان موقت این تعداد جمعیت ۲۶۷۶۸۸ مترمربع است که بر این اساس۸۹ مکان ذکر شده در جدول (۲) که دارای کاربری فضای سبز، زمین بایر، باغ و پارکینگ هستند با مجموع مساحت ۱۹۷۴۸۹ مترمربع برای اسکان موقت جمعیت حال حاضر در این منطقه کفایت نمی‌کند. به همین منظور می‌بایست علاوه بر شش مکانی که دارای کاربری آموزشی با اولویت اول، دوم و سوم می‌باشند با مساحت ۲۷۳۸۶، از ۹ مکان مشخص‌شده با کاربری مذهبی و نمایشگاه که دارای مساحت ۴۴۰۲۲ مترمربع می‌باشند نیز برای این امر کمک گرفت. به‌این‌ترتیب در مجموع فضایی برابر با ۲۶۸۹۰۶ مترمربع از اراضی این منطقه با اولویت اول، دوم و سوم به‌منظور عملیات اسکان اضطراری حادثه‌دیدگان ناشی از حوادث طبیعی نسبتاً مناسب می‌نماید و سرانه به‌دست‌آمده ۳/۰۲ مترمربع است.

۶-۱- پیاده‌سازی و آزمون عملی الگوریتم NSGA-II

اولین مرحله در پیاده‌سازی الگوریتم‌های تکاملی، کدگذاری مسئله و تعیین چگونگی تشکیل اعضای هر نسل، یعنی کروموزوم‌ها است. با کدگذاری مسئله خصوصیات کروموزوم‌ها و ژن‌ها برای تشکیل جمعیت‌ها و نسل‌های تکاملی مشخص می‌شود. مطالعات نشان داده است بهترین کدگذاری آن است که نزدیک‌ترین حالت به شرایط طبیعی مسئله را دارا باشد. برای آن‌که یک الگوریتم ژنتیک بتواند به‌صورت مناسب به دنبال جواب‌ها بگردد بایستی کروموزوم‌ها و عملگرهای تقاطع و جهش در نظر گرفته شده متناسب با مسئله مورد بررسی باشد؛ لذا در این تحقیق کروموزوم و عملگرهای متناسب با این مسئله مشخص شده است.

بعد از ذخیره بهترین جواب، شرط خاتمه الگوریتم بررسی می‌شود. اگر این شرط برآورده شود، الگوریتم خاتمه می‌یابد و جواب نهایی ذخیره می‌شود (بهترین جواب در بین بهترین هر تکرار)، در غیر این صورت الگوریتم تکرار می‌شود. شرط توقف می‌تواند رسیدن به دقتی خاص، تعداد تکرارهای خاص، زمان خاص یا ترکیبی از اینها باشد. در این تحقیق به‌منظور ساده‌سازی روند پیاده‌سازی و اجرای الگوریتم، شرط توقف، تعداد اجرای[۶] خاص (۵۰ تکرار) در نظر گرفته شده است.

۶-۲- نتایج خروجی تخصیص بلوک‌های جمعیتی به مکان‌های امن

طبق جدول (۳) و بر اساس نتایج خروجی از نرم‌افزار متلب و الگوریتم NSGA-II برای جمعیت اولیه ۴۰۰ و نسل اولیه ۱۰۰ به‌عنوان ورودی داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود مکان‌های امن مشخص‌شده که از مرحله قبل و بر اساس فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی به دست آمده بودند و مشتمل بر ۱۰۴ محل و در قالب سه اولویت بودند، توسط بلوک‌های جمعیتی که دارای سکنه بوده و تعداد آنها در محدوده مورد مطالعه ۴۷۶ واحد بودند بر اساس توابع هدف‌های تعریف‌شده تخصیص یافته‌اند.

جدول (۳): عملگرهای متناسب الگوریتم ژنتیک در پژوهش (نگارندگان، ۱۳۹۷).

مفهوم	مقدار
ژن	در این تحقیق هر بلوک جمعیتی به‌عنوان یک ژن در نظر گرفته شده است
کروموزوم	هر کروموزوم بیانگر جوابی برای مسئله است
تعداد جمعیت اولیه	در این مطالعه این مقدار ۴۰۰ در نظر گرفته شده است
نسل اولیه	تعداد نسل اولیه در اینجا ۱۰۰ در نظر گرفته شده است
تقاطع	به‌صورت برش تک‌نقطه‌ای است
نرخ جهش و نرخ تقاطع	هرکدام ۳۰ درصد در نظر گرفته شده‌اند
تعداد تکرار (شرط توقف)	۵۰ مرتبه

الگوریتم ژنتیک کار خود را با مجموعه‌ای تصادفی از پاسخ‌ها شروع می‌کند. هر کروموزوم پاسخی برای مسئله است. بدیهی است که باید معیاری برای مقایسه شایستگی کروموزوم‌ها وجود داشته باشد؛ به عبارتی بهتر باید معیاری وجود داشته باشد که مشخص سازد که کدام‌یک از پاسخ‌ها مناسب‌تر از پاسخ دیگر است. این معیار تحت عنوان برازندگی (Fit)[7] شناخته می‌شود که در این پژوهش محاسبه مقدار آن به‌صورت رابطه (۱) آورده شده است. موفقیت الگوریتم ژنتیک تا حد بسیار زیادی به تابع برازندگی و چگونگی تعریف آن بستگی دارد. در برخی از موارد کمینه بودن تابع برازندگی نشان‌دهنده‌ی بهینگی است و در برخی از موارد نیز بیشینه بودن آن نشان‌دهنده‌ی برازندگی بهتر است. در این تحقیق نیز بیشینه بودن برازندگی نشان‌دهنده‌ی مناسب‌تر بودن پاسخ است.

$$Fit = priority\times\alpha - NU\times\beta - dis(i,j)\times\mu - UN\times f \quad (۱)$$

در رابطه (۱)، fit مقدار سازگاری[8] را مشخص می‌سازد. priority[9] حاصل جمع اولویت‌های استفاده از مکان‌های امن را نشان می‌دهد. اولویت تخصیص با مکان‌های امن با اولویت بالا می‌باشند. NU پارامتری است که مشخص می‌سازد از چه تعدادی از مکان‌های امن استفاده شده است. هدف استفاده حداقل از تعداد مکان‌های امن هست. $dis(i,j)$ مجموع فاصله‌های بین مکان امن i و بلوک جمعیتی jام است. در اینجا نیز هدف آن است که فاصله بین مکان‌های امن و بلوک‌های جمعیتی حداقل باشد. مقدار dis بین بلوک جمعیتی و مکان امن در صورتی محاسبه می‌شود که مکان امن iام به بلوک جمعیتی jام تخصیص داده شده باشد. UN نیز پارامتری است که مشخص می‌سازد تا چه مقداری ظرفیت مکان‌های امن نقض شده است. به عنوان‌مثال اگر ظرفیت مکان امنی ۲۰۰ نفر باشد و به آن ۲۲۰ نفر تخصیص داده شده باشد، مقدار این پارامتر ۲۰ = ۲۰۰-۲۲۰ خواهد بود. α، β، μ و F نیز ضرایبی هستند که اهمیت هر یک از پارامترها را افزایش یا کاهش می‌دهند.

۶-۳- معیارهای مقایسه الگوریتم‌های بهینه‌سازی

یکی از معیارهای مقایسه الگوریتم‌های بهینه‌سازی، هم‌گرایی است. هم‌گرایی از دو جنبه می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد:

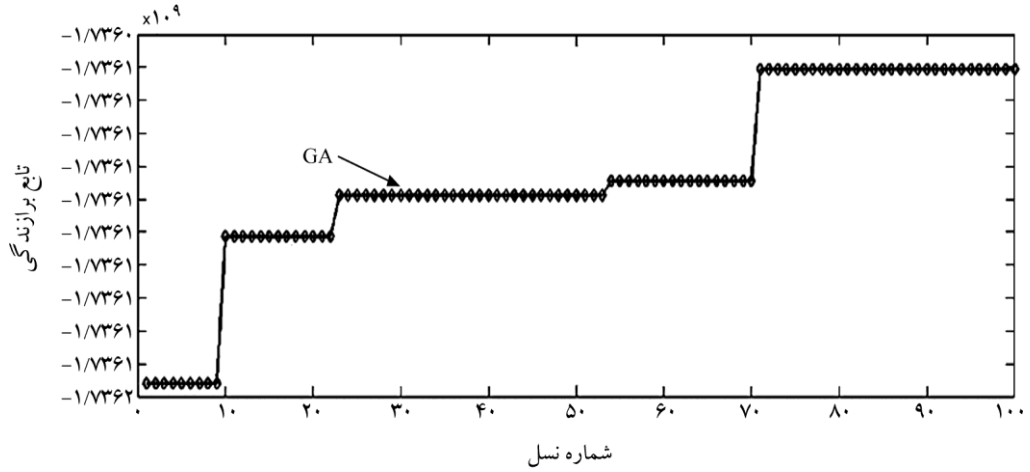
- هم‌گرایی در حالت کلی: این است که هرچقدر زمان اختصاص‌یافته به الگوریتم بیشتر باشد یا هرچقدر تعداد نسل‌ها افزایش یابد، الگوریتم باید به پاسخ بهینه نزدیک‌تر شود. به عبارتی با افزایش زمان تخصیص‌یافته به الگوریتم یا با افزایش تعداد نسل‌ها[10] مقدار تابع برازندگی باید بهبود یابد.
- هم‌گرایی میانگین: عبارت است از میانگین مقدار تابع برازندگی همه جمعیت در یک نسل مشخص. بدیهی است همه کروموزوم‌ها در الگوریتم ژنتیک باید به سمت همگرایی

پیش بروند.

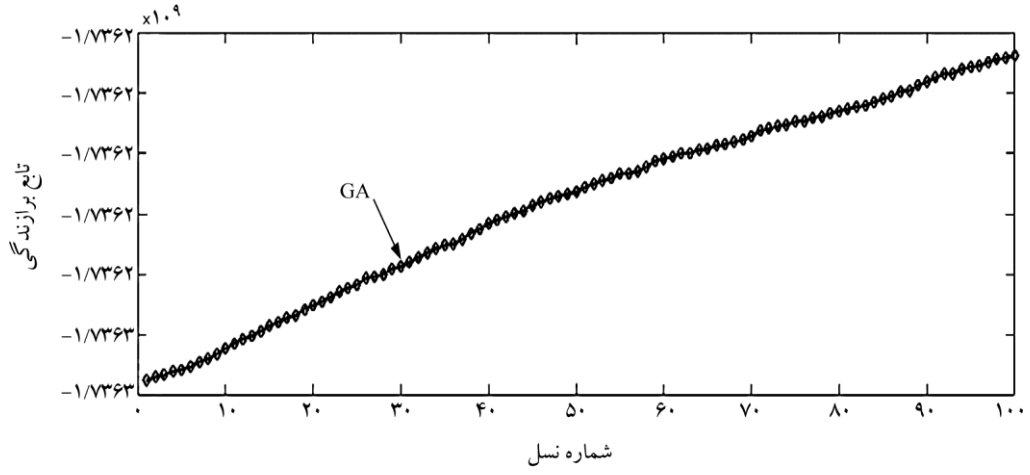
در شکل (۸) محور افقی شماره نسل و محور عمودی تابع برازندگی می‌باشد. تعداد نسل‌ها برابر با ۵۰ در نظر گرفته شده است. الگوریتم NSGA بارنگ آبی ترسیم شده است. محور افقی شماره نسل است و محور عمودی مقدار تابع برازندگی است. الگوریتم ژنتیک با گذر زمان یا افزایش نسل‌ها به سمت همگرایی حرکت می‌کنند.

در شکل (۹) نیز الگوریتم NSGA با رنگ آبی مشخص شده است. تفاوت شکل (۸) و شکل (۹) در این است که در شکل (۸) نمودار بر اساس مقدار هر نسل رسم شده است اما در شکل (۹) از مقدار کل جواب‌های مسئله میانگین گرفته شده است و سپس عمل ترسیم نمودار انجام شده است. شکل (۹) نیز پیاده‌سازی صحیح الگوریتم ژنتیک را نشان می‌دهد که با افزایش زمان تخصیص‌یافته به الگوریتم یا با افزایش تعداد نسل‌ها در حالت میانگین الگوریتم ژنتیک همگرا شده است.

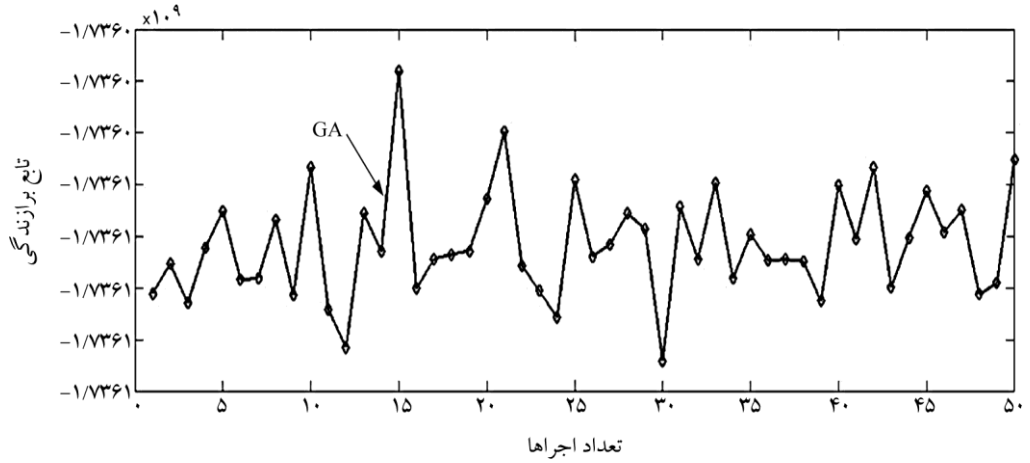
در کنار هم‌گرایی، پایداری یکی دیگر از معیارهای مقایسه الگوریتم‌های بهینه‌سازی است. منظور از پایداری این است که رفتار الگوریتم در طی اجراهای مختلف چقدر با یکدیگر متفاوت بوده است. هرچقدر نتایج تولید شده در اجراهای مختلف یک الگوریتم به یکدیگر نزدیک باشند و مقدار تابع برازندگی نیز مقدار بیشتری باشد گفته می‌شود پایداری الگوریتم مناسب‌تر از دیگر الگوریتم‌ها است. در شکل (۱۰) محور افقی نسل و محور عمودی تابع برازندگی به‌دست‌آمده که جواب نهایی الگوریتم را نشان می‌دهند.



شکل (۸): نمودار هم‌گرایی حالت کلی الگوریتم ژنتیک چندهدفه (نگارندگان، ۱۳۹۷).



شکل (۹): نمودار هم‌گرایی حالت میانگین الگوریتم ژنتیک چندهدفه (نگارندگان، ۱۳۹۷).



شکل (۱۰): نمودار پایداری الگوریتم ژنتیک (نگارندگان، ۱۳۹۶).

۷- نتیجه‌گیری

مکان‌یابی فضاهای اسکان موقت و مطالعه پتانسیل محیطی شهرها برای نهادینه شدن برنامه‌ریزی پیشگیرانه در برابر خسارات زلزله، مستلزم بینشی سیستمی و نگاهی محاسبه‌گرایانه است. با توجه به لرزه‌خیزی بالای شهرهای ایران و کیفیت پایین سیستم مقابله‌ای، لزوم برنامه‌ریزی کاهش خسارات زلزله چشمگیر است. در ادامه بحث به این سؤال پژوهش که مکان‌های مناسب جهت اسکان موقت زلزله‌زدگان در زمان پس از وقوع زمین‌لرزه در منطقه ۵ شهر تبریز کجا می‌تواند باشد پاسخ می‌دهیم:

مکان‌های مناسب جهت اسکان موقت زلزله‌زدگان در شکل (۸) نقشه اولویت‌بندی محل‌های اسکان موقت آمده است. در کل با توجه به موقعیت منطقه مورد مطالعه و داده‌های در دسترس با ۱۴ معیار متنوع طبیعی و انسانی شامل ابعاد مکان‌های امن، تراکم جمعیت، مسیل، فضای سبز، ورزشی، معابر، تعداد طبقات ساختمان‌ها، خطوط انتقال گاز، مراکز آموزشی، جایگاه‌های سوخت، ایستگاه‌های آتش‌نشانی، مراکز درمانی، خطوط گسل و میزان شیب؛ به مکان‌یابی محل‌های بهینه برای اسکان موقت زلزله‌زدگان منطقه ۵ شهر تبریز پرداخته شد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد نقاطی از شهر که دارای فضاهای باز کافی و درعین‌حال سازگار با کاربری‌های اطراف می‌باشند، دارای پتانسیل نسبتاً بهتری برای استقرار آسیب‌دیدگان هستند. در مقابل مناطقی که دارای تراکم سنگین جمعیتی، آسیب‌پذیری نسبتاً بالا، کاربری‌های مختلط و عدم فضای کافی و دارای ارزش برنامه‌ریزی، دارای کمترین قابلیت ممکن برای برنامه‌ریزی اسکان موقت زلزله‌زدگان هستند. با توجه به نتایج استخراج شده از پژوهش، بهترین مکان‌ها جهت مکان‌گزینی آسیب‌دیدگان از زلزله در منطقه ۵ شهر تبریز، مربوط به فضاهای باز، باغات و زمین‌های بایر ارزیابی شده است.

در مرحله استقرار موقت، اسکان افراد بی‌خانمان و نیز استقرار موقت کاربری‌هایی که دچار تخریب و آسیب شده‌اند، صورت می‌گیرد. استقرار موقت کاربری‌های حساس و مهم در سطح شهر بخشی از عملیات این مرحله به شمار آمده و در بازگرداندن شرایط عادی زندگی اهمیت بسزایی دارد. در صورت استقرار و راه‌اندازی کاربری‌هایی مثل بهداشت و درمان، آموزش، خدمات شهری و تأسیساتی، حیات و فعالیت شهر تداوم می‌یابد. ویژگی موقعیت قرارگیری کاربری‌های شهری و مشخصات قطعه‌بندی از جمله وسعت و تعدد دسترسی می‌تواند در استقرار موقت کاربری در صورت تخریب آن، در مرحله اولیه، مؤثر واقع شود.

این مطالعه نشان می‌دهد نقاطی از شهر که دارای فضاهای باز کافی و درعین‌حال سازگار با کاربری‌های اطراف هستند، دارای پتانسیل نسبتاً بهتری برای استقرار آسیب‌دیدگان بوده و با توجه به این‌که الگوریتم‌های ژنتیک علی‌الخصوص الگوریتم بهینه چندهدفه ژنتیک جهت بهینه‌سازی جواب‌های به‌دست‌آمده که دارای توابع و اهداف متعددی می‌باشند مورد استفاده قرار داده

شد که در آن برای انتقال سریع آسیب‌دیدگان سانحه زلزله و تخصیص بلوک‌های جمعیتی با تعریف توابع هدف متناسب با آنها، به مکان‌های اسکان موقت کارایی خود را نشان داد، لذا این پژوهش با توانمندی و دانایی و داشتن اطلاعات توانست برنامه‌ریزی بهتری برای اسکان موقت شهروندان در زمان پس از وقوع زلزله انجام دهد.

روش‌های حل مسائل مکان‌یابی چندهدفه به دودسته کلی روش‌های تجزیه و روش‌های مستقیم تقسیم می‌شوند. بیشتر پژوهش‌های انجام شده در زمینه‌ی مسائل مکان‌یابی چندهدفه با استفاده از روش‌های تجزیه بوده است. در پژوهش حاضر نشان داده شد که روش‌های مستقیم بسیار کاراتر، دقیق‌تر و سریع‌تر از روش‌های تجزیه می‌باشند و به همین علت نیز در این پژوهش از یکی از روش‌های حل مستقیم استفاده شده است که در این میان الگوریتم NSGA-II به دلیل پیچیدگی محاسباتی کمتر و سرعت بیشتر نسبت به سایر روش‌های مستقیم، به‌عنوان الگوریتم حل مسئله انتخاب شد. دستاوردهای این پژوهش به شرح زیر است:

- یکی از مهم‌ترین دستاوردهای پژوهش حاضر معرفی و ارائه یک مدل کارآمد و مناسب برای حل مسائل تصمیم‌گیری چندهدفه در مکان‌یابی است. این مسائل با روش‌های تجزیه هم حل می‌شوند. ولی این روش‌ها فقط بخش خاصی از مجموعه جواب‌ها را تولید می‌کنند؛ چون مسئله را به یک مسئله تک‌هدفه تبدیل می‌کنند و به اجبار یک‌سری از اطلاعات فضای تصمیم را از دست می‌دهند. برای حل این مشکل باید مسئله چندین بار حل شود که بسیار وقت‌گیر است. ولی روش ارائه شده در این پژوهش با چنین مشکلی روبه‌رو نیست و بسیار سریع‌تر و دقیق‌تر است.
- دستاورد مهم دیگر این پژوهش، توسعه مدلی است که با وجود در تناقض بودن برخی توابع هدف، بهینه‌سازی هم‌زمان انجام می‌دهد و به تصمیم‌گیران این امکان را می‌دهد که یک راه‌حل از میان چندین راه‌حل بهینه برگزینند. به‌عبارت‌دیگر الگوریتم پیشنهادی، نوعی سیستم حامی تصمیم‌گیری است که به مدیر کمک می‌کند تا با مشخص کردن اولویت‌ها، نتایج را مشاهده کند و بهترین تصمیم را بگیرد.

۸- پیشنهادها

با توجه به اینکه استفاده از الگوریتم NSGA-II در مکان‌یابی پناهگاه اسکان موقت برای اولین بار در این محدوده صورت پذیرفته است، لازم است تا تحقیقات بیشتری در زمینه بهبود آن صورت پذیرد. بدین‌منظور در ادامه پیشنهادهایی ارائه می‌گردد:

- لزوم طراحی و ساخت پایگاه داده‌های مکانی زلزله برای مناطق شهرداری تبریز. در خصوص پژوهش حاضر نبود اطلاعات به‌روز و جامع و عدم در اختیار گذاشتن اطلاعات مورد نیاز از سوی سازمان‌های مختلف، مشکلاتی را در مسیر ارائه‌ی بهتر پژوهش قرار داد.
- تعریف توابع هدف مختلف با توجه به داده‌های جامع و صحیح در دسترس برای کسب نتایج بهتر در تحقیقات مشابه آتی.
- شبیه‌سازی شرایط وقوع بحران امری پیچیده، مشکل و با عدم قطعیت زیادی مواجه است. شبیه‌سازی شبکه معابر از نظر دسترسی، ترافیک و ...، میزان تخریب ساختمان‌ها از جمله مسائلی هستند که با انجام آن قبل از وقوع بحران می‌توان حالات مختلف دسترسی به مکان‌های امن را مورد بررسی قرار داد. پیشنهاد می‌شود این زمینه تحقیقاتی نیز مورد توجه قرار گیرد.
- با توجه به اینکه در مکان‌یابی پناهگاه اسکان موقت معیارهای زیادی مورد استفاده قرار می‌گیرند، اما در این تحقیق به دلیل عدم دسترسی به تعدادی از آنها، تنها با تعداد مشخصی مسئله مورد تحقیق قرارگرفته است. پیشنهاد می‌شود تحقیق بیشتری در زمینه‌ی تأثیر پارامترهای دیگر در حل این‌گونه مسائل صورت پذیرد.
- در نظر گرفتن تجهیزات و خدمات ضروری در مکان‌های انتخاب شده به‌منظور اسکان موقت خصوصاً پارک‌ها و بوستان‌ها از قبیل مشخص کردن محل فرود بالگرد، سرویس‌های بهداشتی، منابع آب و ... تا در صورت وقوع حادثه نیازی به‌صرف وقت برای تأمین آنها نبوده و در روند

امدادرسانی سریع‌تر اختلالی ایجاد نشود.

- یافته‌های این تحقیق، توانایی سیستم اطلاعات جغرافیایی و سیستم‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در الگوسازی و کمک به مکان‌یابی مکان‌های اسکان موقت و ترکیب معیارهای مختلف را نشان می‌دهد. به همین منظور پیشنهاد می‌گردد سازمان‌های مربوطه با توجه منطقی‌تر به این نوع سیستم‌ها و صرف دقت و هزینه بیشتر در تهیه‌ی نقشه‌های مورد نیاز و توجه به قابلیت استناد بالای سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و تصمیم‌گیری چندمعیاره و این نکته که با داده‌ها و اطلاعات صحیح و درست و جامع از وضع موجود این سیستم‌ها می‌توانند مبنای تصمیم‌گیری و تصمیم‌سازی به دور از سلیقه‌ها و گرایش‌های افراد باشند، زمینه را برای مکان‌یابی علمی مکان اسکان موقت که از معضلات مهم کلان‌شهرهای ما هستند فراهم سازند.
- فراهم آوردن ساخت فضاهای باز و وسیع از قبیل پارک‌ها، بوستان‌ها، زمین‌های ورزشی و با حداقل مساحت ۲۰۰۰ مترمربع در درون واحدهای همسایگی هم‌زمان با انجام سایر امور ساختمانی در دل مناطق ساخته شده به‌منظور تخلیه سریع سانحه‌دیدگان به این مناطق و استقرار مساکن موقت در آنها.
- تأسیس و توسعه شبکه‌ی راه‌های اضطراری (شامل شبکه‌ی راه تخلیه‌سازی) مرتبط با مکان‌های امن برای استقرار.
- ایجاد برنامه‌هایی برای کاهش خطر سیلاب و جلوگیری از آن در مناطقی که مسیل رودخانه از آنها می‌گذرد.
- کاربری‌هایی که در ایام محدودی از سال استفاده می‌شود و از حساسیت و اهمیت کمتری برخوردار است، می‌توانند به‌طور موقت برای اسکان موقت سانحه‌دیدگان یا استقرار موقت یک کاربری مهم دیگر برای ادامه حیات شهری مورد استفاده قرار گیرد مانند زمین‌های ورزشی، مدارس و ... تعیین دقیق ابعاد و نیازهای اجرایی و نیازهای زیستی (حدود ابعاد، سرانه مترمربع برای هر نفر و غیره) واحدهای مورد استفاده برای سکونت موقت از سوی سازمان‌های مربوطه با توجه به ویژگی‌های آب و هوایی و فرهنگی هر منطقه که نقش بسیار اساسی در مکان‌یابی اسکان موقت خواهد داشت.
- توصیه می‌شود برای نیل به هدف مدیریت بحران ناشی از زلزله، یک برنامه استراتژیک برای کسب اهداف جامع مدیریت بحران طراحی‌شده، خطوط کلی فعالیت‌ها، حدود اصلی عملیات ترسیم و اولویت‌ها و اقدامات اساسی و کلیدی را که باید برای نیل به اهداف انجام شوند، تعیین کرد و به مقوله اسکان موقت سانحه‌دیدگان در خلال این برنامه جامع نگریسته شده و برنامه‌ریزی در این خصوص صورت گیرد.

مراجع

1. Mohammadi Sarin Dizaj, M., Ahadnejad, M., Marsousi, N., and Asgari, A. (2018) Assessing of resiliency level of urban areas with emphasis on accessibility of influential and vital physical elements against earthquake risk using todim multivariate decision making model (Case Study: Zanjan City). *Journal of New Attitudes in Human Geography*, **9**(4), 89-110 (in Persian).
2. Asadi Nazari, M. (2005) Planning and locating temporary resettlement camps for earthquake survivors (Case Study: District 1, Tehran). Master of Urban Planning (Urban and Regional Planning) - Department of Urban Planning Art (in Persian).
3. Moheb-Alizadeh, H., Rasouli, SM., and Tavakkoli-Moghaddam, R. (2011) The use of multi-criteria data envelopment analysis (MCDEA) for location–allocation problems in a fuzzy environment. *Journal of Expert Systems with Applications*, **38**(5), 5687-5695.
4. Tudes, S. and Yigiter, N.D. (2010) Preparation of land use planning model using GIS based on AHP: case study Adana-Turkey. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. **69**(2), 235-245.
5. Zebardast, E. and Mohammadi, A. (2005) Locate relief centers (in earthquakes) using GIS and multi-criteria evaluation methods AHP. *Journal of Honar-Haye Ziba*, **21**, 5-16 (in Persian).
6. Iran Statistical Center (2016) *Detailed Results of the Census of Population and Housing of the Year*.

7. Motamed, H., Ghafory-Ashtiany, M., and Amini-Hosseini, K. (2012) An earthquake risk-sensitive model for spatial land-use allocation. *15th World Conference on Earthquake Engineering, Lisbon, Portugal.*

8. Islami, A. (2007) Locating rescue and resettlement centers (Case Study: area one of Tehran). *Second International Conference on Comprehensive Disaster Management, Tehran* (in Persian).

9. Malczewski, J. (1999) *GIS and Multi criteria Decision Analysis* (New York: Wiley). 392 pages. ISBN 0-471-32944-4.

10. Saadatseresht, M., Mansourian, A., and Taleai, M. (2009) Evacuation planning using mul-tiobjective evolutionary optimization approach European. *Journal of Operational Research*, **198**(1), 305–314.

11. Srinivas, N. and Deb, K. (1994) Multi objective optimization using nondominated sorting in genetic algorithms. *Evolutionary Computation*, **2**(3), 221-248.

12. Holland, J.H. (1975) *Adaptation in Natural and Artificial Systems: an Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence*. U Michigan Press.

13. Bolury, S. and Vafaee Nejad, A. (2016) Using genetic algorithm to optimize the problem of locating - multi-criteria allocation in GIS environment (Case Study: fire stations in district 11 Tehran). *Urban and Regional Studies and Research*. **7**(25), 183-202 (in Persian).

14. Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., and Meyarivan, T. (2002) A fast and elitist multi objective genetic algorithm: NSGA-II. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, **6**(2), 181-197.

15. Neema, M.N. and Ohgai, A. (2010) Multi-objective location modeling of urban parks and open spaces: continuous optimization. *Computers, Environment and Urban Systems*, **34**, 361-8.

16. Liao, S.H., Hsieh, C.L., and Lai, P.J. (2011) An Evolutionary approach for multi-objective optimization of the integrated location-inventory distribution network problem in vendor-managed inventory. *Expert Systems with Applications*, **38**(6), 6768-6776.

17. Beheshtifar, S. (2014) *Design and Implement of a Simultaneous Location-Allocation Model of Different Service Centers Using Evolutionary Algorithms*. Ph.D. Thesis. Faculty of Geodesy and Geomatics. K.N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran (in Persian).

18. Masoomi, Z. (2014) *Modeling of the Physical Effects of Urban Land Use Changes Using Optimization Algorithms and Spatial Analysis*. Ph.D. Thesis. Faculty of Geodesy and Geomatics. K.N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran (in Persian).

واژه‌نامه

۱- سیستم اطلاعات جغرافیایی	Geographic Information System (GIS)
۲- مدل‌های ارتفاعی دیجیتال	Digital Elevation Models (DEM)
۳- فرایند تحلیل سلسله مراتبی	Analytic Hierarchy Process (AHP)
۴- الگوریتم بهینه چندهدفه با مرتب‌سازی نامغلوب	Multi-Objective Optimization Algorithm with Poor Sorting
۵- الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب	Nondominated Sorting Genetic Algorithm
۶- تعداد اجرا	Execution's Number
۷- برازندگی	Fit
۸- مقدار سازگاری	Fitness Value
۹- اولویت	Priority
۱۰- تعداد نسل‌ها	Generation's Number

Application of Optimal Multi-Objective Genetic Algorithms in Locating Temporary Housing after an Earthquake (Case Study: District 5 of Tabriz)

Mahdi Mohammadi Sarin Dizaj[1*] and Akbar Mohammadi[2]

1. Assistant Professor of Geography and Urban Planning, Payame Noor University, Tehran, Iran,
*Corresponding Author, email: m_mohammadi@pnu.ac.ir
2. M.Sc. Graduate, Mamaghan Branch, Islamic Azad University, Mamaghan, Iran

Today, the importance of earthquakes in Iran is increasingly understood as the expansion of cities and population concentration in them intensifies. In this regard, the city of Tabriz is one of the settlements that has repeatedly experienced direct exposure to earthquake risk. The earthquake risk zoning of Tabriz, which was carried out by Tehran Padir Company in 2009, has predicted more than 426 thousand human casualties for the earthquake in North Tabriz. The north of Tabriz fault is the most fundamental formation in the area of Tabriz plain, which has been created in terms of its compressive subsidence, Tabriz plain. In addition, since the above fault cuts most of the Quaternary sediments, it has high seismic strength.

Studies show that a lot of construction has been done exactly in the study area (District 5 of Tabriz) and completely on the fault and its area (Figure 2). While according to the regulations of urban planning, construction and creating use in cities, it must be at least 20 km away from the fault area. The zoning of tectonic factors (slope and topography) shows that despite the unfavorable geographical conditions in this part of the city and the lack of observance of construction in the fault area in the last century, uncontrolled population has continued with severe erosion of residential structures. However, despite the warnings of researchers and experts and the awareness of relevant officials about the risk and risk of housing construction, especially high-rise housing and commercial towers in the study area, construction and construction activities are still in full swing. The possibility of seismic potential of severe historical earthquakes with the formation of marginal tissues in the last 50 years and consequently the erosion of these tissues in the study area will lead to a major human catastrophe in this city.

Analytical-descriptive research method and two sets of compatible and incompatible criteria have been used. Using a multi-objective genetic optimization algorithm, as a new meta-innovative method, a model has been proposed in combination with GIS, which simultaneously selects the population and examines the quality of the location based on the defined objective functions.

Suitable locations for temporary housing for earthquake victims are shown in Figure 8 of the Temporary Accommodation Prioritization Map. In general, according to the location of the study area and available data with 14 different natural and human criteria, including the dimensions of safe places, population density, canals, green space, sports, passages, number of floors of buildings, gas transmission lines, training centers, fuel stations, fire stations, medical centers, fault lines and slope, the optimal locations for temporary accommodation of earthquake victims in District 5 of Tabriz were identified. The results of this study show that parts of the city that have sufficient open spaces and at the same time are compatible with the surrounding uses, have a relatively better potential for the location of the injured. In contrast, areas with high population density, relatively high vulnerability, mixed uses and lack of sufficient space and with planning value, have the least possible ability to plan temporary housing for earthquake victims. According to the results of the study, the best places for locating earthquake victims in District 5 of Tabriz, related to open spaces, gardens and barren lands have been evaluated.

This study shows that parts of the city that have sufficient open spaces and at the same time are compatible with the surrounding uses, have a relatively better potential for the location of the injured. Moreover, given that genetic algorithms, especially the optimal multi-objective genetic algorithm, are used to optimize the answers obtained.

Which have several functions and purposes were used In which it demonstrated its efficiency for the rapid transfer of earthquake victims and the allocation of population blocks by defining target functions commensurate with them, to temporary accommodation, Therefore, this research, with its capability, knowledge and information, was able to do better planning for temporary accommodation of citizens in the time after the earthquake.

Keywords: Location, Temporary Settlement, Earthquake, Multipurpose Genetic Optimization Algorithm, NSGA-II, District 5 of Tabriz.