

بکارگیری الگوریتم NSGA-II در بهینه سازی چند هدفه تخصیص کاربری های شهری به منظور کاهش آسیب پذیری زلزله

یعقوب دلاویز^۱، جلال کرمی^{۲*}، مهران شایگان^۳

دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS - گروه سنجش از دور و سیستم های اطلاعات مکانی - دانشگاه

تربیت مدرس

yaghob.delaviz@yahoo.com

^۲ استادیار گروه سنجش از دور و سیستم های اطلاعات مکانی - دانشگاه تربیت مدرس

jl.karami@modares.ac.ir

^۳ دکتری سیستم های اطلاعات مکانی - دانشکده مهندسی نقشه برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

mehranshaygan@yahoo.com

(تاریخ دریافت آبان ۱۳۹۴، تاریخ تصویب آذر ۱۳۹۴)

چکیده

وقوع زلزله های مخرب بشر را بر آن داشته است که در فکر تدوین یک برنامه زیربنایی برای کاهش خطرات و آسیب های ناشی از آن باشد. کاهش آسیب پذیری در برابر زلزله تنها از طریق تمهیدات ساختمانی مقدور نخواهد بود و هنگامی تحقق می یابد که ایمنی شهر در برابر خطرات زلزله به عنوان یک هدف در تمامی سطوح برنامه ریزی شهری مدنظر قرار گیرد. تخصیص صحیح و مناسب کاربری های مختلف شهری کمک شایانی به مسئله مدیریت بحران شهری مرتبط با زلزله می نماید بنابراین شناخت متغیرهای مختلف مؤثر در میزان آسیب پذیری مناطق شهری در برابر زلزله از نظر کاربری زمین شهری، تعریف و بیان رابطه ی آن ها با آسیب پذیری، تجزیه و تحلیل آن ها و در نهایت دستیابی به نقشه های بهینه کاربری با آسیب پذیری کم تر در مقابل زلزله هدف اصلی این تحقیق می باشد. در این تحقیق، به منظور بهینه کردن تخصیص کاربری های شهری با رویکرد کاهش آسیب پذیری ناشی از زلزله بر اساس فاکتورهای فیزیکی از الگوریتم بهینه سازی چندهدفه NSGA-II استفاده شده است. منطقه ۱۲ شهرداری تهران به عنوان منطقه ی مطالعاتی در نظر گرفته شد. در این الگوریتم اهداف اصلی شامل بهینه سازی سازگاری کاربری های مجاور، دسترسی کاربری ها، دسترسی پذیری کاربری های بهداشتی-درمانی و مسکونی به شبکه معابر و کمینه سازی خطرپذیری در برابر خطر زلزله و کمینه سازی تغییر کاربری ها تعریف شده است. با توجه به چندهدفه بودن الگوریتم NSGA-II، در نهایت تصمیم گیرنده در جبهه ی جواب بهینه با تعداد زیادی جواب مواجه خواهد شد و این مسئله تصمیم گیری را دشوار خواهد کرد. به این منظور در این تحقیق برای کمک به تصمیم گیری بهتر و نمایش سناریوهای متناظر با اولویت تصمیم گیرندگان، از آنالیز خوشه بندی با روش K-means استفاده شده است. در تست های انجام شده بر روی الگوریتم بهینه سازی، مشخص شد که نتایج از نظر همگرایی و تست تکرارپذیری قابل قبول می باشند. همچنین در چینش های بهینه ی به دست آمده وضعیت توابع هدف بهتر از وضعیت موجود است. نتایج این تحقیق می تواند به عنوان یک ابزار حمایت از تصمیم گیری به برنامه ریزان و سیاست گذاران مدیریت شهری مرتبط با زلزله در خصوص برنامه ریزی صحیح فضای شهری کمک نماید. روش مناسب بهینه سازی و منطبق با مسئله و تعریف توابع هدف مطابق با واقعیت و وارد کردن جنبه های اصلی مسئله آسیب پذیری زلزله در مدل ارائه شده و اعمال نظرات تصمیم گیرندگان در مراحل تحقیق و در مرحله ی پایانی برای انتخاب چینش بهینه با تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از سناریوها و خوشه بندی سناریوها نشان دهنده ی کارایی مدل می باشد.

واژگان کلیدی: الگوریتم بهینه سازی چندهدفه، الگوریتم ژنتیک با مرتب سازی نامغلوب، تخصیص کاربری اراضی، سیستم اطلاعات

مکانی، خوشه بندی، آسیب پذیری زلزله، شهر تهران

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

در دهه های اخیر، افزایش تراکم جمعیت و سرمایه گذاری بیشتر در شهرها باعث افزایش آسیب پذیری انسان در برابر مخاطرات محیطی و بخصوص زلزله شده است. انجام مطالعات و تحقیقات انجام شده در زمینه ساختمان ها و مقاوم سازی ها، لازم ولی کافی نیست و با توجه به پیچیدگی و تعدد عوامل موجود در تخصیص کاربری اراضی، مدل سازی آن ها نیازمند نگاه جامع می باشد [۴]. بنابراین مسئله تخصیص کاربری، یک مسئله چندهدفه^۱ خواهد بود. روش های بسیاری برای حل مسائل چندهدفه وجود دارد که به روش های کلاسیک (که روش های تجزیه^۲ نیز نامیده می شوند) و الگوریتم های تکاملی^۳ تقسیم می شوند. روش های کلاسیک که اغلب مسئله چند هدفه را به یک مسئله یک هدفه تقلیل می دهند، به دلیل دستیابی به تنها یک جواب بهینه پارتو^۴ در هر مرحله شبیه سازی، عدم یافتن همه جواب های بهینه در بهینه یابی چندهدفه نا محذب و نیاز به اطلاعاتی راجع به مسئله مانند وزن های مناسب و سطوح آرمان، نقاط ضعف دارند. برای غلبه به این موضوع، محققان غالباً به روش های تکاملی متوسل می شوند که کارایی بالایی دارند. خروجی الگوریتم تکاملی، جمعیتی از راه حل ها است. قابلیت پیدا کردن چندین راه حل بهینه در یک اجرا، الگوریتم های تکاملی را برای حل مسائل بهینه سازی چندهدفه مناسب می سازد. از بین الگوریتم های تکاملی، الگوریتم ژنتیک^۵ غالباً برای حل مسائل کاربری زمین به کار رفته است. الگوریتم های ژنتیک در کنار سیستم اطلاعات مکانی یک ترکیب بالقوه قوی برای حل مسائل بهینه سازی ترکیبی بزرگ مقیاس و مکانی ارائه می کنند. الگوریتم ژنتیک با مرتب سازی نامغلوب^۶ یکی از پرکاربردترین و قدرتمندترین الگوریتم های موجود برای حل مسائل بهینه سازی چند هدفه است که نخستین بار دب^۷ و همکاران (۲۰۰۲) آن را پیشنهاد دادند [۲]. مزایای عمده این روش سرعت بالا، وجود نخبه گرایی، عدم نیاز به جمعیت خارجی و سهولت

نسبی پیاده سازی است [۵، ۲]. کای چائو^۸ و همکاران از الگوریتم NSGA-II برای بررسی میزان اثربخشی یک طرح اجرا شده در جنوب شرق پکن در محدوده شهر جدید تانگژو استفاده کردند [۱۲]. در تحقیقی که توسط رجبی و همکاران انجام شد، با ارائه ی مدلی نو و ابتکاری، راه حلی مؤثر برای به کارگیری الگوریتم NSGA-II در انواع مسائل مکان محور، به گونه ای که امکان تحلیل های مکانی نیز وجود داشته باشد، ارائه شده است [۸]. معصومی (۱۳۹۲) با استفاده از الگوریتم های بهینه سازی چندهدفه NSGA-II، MOEA/D و MOPSO و آنالیزهای مکانی، به مدل سازی اثرات کالبدی تغییر کاربری های شهری پرداختند [۱]. کارایی الگوریتم NSGA-II در حل مسائل جستجو و بهینه یابی دنیای واقعی به اثبات رسیده است، با این وجود از این الگوریتم برای حل مسائل بهینه سازی باهدف کاهش آسیب پذیری ناشی از زلزله در شهرها استفاده نشده است.

۲- بهینه سازی

بهینه سازی به معنی یافتن بهترین راه حل ممکن برای یک مسئله با در نظر گرفتن مجموعه ای از شرایط و محدودیت هاست. در چنین مسائلی لازم است مقادیر توابع هدف بیشینه یا کمینه گردند. در مسائل چندهدفه برخلاف مسائل تک هدفه با یک تابع هدف اسکالر مواجه نیستیم بلکه تابع هدف یک بردار است و فضای جواب در حالت چندهدفه ترتیب پذیر نیست. یعنی اگر رابطه (۱) برای یک مسئله ی چندهدفه تعریف شود خواهیم داشت:

$$\min_x f(x) \quad f: X \rightarrow R^m, f = (f_1, f_2, \dots, f_m) \quad (1)$$

یعنی تابع f خود m مؤلفه دارد و یک بردار m بعدی است که در آن m تعداد توابع هدف است و R^m حاصل ضرب دکارتی R به تعداد m بار می باشد. بنابراین فضا دیگر یک فضای ترتیب پذیر نیست. زیرا اپراتورهای مقایسه ای مانند کوچک تر ($<$) یا بزرگ تر ($>$) در این فضا به صورت کامل نمی توانند تعریف شوند [۱]. مشکل فضای جواب در مسائل چندهدفه در این است که ترتیب پذیر نیست که از دو طریق قابل حل است:

^۱ Multi-Objective Problem

^۲ Decomposition

^۳ Evolutionary Algorithms(EA)

^۴ Pareto Optimal Solution

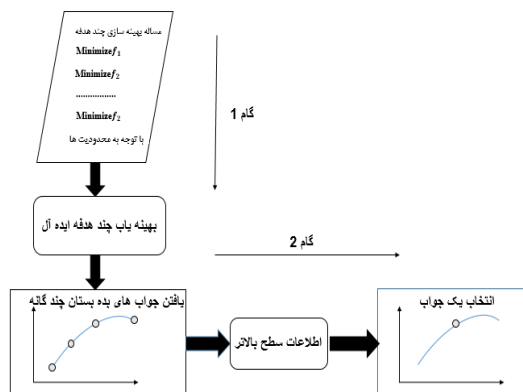
^۵ Genetic Algorithm(GA)

^۶ Non-dominated Sorting Genetic Algorithm-II

^۷ Deb

برای یک فرآیند بهینه‌سازی چندهدفه‌ای ایده آل مراحل زیر بایستی طی شود: [۲].

- ۱: چندین جواب بهینه‌ای بده بستان، با دامنه‌ای گسترده‌ای از مقادیر برای اهداف پیدا شود
- ۲: یکی از جواب‌های بهینه به دست آمده را با استفاده از اطلاعات سطح بالاتر انتخاب کرد



شکل ۱- رویه‌ی بهینه‌سازی چندهدفه به صورت وزن دهی بعد از حل [۱۷]

• تبدیل مسئله‌ی چندهدفه به تک‌هدفه (تجزیه) یا وزن دهی قبل از حل

در این روش‌ها فضای مسئله به یک فضای اسکالر تبدیل می‌شود. به این روش‌ها، وزن دهی قبل از حل^۱ نیز گفته می‌شود. در این روش‌ها تصمیم‌گیری در مورد ترجیحات توابع هدف، قبل از حل (قبل از جستجوی فضای جواب) ارائه می‌شوند و معمولاً وزن‌ها توسط کارشناسان این زمینه تعریف می‌شوند جواب‌ها کاملاً تحت تأثیر کارشناسان قرار دارند. توابع هدف با روش‌های مختلف به یک تابع هدف اسکالر تبدیل شده و مسئله به صورت تک‌هدفه حل می‌شود از جمله این روش‌ها می‌توان به مجموع وزن دار، روش‌های وزنی متریک، برنامه‌ریزی آرمانی و ... اشاره کرد در این روش‌ها برای به دست آوردن مجموعه‌ای از جواب‌ها (جواب‌های مؤثر) لازم است الگوریتم به دفعات حل شود و در هر بار اجرا بایستی جواب جدیدی به دست آید [۱،۲].

• حل مستقیم

در این روش‌ها معیاری برای برتری جواب‌ها در فضای چندبعدی توابع هدف تعریف شده و مسئله بر اساس آن معیار به صورت کاملاً چندهدفه حل می‌شود. به این روش‌ها وزن دهی بعد از حل^۲ نیز گفته می‌شود. در حقیقت مسئله کاملاً به صورت چندهدفه حل شده، جواب‌ها به دست آمده سپس با توجه به ترجیحات اعلام شده از طرف تصمیم گیر جواب نهایی به دست می‌آید [۱]. به عبارت دیگر تنها یک جواب بهینه وجود ندارد بلکه جواب، مجموعه‌ای از نقاط است که می‌تواند یک سطح، منحنی و ... باشد که منحنی جواب‌های بده بستان و یا جواب‌های مؤثر نامیده می‌شود. در این روش هیچ‌گونه وزن اولیه‌ای وارد محاسبات نمی‌شود. در بهینه‌سازی چندهدفه تلاش می‌شود تا مجموعه‌ای از جواب‌های بهینه، با در نظر گرفتن همه‌ی اهداف، یافت شود. بنابراین کاربر می‌تواند با استفاده از ملاحظات کیفی سطح بالاتر، دست به انتخاب بزند [۱].

۲-۱- مفهوم غلبه

چالش اساسی این است که بندرت پاسخی وجود دارد که همه اهداف را به طور همزمان بهینه سازد جبهه‌ی جواب مؤثر مجموعه‌ای از نقاط جواب است که هیچ کدام بر همدیگر غلبه نمی‌کنند جواب‌های روی جبهه‌ی جواب بهینه را جواب‌های بده بستان نیز می‌نامند هدف اصلی در حل یک مسئله چندهدفه درواقع، تعیین مجموعه جواب مؤثر است. [۱]

جواب x_1 بر جواب x_2 غالب است اگر دو شرط زیر برقرار باشد: [۱،۲]

۱- جواب x_1 در هیچ یک از اهداف بدتر از x_2 نباشد، یا

$$f_i(x_1) \geq f_i(x_2) \text{ For all } i = 1, 2, \dots, M \quad (2)$$

۲- جواب x_1 دست کم در یک هدف اکیداً بهتر از جواب x_2 باشد، یا

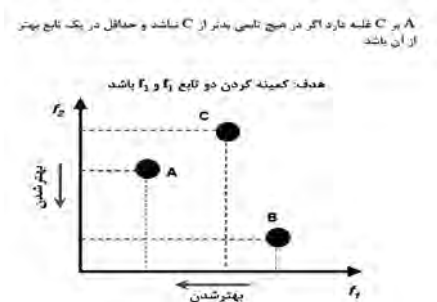
$$f_j(x_1) > f_j(x_2) \text{ For at least one } j \in \{1, 2, \dots, M\} \quad (3)$$

شکل ۲ حالتی را نشان می‌دهد که مسئله بهینه‌سازی شامل دو هدف برای کمینه‌سازی است. در این شکل پاسخ A بر پاسخ C غالب است؛ زیرا به ازای هر دو تابع هدف مقدار کمتری به دست آورده است. اما در مورد پاسخ‌های

^۱ Priori Articulation of Preference

^۲ Posterior Articulation of Preference

A و B می توان گفت هیچ یک بر دیگری غالب نیست. پاسخ های B و C نیز بدون حضور پاسخ A می توانند نامغلوب باشند.



شکل ۲- نمونه ای از پاسخ های مغلوب و نامغلوب

۲-۲- مجموعه نامغلوب

از بین مجموعه جواب های P ، مجموعه جواب های نامغلوب P' آن هایی هستند که مغلوب هیچ یک از اعضای مجموعه P نیستند [۷].

۲-۳- الگوریتم چندهدفه ژنتیک نامغلوب-II

این الگوریتم راه حل سریع تری نسبت به سایر روش ها در رتبه بندی دارد و لذا پیچیدگی های محاسباتی الگوریتم های قبلی را ندارد [۱۰، ۱۱]. و همچنین این الگوریتم از فاصله ی ازدحامی برای به دست آوردن جبهه ی جواب یکنواخت تر نسبت به سایر الگوریتم ها و تخمین دانسیته ی نقاط حول جواب ها استفاده می نماید [۱]. لازم به ذکر است از فاکتور فاصله ی ازدحامی برای انتخاب بهتر جواب ها از نظر پراکندگی بر روی یک جبهه استفاده می شود [۱، ۲، ۱۸]. با توجه به شکل ۳ در حالت دو هدفه فاصله ازدحامی برای پاسخ i ام توسط رابطه زیر محاسبه می شود: [۵]

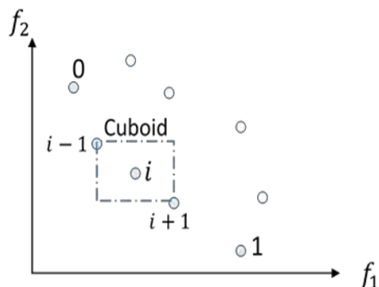
$$d_1^i = \frac{|f_1^{i+1} - f_1^{i-1}|}{f_1^{max} - f_1^{min}} \quad (4)$$

$$d_2^i = \frac{|f_2^{i+1} - f_2^{i-1}|}{f_2^{max} - f_2^{min}} \quad (5)$$

$$d_i = d_1^i + d_2^i \quad (6)$$

f_1^{i+1} مقدار تابع هدف اول در جواب $i + 1$ ، f_1^{i-1} مقدار تابع هدف اول در جواب $i - 1$ ، f_1^{max} بیشترین

مقدار تابع هدف اول در جبهه ، f_1^{min} کم ترین مقدار تابع هدف اول در همان جبهه d_1^i فاصله ازدحام جواب i ام در تابع هدف اول، و d_2^i فاصله ازدحام جواب i ام در تابع هدف دوم ، d_i فاصله ازدحام جواب i ام



شکل ۳- فاصله ی ازدحامی پاسخ i ام در NSGA-II [۱۷]

برای محاسبه فاصله ازدحامی در حالت کلی از رابطه زیر استفاده می گردد [۱۹]

$$d_i^j = \frac{|f_j^{i+1} - f_j^{i-1}|}{f_j^{max} - f_j^{min}} \quad (7)$$

$$d_i = \sum_{j=1}^m d_i^j \quad (8)$$

f_j^{i+1} مقدار تابع هدف j ام در جواب $i + 1$ ، f_j^{i-1} مقدار تابع هدف j ام در جواب $i - 1$ ، f_j^{max} بیشترین مقدار تابع در هدف j ام ، f_j^{min} کم ترین مقدار تابع در هدف j ام، d_i^j فاصله ازدحامی جواب i ام در هدف j ام ، d_i فاصله ازدحامی جواب i ام در تمام اهداف

۲-۴- مراحل الگوریتم NSGA-II

پس از ایجاد جمعیت اولیه محاسبه معیار برازندگی شروع می شود که در این مرحله مقادیر توابع هدف برای تک تک افراد جمعیت محاسبه می شود. سپس جمعیت بر اساس شرط های غلبه کردن مرتب سازی می شود. پس از مرتب سازی پاسخ ها بر اساس غلبه، باید آن ها را بر اساس فاصله ازدحامی مرتب کرد که موجب ایجاد نظم بیشتر در بین پاسخ های بهینه نیز می گردد. سپس دست به انتخاب زد که در این تحقیق، انتخاب والد با استفاده از روش انتخاب تورنمنتی چندهدفه انجام می گیرد که ابتدا جمعیت ها در رتبه های پایین تر انتخاب می شوند (جواب های بهتر در رتبه ی پایین تر از نظر عددی قرار گیرند) سپس عضوی انتخاب می شود که فاصله ی ازدحامی

کیلومتر مربع شامل ۶ ناحیه و ۱۳ محله می‌باشد که از مهم‌ترین ویژگی‌های این منطقه قرار گرفتن بازار تهران و بسیاری از اماکن فرهنگی، مراکز و نهادهای دولتی، وزارتخانه‌ها و سفارتخانه‌ها در آن می‌باشد. تعداد خانوار ساکن در منطقه ۹۱۰۰۰ خانوار و جمعیت ساکن ۳۶۵۰۰۰ و دارای جمعیت شناور میلیونی می‌باشد. تعداد کلاس‌های کاربری در این تحقیق هشت کلاس آموزشی، بهداشتی- درمانی، فضای سبز، اداری، معابر، فرهنگی- ورزشی، مسکونی و تجاری در نظر گرفته شده است و همچنین اندازه پیکسل‌ها ۱۰ متر تعیین گردید. شکل ۵ منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۵- منطقه‌ی مطالعاتی با توجه به کلاس بندی کاربری‌ها

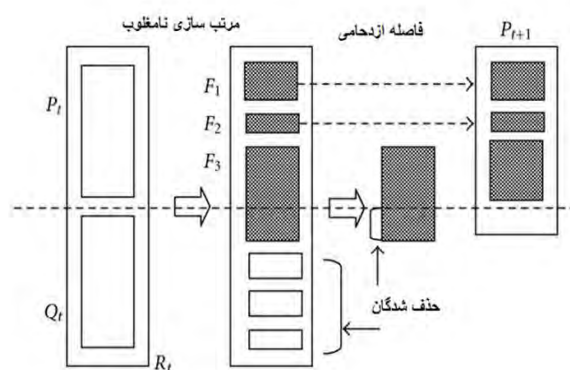
۳-۲- تعیین توابع هدف الگوریتم NSGA-II

الگوریتم NSGA-II به صورت کمینه‌سازی در نظر گرفته شده است. پنج هدف در نظر گرفته شده در این تحقیق عبارت‌اند از: بیشینه کردن سازگاری، بیشینه کردن دسترسی، بیشینه کردن دسترسی پذیری، کمینه کردن خطرپذیری و کمینه کردن دشواری تغییر

۳-۲-۱- بیشینه کردن سازگاری میان کاربری‌ها

برای استخراج ماتریس سازگاری از مدل دلفی بر اساس نظر کارشناسان و منابع موجود در سطح واحد

بیشتری دارد [۱]. سپس تقاطع و جهش برای تولید فرزندان جدید انجام می‌شود در مرحله بعد، جمعیت اولیه و جمعیت ناشی از تقاطع و جهش ابتدا بر حسب 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 [۲،۵،۶،۱۹]. شکل ۴ روند الگوریتم NSGA-II را نمایش می‌دهد.



شکل ۴- مرتب‌سازی پاسخ‌ها در NSGA-II [۵،۱۷]

۳- پیاده سازی و آزمون عملی

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 [۲۱]. برای آن‌که یک الگوریتم ژنتیک بتواند به صورت 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 طراحی شده است. در ادامه به معرفی منطقه مورد مطالعه، تعیین توابع هدف و نحوه‌ی تعریف چهار المان اصلی در الگوریتم NSGA-II یعنی ژن و کروموزوم، جمعیت اولیه، تقاطع و جهش در این تحقیق پرداخته می‌شود.

۳-۱- محدوده مورد مطالعه

منطقه ۱۲ منطقه‌ای استراتژیک است که از مناطق قدیمی شهر تهران می‌باشد. این منطقه با مساحت ۱۶/۹۱

مکانی استفاده شد. با کاربرد این روش می توان بر مشکلات کمی سازی متغیرهای مختلف و روابط میان آن ها با توجه فقدان مدل ها و داده های کافی و مورد نیاز، غلبه نمود و به روشی ساده تر ماتریس سازگاری میان کاربری ها را ایجاد کرد [۱۰].

روش دلفی فرآیندی ساختاریافته برای جمع آوری و طبقه بندی دانش موجود در نزد گروهی از کارشناسان و خبرگان است که از طریق توزیع پرسشنامه هایی در بین افراد و بازخور کنترل شده ی پاسخ ها و نظرات دریافتی صورت می گیرد [۱۳]. جدول ۱ ماتریس سازگاری به دست آمده در این پژوهش را نشان می دهد.

جدول ۱- ماتریس سازگاری به دست آمده با استفاده از روش دلفی

شبکه حمل و نقل	فرهنگی و ورزشی	مسکونی	تجاری	آموزشی	بهداشتی- درمانی	فضای سبز	اداری
HC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	HC
MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC
MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC
MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC
MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC
MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC
MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC
MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC

مقادیر کمی ماتریس سازگاری را با توجه به سطوح سازگاری بین کاربری ها از مقایسه زوجی ساختاریافته AHP در نظر گرفتیم (جدول ۲).

جدول ۲- مقایسه ی زوجی ساختاریافته میان گزینه های تصمیم گیری

سطوح سازگاری مورد مقایسه	میزان اهمیت نسبی سازگاری دو سطح
کاملاً سازگار (HC) به نسبتاً سازگار (MC)	مهم تر از = ۱
نسبتاً سازگار (MC) به سازگاری خنثی (N)	مهم تر از = ۱
خنثی (N) به نسبتاً ناسازگار (MI)	خیلی مهم تر از = ۲
نسبتاً ناسازگار (MI) به کاملاً ناسازگار (HI)	مهم تر از = ۴

جدول ۳ نیز نحوه ی در نظر گرفتن درجات اهمیت نسبی به منظور تعیین اهمیت نسبی نهایی هر زوج درجه ی سازگاری و محاسبه ی شاخص عددی هر درجه ی سازگاری را نمایش می دهد.

جدول ۳- وزن های محاسبه شده با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی [۱۰]

سطح سازگاری کاملاً سازگار	نسبتاً سازگار	خنثی	نسبتاً ناسازگار	کاملاً ناسازگار	میانگین هندسی استاندارد	مقدار
۱	۲	۳	۴	۵	۲.۹۱۳۷	۰.۴۳
۰.۵	۱	۲	۳	۴	۱.۸۸۸۲	۰.۲۸
۰.۳۳	۰.۵	۱	۲	۳	۱.۲۰۱۱	۰.۱۷
۰.۲	۰.۳۳	۰.۵	۱	۲	۰.۵۴۹۲	۰.۰۸
۰.۱۴	۰.۲	۰.۳۳	۰.۵	۱	۰.۲۷۵۶	۰.۰۴

مقدار سازگاری بین پیکسل ها با توجه به نوع کاربری متعلق به آن پیکسل ها، از ماتریس سازگاری محاسبه می شوند. (یعنی اعداد مطابق ستون استاندارد در جدول ۳ و مطابق سطوح سازگاری جدول ۱ تعیین می شوند.) بنابراین طبق رابطه ی ۹ مقدار تابع هدف سازگاری برای هر پیکسل با توجه به همسایگی ها (مطابق جداول ذکر شده) محاسبه می شود:

$$x_{ij} = \frac{1}{n_i m_j} \sum_{i=1}^{n_i} \sum_{j=1}^{m_j} (Comp^1((i, j), (i + l, j + k))) \quad (9)$$

$$, k \in \{-2, -1, 1, 2\}$$

در این رابطه، x_{ij} نشان دهنده ی مقدار هدف سازگاری برای پیکسل مورد نظر با توجه به همسایگی ها، i, j نشان دهنده ی سطر و ستون پیکسل مورد نظر، l, k نشان دهنده ی شعاع همسایگی ها در اطراف پیکسل مورد نظر، n_i, m_i تعداد همسایه های پیکسل در نظر گرفته شده می باشند. تابع هدف سازگاری طبق رابطه ی ۱۰ تعریف می شود:

$$F_1 = \text{Maximize}(\frac{1}{nm} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (x_{ij})) \quad (10)$$

در این رابطه n, m تعداد سطر و ستون نقشه، i, j نشان دهنده ی سطر و ستون پیکسل ها، x_{ij} نشان دهنده ی مقدار تابع هدف سازگاری به دست آمده برای پیکسل (i, j) ام

۳-۲-۲- پیشینه کردن دسترسی بین کاربری ها

پنج سطح دسترسی در نظر گرفته شده بین کاربری ها در این تحقیق عبارتند از: بسیار بالا (VH)، بالا (H)، متوسط (M)، کم (L)، خیلی کم (VL). پس از استخراج ماتریس دسترسی (جدول ۴) به دست آورده شده از روش دلفی و با بکارگیری روش مقایسه زوجی ساختاریافته در

۱ سازگاری بین کاربری ها Compatibility

۳-۲-۳- بیشینه کردن دسترس پذیری

برای محاسبه تابع دسترس پذیری یک ماسک همسایگی با ابعاد ۵ در ۵ تعریف شد. این ماسک باعث می شود میانگین حضور کاربری های بهداشتی - درمانی و مسکونی و شبکه های معابر را در همسایه های اطراف پیکسل مرکزی را برای این پیکسل در نظر بگیرد و این ماسک به صورت لغزشی در کل نقشه حرکت می کند و بدین ترتیب میزان دسترس پذیری را برای تک تک پیکسل ها محاسبه می کند این ماسک نیز باید طوری طراحی شود که از پیکسل اول شروع به محاسبه کند. ابتدا مقدار هدف دسترس پذیری از طریق میزان حضور کاربری های معابر و مسکونی و بهداشتی - درمانی در ماسک طراحی شده تعریف می شود. سپس با توجه به رابطه ی ۱۳ مقدار تابع هدف دسترس پذیری برای هر پیکسل با توجه به مقدار دسترس پذیری همسایه ها محاسبه می شود:

$$x_{ij} = \frac{1}{n_i m_j} \sum_{i=1}^{n_i} \sum_{j=1}^{m_j} (Avail^*(i+l, j+k)) \quad (13)$$

$$l, k \in \{-2, -1, 0, 1, 2\}$$

$$avail(i+l, j+k) = \begin{cases} 1 & K_{(i+l, j+k)} \in \{3, 6, 8\} \\ 0 & otherwise \end{cases}$$

در این رابطه x_{ij} نشان دهنده ی مقدار دسترس پذیری برای پیکسل مورد نظر با توجه به مقدار دسترس پذیری پیکسل های همسایه، i, j نشان دهنده ی سطر و ستون پیکسل مورد نظر، l, k نشان دهنده ی شعاع همسایگی ها در اطراف پیکسل مورد نظر، n_i, m_i تعداد همسایه های پیکسل در نظر گرفته شده و $K_{(i+l, j+k)}$ نشان دهنده ی نوع کاربری در ماسک تعریف شده است که در این مسئله کاربری های معابر و مسکونی و بهداشتی - درمانی قابل شمارش می باشند. در نهایت تابع هدف دسترس پذیری طبق رابطه ی ۱۴ تعریف می شود:

$$F_3 = Maximize(\frac{1}{nm} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (x_{ij})) \quad (14)$$

در این رابطه n, m تعداد سطر و ستون کل نقشه، i, j نشان دهنده ی سطر و ستون پیکسل ها، x_{ij} نشان دهنده ی مقدار تابع هدف دسترس پذیری برای پیکسل (i, j) ام است.

AHP، وزن های مورد نیاز برای سطوح دسترسی به دست آمده است. از آنجا که دسترسی نیز مانند سازگاری در پنج سطح بررسی شده است وزن ها کاملاً مانند وزن های بدست آمده در جدول ۳ برای سازگاری است.

جدول ۴- ماتریس دسترسی به دست آمده با استفاده از روش دلفی

شبکه حمل و نقل	فرهنگی ورزشی	مسکونی	تجاری	آموزشی	بهداشتی-درمانی	فضای سبز	اداری
							L
						L	M
					H	H	H
				M	VH	H	L
			L	L	H	M	L
		M	M	H	VH	VH	M
	L	M	L	M	H	M	L
	H	VH	M	H	VH	H	H

مقدار دسترسی بین پیکسل ها با توجه به نوع کاربری متعلق به پیکسل ها از ماتریس دسترسی محاسبه می شوند. (اعداد مطابق ستون استاندارد در جدول ۳ و مطابق سطوح دسترسی جدول ۴ تعیین می شوند) بنابراین با توجه به رابطه ی ۱۱ مقدار تابع هدف دسترسی برای هر پیکسل با توجه به همسایگی ها (مطابق جداول ذکر شده) محاسبه می شود:

$$x_{ij} = \frac{1}{n_i m_j} \sum_{i=1}^{n_i} \sum_{j=1}^{m_j} (Access^1((i, j), (i+l, j+k))) \quad (11)$$

$$l, k \in \{-2, -1, 1, 2\}$$

در این رابطه، x_{ij} نشان دهنده ی مقدار دسترسی برای پیکسل مورد نظر با توجه به همسایگی ها، i, j نشان دهنده ی سطر و ستون پیکسل مورد نظر، l, k نشان دهنده ی شعاع همسایگی ها در اطراف پیکسل مورد نظر، n_i, m_i نشان دهنده ی تعداد همسایه های پیکسل می باشند. تابع هدف دسترسی طبق رابطه ی ۱۲ تعریف می شود:

$$F_2 = Maximize(\frac{1}{nm} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (x_{ij})) \quad (12)$$

در این رابطه n, m تعداد سطر و ستون کل نقشه، i, j نشان دهنده ی سطر و ستون پیکسل ها، x_{ij} مقدار تابع هدف دسترسی به دست آمده برای پیکسل (i, j) ام است.

دسترس پذیری بین کاربری ها Availability^۲

دسترس پذیری کاربری ها Accessibility^۱

۳-۲-۴- کمینه کردن خطرپذیری در برابر خطر زلزله

برای محاسبه تابع خطرپذیری علاوه بر نقشه ورودی به مقدار ریسک پذیری کاربری ها و نقشه خطرپذیری نیاز است. برای تهیه این نقشه از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برای محاسبات دودویی معیارها و محاسبه ضرایب استفاده شده است که برای محاسبه اهمیت هر یک از معیارها و محاسبه ضریب ناسازگاری در محیط Idrisi استفاده شد. که نتایج آن را در جدول ۵ ارائه شده است. این مقادیر نیز بر اساس نظرسنجی و قضاوت مهندسی تعیین شده است.

جدول ۵- مقایسه دودویی معیارهای مؤثر در خطرپذیری

معیار	فاصله از مراکز آتش نشانی	فاصله از گسل	فاصله از مراکز امدادی	فاصله از شبکه دسترسی	ضریب اهمیت
فاصله از مراکز آتش نشانی	۱	۰.۵۵	۰.۳۷	۰.۱۷	۰.۰۸۵
فاصله از گسل	۱.۸	۱	۰.۸۳	۰.۲۸	۰.۱۵۸
فاصله از مراکز امدادی	۲.۷	۱.۲	۱	۰.۳۱	۰.۱۹۷
فاصله از شبکه دسترسی	۵.۹	۳.۵	۳.۲	۱	۰.۵۶

با توجه به اینکه مقدار ضریب ناسازگاری (۰.۰۴۹) کمتر از ۰/۱ می باشد سازگاری در قضاوت ها مورد قبول است. وزن های محاسبه شده از روش مقایسه دوتایی، در تلفیق لایه ها در محیط Idrisi مورد استفاده قرار گرفته است و نقشه خطرپذیری تهیه گردید و پس از آن نقشه برای ورود به الگوریتم بهینه ساز در محیط متلب نرمال شد. شکل ۶ نقشه خطرپذیری منطقه را نشان می دهد.



شکل ۶- نقشه خطرپذیری منطقه ۱۲ تهران

برای شروع محاسبه خطرپذیری، به جای هر پیکسل میزان ریسک پذیری متناظر با کاربری تشکیل دهنده آن پیکسل طبق جدول ۶ در نظر گرفته می شود.

جدول ۶- میزان حساسیت کاربری های مختلف شهری به خطر زلزله

شبکه حمل و نقل	فرهنگی ورزشی	مسکونی	تجاری	آموزشی	پهداشتی- درمانی	فضای سبز	اداری	کاربری
۰.۸	۰.۵	۰.۸	۰.۴	۰.۷	۰.۹	۰.۲	۰.۴	میزان حساسیت

ابتدا مقدار خطرپذیری برای پیکسل ها از حاصل ضرب نقشه خطر در نقشه ریسک پذیری کاربری ها (برگرفته از جدول ۶) به دست می آید در ادامه با توجه به رابطه ی ۱۵ مقدار تابع هدف خطرپذیری برای هر پیکسل با توجه به مقدار خطرپذیری همسایه ها محاسبه می شود:

$$x_{ij} = \frac{1}{n_i m_j} \sum_{i=1}^{n_i} \sum_{j=1}^{m_j} (Rick(i + l, j + k)) \quad (15)$$

$$l, k \in \{-2, -1, 0, 1, 2\}$$

در این رابطه x_{ij} نشان دهنده مقدار خطرپذیری برای پیکسل مورد نظر با توجه به مقدار خطرپذیری پیکسل های همسایه، i, j نشان دهنده ی سطر و ستون پیکسل مورد نظر، l, k نشان دهنده ی شعاع همسایگی ها در اطراف پیکسل مورد نظر، n_i, m_i نشان دهنده ی تعداد همسایه های پیکسل در نظر گرفته شده است. تابع هدف خطرپذیری طبق رابطه ی ۱۶ تعریف می شود:

$$F_4 = \text{minimize} \left(\frac{1}{nm} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (x_{ij}) \right) \quad (12)$$

در این رابطه n, m تعداد سطر و ستون کل نقشه، i, j نشان دهنده ی سطر و ستون پیکسل ها، x_{ij} نشان دهنده ی مقدار تابع هدف خطرپذیری به دست آمده برای پیکسل (i, j) ام است.

۳-۲-۵- کمینه سازی تغییر کاربری های موجود

پنج سطح دشواری در نظر گرفته شده ماتریس مقاومت در برابر تغییر کاربری عبارت اند از: خیلی سخت (VD)، سخت (D) متوسط (M)، آسان (E)، خیلی آسان (VE) پس از استخراج ماتریس مقاومت در برابر تغییر کاربری (جدول ۴) به دست آورده شده از روش دلفی و با بکارگیری روش مقایسه زوجی ساختاریافته در AHP، وزن های مورد نیاز برای

۳-۳- تعریف ژن و کروموزوم

کدگذاری کروموزوم‌های ارائه شده در این تحقیق به صورت گسسته بوده و هر کروموزوم معرف یک نقشه کاربری می‌باشد. در واقع ژن‌های (متغیرهای) کروموزوم اعداد ۱ تا ۸ هستند که هر عدد معرف یک کاربری می‌باشد بنابراین یک کروموزوم متشکل از یک فضای دو بعدی از ژن‌ها می‌باشد که موقعیت هر ژن نشان‌دهنده یک واحد مکانی (مطالعاتی) از منطقه است و ارزش آن بیانگر کاربری مورد استفاده برای آن واحد می‌باشد. روشی که در این مسئله مکانی برای ارائه‌ی کدگذاری به کار گرفته شد کدگذاری سلولی صحیح است.

	j					
	$e_{1,1}$	$e_{1,2}$	$e_{1,3}$	$e_{1,4}$	$e_{1,5}$	$e_{1,6}$
	$e_{2,1}$	$e_{2,2}$	$e_{2,3}$	$e_{2,4}$	$e_{2,5}$	$e_{2,6}$
	$e_{3,1}$	$e_{3,2}$	$e_{3,3}$	$e_{3,4}$	$e_{3,5}$	$e_{3,6}$
	$e_{4,1}$	$e_{4,2}$	$e_{4,3}$	$e_{4,4}$	$e_{4,5}$	$e_{4,6}$
	$e_{5,1}$	$e_{5,2}$	$e_{5,3}$	$e_{5,4}$	$e_{5,5}$	$e_{5,6}$
i	$e_{6,1}$	$e_{6,2}$	$e_{6,3}$	$e_{6,4}$	$e_{6,5}$	$e_{6,6}$

شکل ۲- $e_{(i,j)}$ کلاس کاربری e (نوع کاربری تعریف شده) که به واحد (i, j) اختصاص داده شده

۳-۳-۱- جمعیت اولیه

۴۰ درصد از جمعیت اولیه از وضعیت موجود با تعریف عملگری برای معاوضه ژنی به خاطر حفظ شکل منطقه تولید شد و ۶۰ درصد جمعیت نیز به طور تصادفی تولید شد.

۳-۳-۲- تقاطع

بلوک اولیه طوری تعریف و طراحی می‌شود که بلوک تعریف شده شامل چندین زیر بلوک آماده برای معاوضه ژنی شود نرخ تقاطع در این تحقیق ۰/۶ در نظر شد. شکل ۸ نحوه عملکرد تقاطع را نشان می‌دهد.



شکل ۸- معاوضه ژنی ۴ تا زیر بلوک در کروموزوم‌های منتخب

سطوح سختی تغییر به دست آمده است. از آنجا که این هدف نیز مانند سازگاری و دسترسی در پنج سطح بررسی شده است وزن‌ها کاملاً مانند وزن‌های بدست آمده در جدول ۳ برای سازگاری است.

جدول ۷- ماتریس مقاومت در برابر تغییر کاربری

	شبکه حمل و نقل	فرهنگی ورزشی	مسکونی	تجاری	آموزشی	بهداشتی-درمانی	فضای سبز	اداری
شبکه حمل و نقل	·							·
فرهنگی ورزشی		·						M
مسکونی			·					E
تجاری				·				E
آموزشی					·			E
بهداشتی-درمانی						·		E
فضای سبز							·	M
اداری								·

مقدار بین دو پیکسل با توجه به نوع کاربری متعلق به آن پیکسل‌ها از ماتریس مقاومت در برابر تغییر کاربری محاسبه می‌شوند (اعداد مطابق ستون استاندارد در جدول ۳ و مطابق سطوح دشواری تغییر جدول ۷ تعیین می‌شوند). بنابراین طبق رابطه‌ی ۱۷ مقدار تابع هدف دشواری تغییر برای هر پیکسل با توجه به همسایگی‌ها (مطابق جداول ذکر شده) محاسبه می‌شود:

$$x_{ij} = \frac{1}{n_i m_j} \sum_{i=1}^{n_i} \sum_{j=1}^{m_j} (Resis^1((i, j), (i + l, j + k))) \quad (17)$$

$l, k \in \{-2, -1, 1, 2\}$

در این رابطه x_{ij} نشان‌دهنده‌ی مقدار دشواری تغییر برای پیکسل مورد نظر با توجه به همسایگی‌ها، i, j نشان‌دهنده‌ی سطر و ستون پیکسل مورد نظر، l, k نشان‌دهنده‌ی شعاع همسایگی‌ها در اطراف پیکسل مورد نظر، n_i, m_i تعداد همسایه‌های پیکسل در نظر گرفته شده است. تابع هدف دشواری تغییر طبق رابطه‌ی ۱۸ تعریف می‌شود:

$$F_5 = \text{Minimize} \left(\frac{1}{nm} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (x_{ij}) \right) \quad (18)$$

در این رابطه n, m تعداد سطر و ستون نقشه، i, j نشان‌دهنده‌ی سطر و ستون پیکسل‌ها، x_{ij} نشان‌دهنده‌ی مقدار تابع هدف دشواری تغییر به دست آمده برای پیکسل (i, j) ام است.

مقاومت در برابر تغییر کاربری 1 resistance of land use to chang

۳-۳-۳- جهش

برای ایجاد عملگر جهش شرط عدم همسانی بلوک‌های انتخابی اعمال شد و بلوک‌های هم اندازه از طریق معاوضه ژنی جابه‌جا شدند. نرخ جهش ۰/۶ در نظر گرفته شد. شکل ۹ نحوه عملکرد عملگر جهش را نشان می‌دهد.

بلوک انتخاب شده از کروموزوم اول							بلوک انتخاب شده از کروموزوم دوم						
5	5	5	1	7	7	7	7	7	1	1	1	4	4
5	5	5	4	7	7	7	1	1	2	2	1	4	4
3	3	2	2	2	4	4	1	1	2	6	4	4	4
3	3	2	6	2	4	4	5	3	6	6	6	1	1
1	3	6	6	6	5	5	5	3	5	5	6	6	6
1	1	6	6	6	5	5	6	6	5	5	3	3	6
1	1	6	6	6	5	5	6	6	1	1	3	3	6

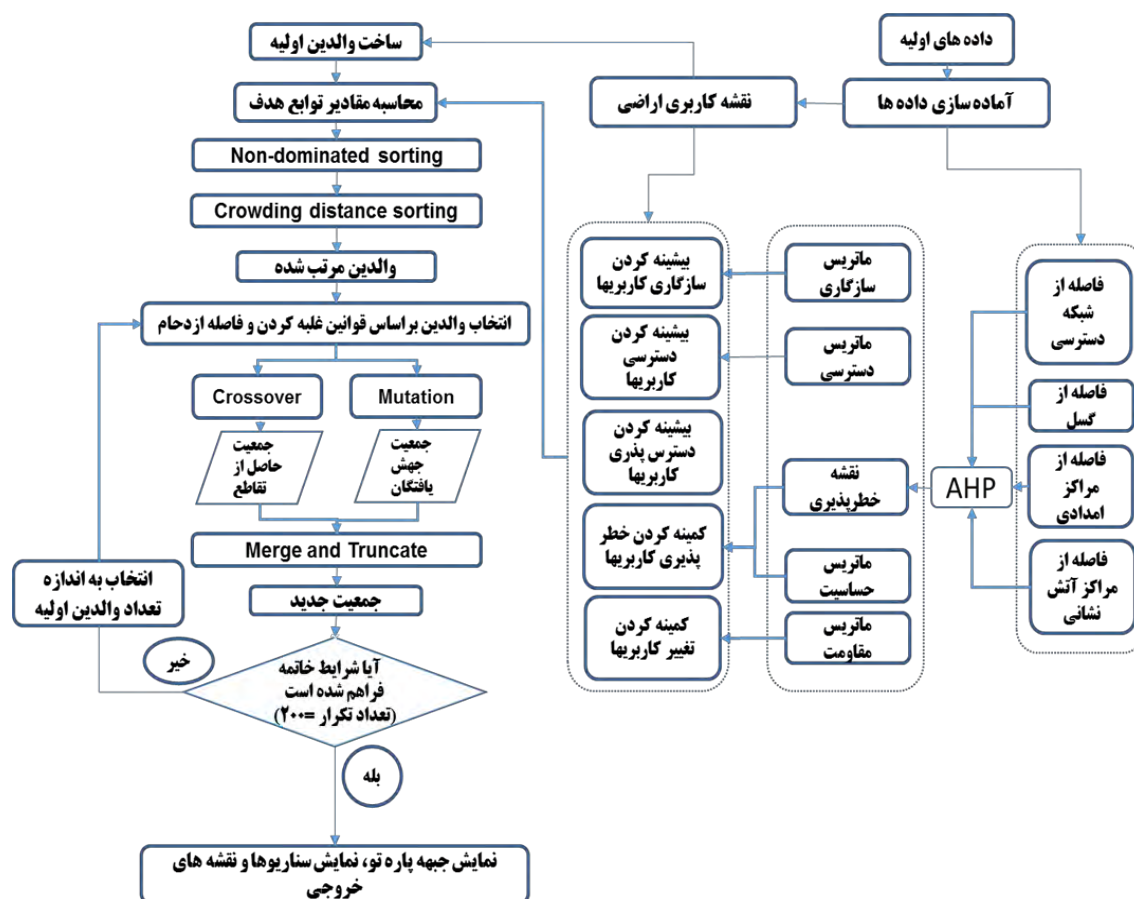
شکل ۹- جهش به صورت معاوضه دو بعدی

۳-۳-۴- تعداد جمعیت

بر اساس پیشینه تحقیقاتی تعداد جمعیت مناسب برای حل این گونه مسائل در بازه ۳۰ تا ۸۰ می‌باشد. در مدل NSGA-II تأثیر اندازه جمعیت بر روی پیچیدگی محاسباتی الگوریتم از نوع درجه ۲ است. در این تحقیق به علت تعداد جمعیت اولیه تا حد ممکن نرمال (۵۰ عدد) در نظر گرفته شد.

۳-۳-۵- تعداد تکرار

در مدل طراحی شده شرط اتمام، تعداد تکرار می‌باشد. به صورت پیش فرض تعداد تکرارها ۲۰۰ تکرار در نظر گرفته شده است. فلوجارت شکل ۱۰ به بیان ساده، روش NSGA-II را به صورت شماتیک در این تحقیق نشان می‌دهد.

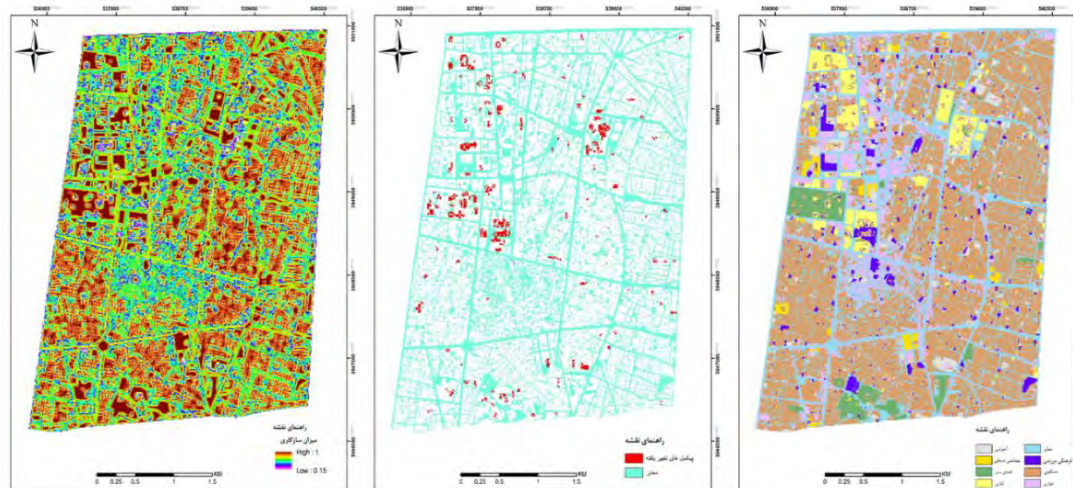


شکل ۱۰- فلوجارت کلی روش NSGA-II در تحقیق

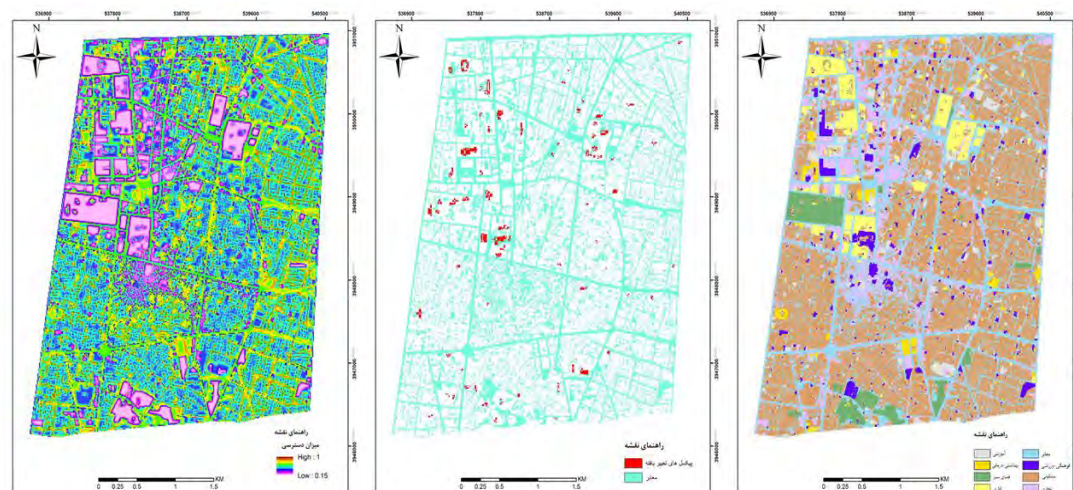
۴- نتایج حاصل از پیاده سازی مدل و ارزیابی آن‌ها

و نمایش سناریوها در نرم افزار Envi و ArcGIS انجام شده است. نتایج با تعداد جمعیت اولیه ۵۰ و تعداد تکرار ۲۰۰ نشان داده شده است همچنین تمامی مقادیر مربوط به توابع هدف میان ۰ و ۱ استاندارد شده‌اند.

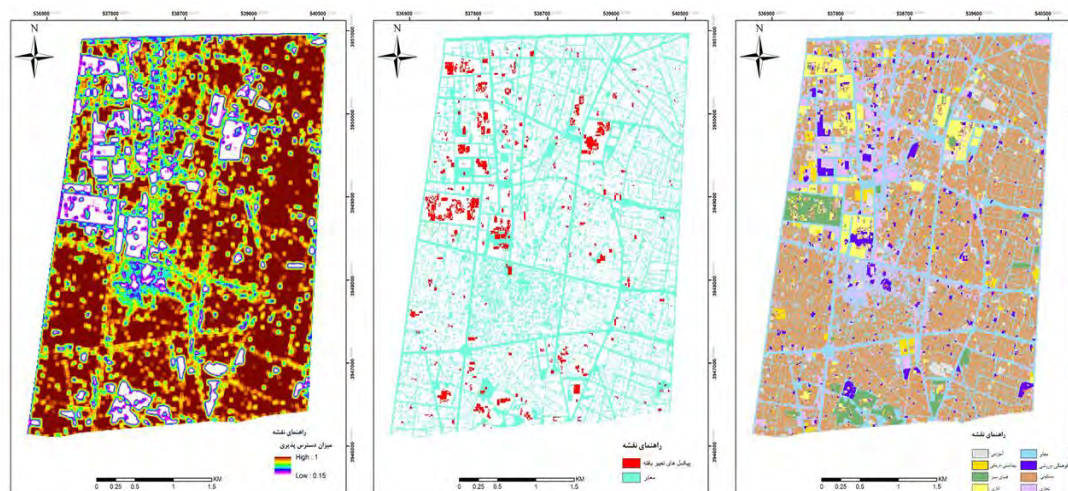
مدل در محیط نرم افزار Matlab پیاده سازی گردیده و اعمال مربوط به پردازش، رفع خطاها، تجزیه و تحلیل نتایج



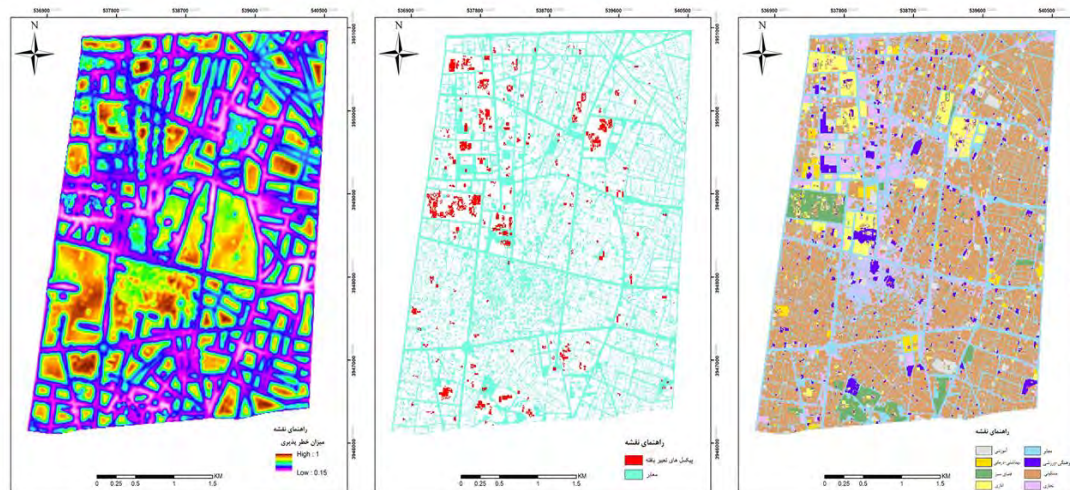
چینش بهینه
نقشه پیکسل‌های تغییر یافته
نقشه سازگاری
شکل ۱۱- نقشه‌های به دست آمده با استفاده از الگوریتم NSGA-II که دارای بیشینه سازگاری می‌باشد



چینش بهینه
نقشه پیکسل‌های تغییر یافته
نقشه دسترسی
شکل ۱۲- نقشه‌های به دست آمده با استفاده از الگوریتم NSGA-II که دارای بیشینه دسترسی می‌باشد



چینش بهینه
نقشه پیکسل‌های تغییر یافته
نقشه دسترسی پذیری
شکل ۱۳- نقشه‌های به دست آمده با استفاده از الگوریتم NSGA-II که دارای بیشینه دسترسی پذیری می‌باشد

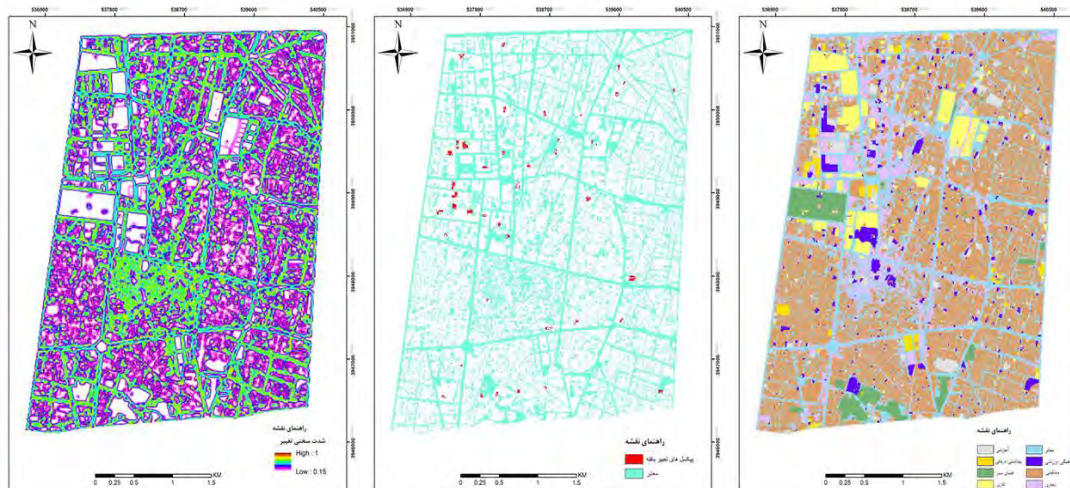


نقشه خط‌پذیری

نقشه پیکسل‌های تغییر یافته

چینش بهینه

شکل ۱۴- نقشه‌های به دست آمده با استفاده از الگوریتم که دارای کمینه‌ی خط‌پذیری می‌باشد



نقشه تغییر کاربری

نقشه پیکسل‌های تغییر یافته

چینش بهینه

شکل ۱۵- نقشه‌های به دست آمده با استفاده از الگوریتم NSGA-II که دارای کمینه‌ی تغییر کاربری می‌باشد

جدول ۸- تعداد تغییرات کاربری پیشنهادی الگوریتم NSGA-II برای هر یک از حالت‌های بیشینه یا کمینه توابع هدف

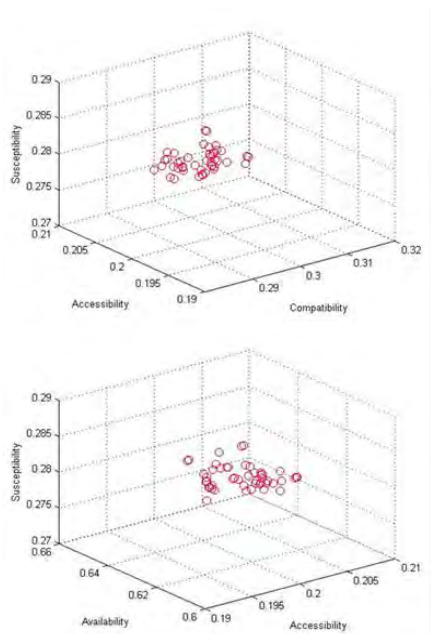
تعداد تغییرات کاربری پیشنهادی الگوریتم NSGA-II در کل منطقه	تعداد تغییرات کاربری پیشنهادی
۳۶۰۶	بیشینه‌ی سازگاری
۱۴۸۱	بیشینه‌ی دسترسی
۴۸۶۲	بیشینه‌ی دسترسی پذیری
۳۸۷۵	کمینه‌ی خط‌پذیری
۷۹۳	کمینه‌ی تغییر کاربری
۵۸۰	حالت تعادلی توابع هدف

تعادلی توابع هدف لازم است. این امر می‌تواند به دلیل ضعیف کردن توابع هدف دیگر است. ولی در حالت تعادلی متعادل بودن مقادیر توابع هدف در این چینش باشد زیرا معمولاً رسیدن به بیشینه هر یک توابع هدف به معنی

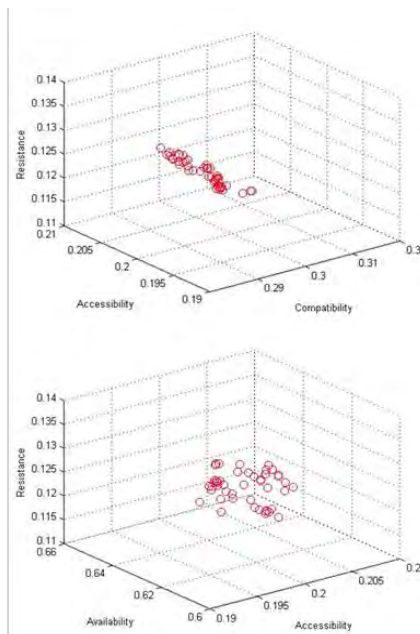
جدول ۸ تعداد تغییرات کاربری پیشنهادی الگوریتم NSGA-II در کل منطقه‌ی مطالعاتی تغییر داده شده برای حالت‌هایی که سه تابع هدف اول، بیشینه و توابع چهارم و پنجم کمینه هستند را نشان می‌دهد. سطری تحت عنوان "پاسخ با وزن یکسان توابع هدف" ایجاد شده است که نشان‌دهنده‌ی پاسخی است که مقدار هر پنج تابع هدف در آن یک مقدار میانی دارد. لازم به ذکر است که این تنها یک نمونه از جواب‌های نسبتاً متعادل می‌باشد.

همان‌طور که در جدول ۸ ملاحظه می‌شود بیشترین تعداد تغییر را برای بیشینه‌ی دسترسی‌پذیری پیشنهاد شده است. در حقیقت برای رسیدن به بیشینه‌ی این تابع هدف تغییرات بیشتری در چینش وضعیت موجود لازم است. همچنین کمترین تغییرات در رسیدن به چینش باحالت

توابع هدف را با استفاده از روش NSGA-II نشان می‌دهد.



ارضای شدید یک تابع هدف خاص مد نظر نیست [۱].
شکل ۱۶ زیر جبهه‌های جواب بهینه‌ی سه‌بعدی متناظر با



شکل ۱۶- تصویر فضای جواب پنج بعدی جبهه‌ی جواب بهینه‌ی به دست آمده از الگوریتم NSGA-II بر فضاهای سه بعدی

۴-۱- تست‌های رایج الگوریتم‌های بهینه‌سازی فرا ابتکاری

از آنجایی که در الگوریتم‌هایی که بر اساس احتمال عمل می‌کنند جمعیت اولیه به‌صورت تصادفی انتخاب می‌شود، ممکن است نتایج با اجراهای مختلف متفاوت باشد، بنابراین لازم است تست‌هایی بر روی این الگوریتم‌ها انجام شود تا تغییرات در نتایج ملاحظه شده و ثبات الگوریتم بررسی شود [۳، ۶]. مهم‌ترین این تست‌ها تست تکرار پذیری و تست همگرایی الگوریتم اشاره کرد [۳، ۱۴، ۱۹].

۴-۱-۱- تست تکرارپذیری^۱ الگوریتم

برای انجام تست تکرارپذیری، الگوریتم با جمعیت اولیه و تعداد تکرار یکسان چندین بار اجرا می‌شود. در صورتی که پارامترهایی اجرایی الگوریتم به‌خوبی تعریف و تنظیم شده باشند، بایستی الگوریتم در اجراهای مختلف جواب‌های یکسان تولید کند. البته لازم نیست جواب‌های به دست آمده ۱۰۰ درصد یکسان باشند بلکه در صورتی که حدود ۷۰ درصد جواب‌ها مشابه باشند الگوریتم تکرار

به‌منظور بررسی بیشتر نتایج حاصل از الگوریتم با وضعیت موجود، در جدول ۹ پیشینه‌ی مقادیر به دست آمده برای هر یک از سه تابع هدف اول و کمینه‌ی توابع هدف چهارم و پنجم (پس از اجرای NSGA-II در ۲۰۰ تکرار و با جمعیت اولیه‌ی ۵۰) با وضعیت موجود مورد مقایسه قرار گرفته است.

جدول ۹ مقایسه‌ی نتایج حاصل از بهینه‌سازی توابع هدف با الگوریتم NSGA-II و وضعیت موجود

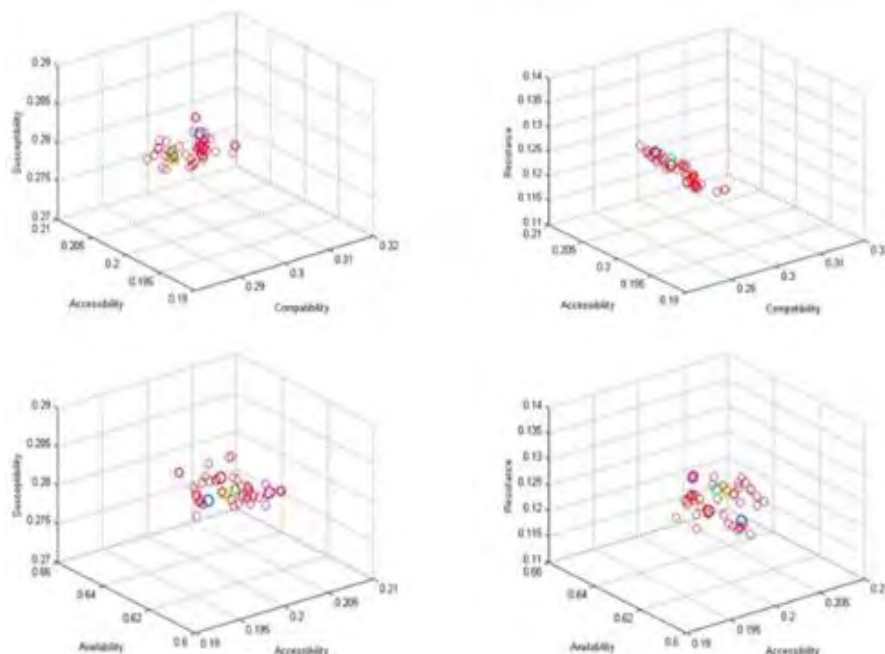
مقدار توابع هدف	مقدار توابع هدف در وضعیت موجود	مقدار پیشینه‌ی سه تابع هدف اول و کمینه‌ی توابع چهارم و پنجم پس از بهینه‌سازی با NSGA-II	درصد بهبود مقدار توابع هدف
سازگاری	۰.۳۴۲۷	۰.۳۰۷۴	۳۱
دسترسی	۰.۱۵۱۳	۰.۲۰۶۹	۲۷
دسترسی پذیری	۰.۵۳۳۸	۰.۶۴۰۸	۱۷
خطرپذیری	۰.۳۴۴۷	۰.۲۷۱۷	۱۹
تغییر کاربری	۰.۱۲۶۸	۰.۱۱۴۳	۱۰

همان‌طور که در جدول ۹ دیده می‌شود، مقادیر توابع هدف در هر پنج تابع هدف مسئله پس از بهینه‌سازی توسط الگوریتم بهبود داده شده‌اند. همچنین تابع هدف دسترسی بیشتر از همه تحت تأثیر بهینه‌سازی اصلاح شده است. میانگین درصد بهبود توابع هدف در NSGA-II نیز ۱۹ درصد بوده است.

^۱ repeatability

پذیری قابل قبولی خواهد داشت[۱]. در این تحقیق الگوریتم NSGA-II به تعداد دفعات ۵ بار و با جمعیت اولیه ۵۰ و تعداد تکرار ۲۰۰ از این منظر، مورد آزمایش قرار گرفته است. شکل ۴-۱۸ نشان دهنده ی جبهه ی جواب بهینه ی حاصل از ۵ بار اجرای الگوریتم با شرایط ذکر شده می باشد. لازم به ذکر است به منظور سهولت

مقایسه ، جواب ها برای سه تابع هدف دوم و سوم و چهارم در سه بعد نمایش داده شده اند. همان طور که در این شکل دیده می شود، تغییرات جبهه ی جواب در اجراهای متفاوت، تفاوت معنی داری با یکدیگر ندارند. درصد متوسط همپوشانی الگوریتم ۷۶ درصد است که مقدار مناسبی بوده و دلالت بر تکرارپذیری مناسب الگوریتم دارد.



شکل ۱۷- نتایج حاصل از اجرای الگوریتم NSGA-II به تعداد ۵ بار با جمعیت اولیه ۵۰ و تعداد تکرار ۲۰۰ به منظور تست تکرارپذیری الگوریتم

۴-۱-۲- تست همگرایی^۱ الگوریتم

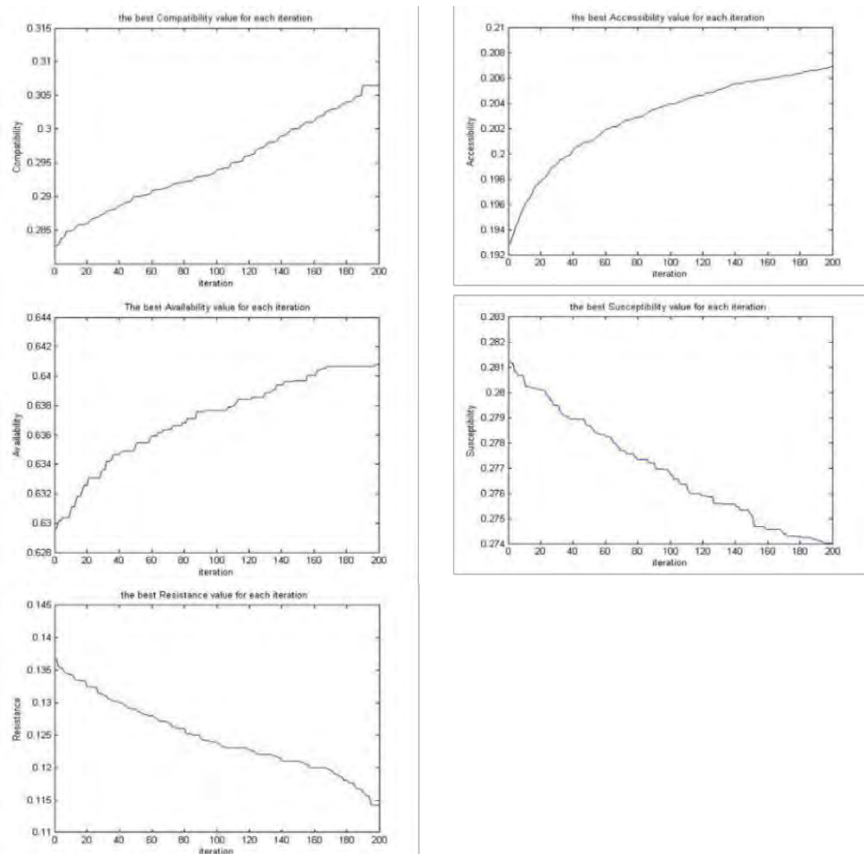
همگرایی الگوریتم می تواند از جنبه های مختلف مورد بررسی قرار گیرد مهم ترین عاملی که نشان دهنده ی همگرایی الگوریتم است ثابت ماندن مقادیر توابع هدف پس از تعداد تکرار مشخص است[۱]. در حقیقت پس از اینکه الگوریتم همگرا می شود، تغییر معنی داری در مقادیر توابع هدف صورت نمی گیرد[۱۵]. در مورد تست همگرایی الگوریتم به کاررفته در این تحقیق، تغییر بیشینه ی مقادیر سه تابع هدف اول و کمینه ی توابع چهارم و پنجم در هر نسل و در ۲۰۰ تکرار مورد بررسی قرار گرفته است. شکل ۱۸ تغییر این مقادیر در هریک از پنج تابع هدف را در تکرارهای مختلف تا ۲۰۰ تکرار را در الگوریتم نشان می دهد.

۴-۲- نتایج حاصل از خوشه بندی^۲ با الگوریتم K-means

یکی از اهداف مهم خوشه بندی K-means در این تحقیق حمایت از تصمیم گیری در حالات مختلف توابع هدف با توجه به تعداد جواب ها در جبهه ی جواب بهینه است[۱] به همین منظور جدول ۱۰ برای نمایندگان خوشه ها تولید شده است که در برگیرنده ی مقادیر توابع هدف در نقاط و تعداد پیشنهاد الگوریتم در تغییر کاربری است.

^۲ Clustering

^۱ Convergence



شکل ۱۸- نتایج حاصل از اجرای الگوریتم NSGA-II به تعداد ۵ بار با جمعیت اولیه ۵۰ و تعداد تکرار ۲۰۰ به منظور تست تکرارپذیری الگوریتم



شکل ۱۹- چینش بهینه‌ی متناظر با جواب سوم در جدول ۱۰ به دست آمده از الگوریتم NSGA-II

جدول ۱۰- مشخصات نمایندگان خوشه‌های جبهه جواب بهینه‌ی به دست آمده از الگوریتم NSGA-II با استفاده از روش K-means جمعیت اولیه ۵۰ و تعداد تکرار ۲۰۰

شماره جواب مقدار تابع هدف	۱	۲	۳	۴	۵
مقدار تابع هدف سازگاری	۰.۲۹۷۲	۰.۲۸۳۸	۰.۲۸۵۵	۰.۲۹۰۶	۰.۳۰۳۷
مقدار تابع هدف دسترسی	۰.۲۰۰۳	۰.۱۹۷۰	۰.۱۹۵۰	۰.۱۹۳۵	۰.۱۹۱۴
مقدار تابع هدف دسترسی	۰.۶۳۹۱	۰.۶۳۳۰	۰.۶۳۴۲	۰.۶۱۷۵	۰.۶۱۳۸
مقدار تابع هدف خطرپذیری	۰.۲۸۳۴	۰.۲۸۱۵	۰.۲۷۸۰	۰.۲۸۱۰	۰.۲۷۷۶
مقدار تابع هدف تغییر کاربری	۰.۱۳۷۱	۰.۱۳۳۳	۰.۱۳۱۴	۰.۱۱۷۲	۰.۱۱۵۸
تعداد تغییرات تابع پیشنهادی	۴۹۶۲	۳۸۷۲	۱۶۵۹	۲۳۵۸	۳۸۰۹

همان‌طور که در جدول ۱۰ دیده می‌شود، تصمیم‌گیرنده با توجه به مقادیر ارائه شده قادر به مقایسه و انتخاب گزینه‌ها می‌باشد. همچنین می‌تواند چینش بهینه‌ی متناظر با هر یک از حالات فوق‌الذکر را ملاحظه نماید. به‌عنوان مثال شکل ۱۹ چینش بهینه‌ی متناظر با حالت سوم (جواب میانی) به دست آمده از الگوریتم NSGA-II را نشان می‌دهد که این چینش علاوه بر بهبود قابل توجه توابع هدف و تغییرات کمتر ارائه شده توسط الگوریتم و نزدیک‌تر بودن به وضعیت موجود به‌عنوان چینش بهینه برگزیده شد.

۵- نتیجه گیری و پیشنهاد

در این تحقیق هدف اصلی بهینه سازی تخصیص کاربری های شهری به منظور کاهش آسیب پذیری ناشی از زلزله بر اساس اهداف تعریف شده با استفاده از الگوریتم بهینه سازی NSGA-II ارائه شد. در حقیقت هدف پیشنهاد رسیدن به یک چینش بهینه کاربری ها بوده است که با توجه به اهداف در نظر گرفته شده در الگوریتم بهینه سازی چندهدفه NSGA-II میسر شده است. برای نیل به هدف مذکور در ابتدا اهداف مؤثر بر چینش بهینه کاربری ها و دخیل در میزان تاب آوری در مقابل زلزله در سطح شهر استخراج شده است. طبق بررسی های انجام شده، هدف ها شامل سازگاری کاربری ها، دسترسی کاربری ها، دسترس پذیری، خطرپذیری کاربری ها در برابر خطر زلزله و کمینه کردن تغییر کاربری ها بوده اند. در تحقیق حاضر چینش بهینه کاربری های شهری به دست آمد. نتایج حاصل از این مدل سازی را می توان در موارد ذیل خلاصه نمود:

- با توجه به اینکه مدل خلاصه ای از دنیای واقعی می باشد معمولاً با توجه به نوع مسئله ی مورد مطالعه روی برخی از جنبه ها تأکید بیشتری شده، برخی دیگر با اهمیت کمتری وارد مدل می شوند و از برخی موارد چشم پوشی می شود. در این تحقیق نیز، برخی از جنبه ها مانند تأثیرات فاکتورهای اجتماعی و اقتصادی بر روی میزان تاب آموری در مقابل آسیب پذیری زلزله در قالب اهداف و الزامات کیفی وارد مدل شده است.
 - یکی از مهم ترین عوامل در ارائه نتایج دقیق و قوی در مدل استفاده از روش مناسب بهینه سازی و مطابق با مسئله است. انتخاب روش مناسب سبب می شود سازگار سازی مسئله با الگوریتم علاوه بر سهولت، نتایج بهتری نیز داشته باشد. به عنوان مثال استفاده از روش های پیوسته برای مسائل پیوسته و استفاده از روش های گسسته برای مسائل گسسته آسان تر است و وابسته به نوع مسئله می تواند نتایج بهتری نیز داشته باشد. به همین علت در این تحقیق الگوریتم NSGA-II استفاده شده است که ذاتاً الگوریتم گسسته ای است و همچنین اجرای این الگوریتم مدت زمان کمتری طول می کشد.
 - در برخی از موارد مانند تعریف تابع هدف خطرپذیری، نقشه ی معیار از تلفیق نقشه های زیر معیار دیگری حاصل شده اند. با توجه به تعدد فاکتورهای وارد شده
- در مدل سازی، جمع آوری و ساختاردهی دانش کارشناسی امری بسیار مهم و درعین حال مشکل و زمان بر است. در این تحقیق، زیر فاکتورها و وزن عوامل بر اساس روش های مبتنی بر دانش کارشناسی مانند AHP و روش دلفی تعیین گردیده است.
- استفاده از الگوریتم NSGA-II در این تحقیق نشان داد این الگوریتم با قابلیت و انعطاف پذیری بالای خود در تعریف سناریوهای مختلف تخصیص بهینه کاربری ها قادر است در حد قابل قبولی مسئله ی تخصیص بهینه ی کاربری ها باهدف کاهش آسیب پذیری ناشی از زلزله را که یک مسئله ی پیچیده مکانی است را حل نماید.
 - از مزیت هایی که NSGA-II نسبت به روش های مسائل تک هدفه مثل مجموع وزن دار دارد این است علاوه بر حل مسئله به صورت چندهدفه قابلیت ارائه سناریوهای مختلف و قابلیت نمایش جبهه ی جواب و تحلیل این جبهه را داراست ولی تصمیم گیر نیاز به دانش بیشتری برای انتخاب از بین گزینه های ارائه شده دارد.
 - الگوریتم NSGA-II از نظر همگرایی جواب ها و تست تکرارپذیری نتایج در سطح قابل قبولی قرار دارد.
 - الگوی توزیع مکانی کاربری های شهری نقش تعیین کننده ای در افزایش آسیب پذیری زلزله ایفا می کند که این میزان نقش آفرینی در افزایش آسیب پذیری زلزله با محاسبه و مقایسه مقادیر توابع هدف پنج گانه وضعیت موجود و نتایج بهبودیافته حاصل از بهینه سازی توابع هدف با استفاده از الگوریتم NSGA-II محاسبه و ارزیابی شد.
 - الگوریتم NSGA-II به علت سازگاری بالای آن با نوع مسئله که یک مسئله گسسته است دارای کیفیت و نظم خوبی در جواب ها می باشد.
 - مدل ارائه شده در این تحقیق قابلیت خوشه بندی جواب های جبهه ی بهینه ی الگوریتم و ارائه ی نتایج متناظر با خواسته ی تصمیم گیرندگان را دارد بنابراین تصمیم گیرندگان با مشخص کردن اولویت های تصمیم گیری قادر به ملاحظه ی نتایج متناظر هستند.
 - روش K-means سرعت مناسب و نتایج خوبی برای نقاط جواب نزدیک به هم و جبهه ی جواب فشرده مانند آنچه در این تحقیق دیدیم دارد در این الگوریتم مراکز خوشه ها به صورت مجازی به دست آمده و به نزدیک ترین نقطه موجود نسبت داده می شود.

روش‌های بهینه‌سازی در مدل‌سازی استفاده کرد و نتایج را مورد بررسی قرارداد.

- در این تحقیق مسائل اجتماعی و اقتصادی دخیل در میزان تاب آوری در برابر زلزله به صورت مستتر در سایر توابع هدف مدل شده‌اند، در صورتی که این عوامل به صورت کامل‌تری بررسی شده و وارد مدل شوند چینش‌های بهینه‌ی به دست آمده دارای دقت بالاتری خواهد بود.

- در این تحقیق تصمیم گیر قادر خواهد بود دسته‌بندی نتایج حاصله با استفاده از آنالیز خوشه‌بندی Kmeans را بررسی و نقشه متناظر با هر یک از خوشه‌ها را ملاحظه نماید.
- در ادامه به پیشنهادهایی پرداخته می‌شود که در آینده می‌تواند موجب بهبود این مدل و مدل‌های مشابه در این زمینه باشد.
- با توجه به خصوصیات و قابلیت‌های مختلف روش‌های بهینه‌سازی جالب خواهد بود اگر بتوان از سایر

مراجع

- [1] Masoomi, Z., (2014). Modeling of the Physical effects of urban land use changes using optimization algorithms and spatial analysis. PhD Thesis. Faculty of Geodesy and Geomatics. K. N. Toosi University of Technology. Tehran. Iran.
- [2] Deb, K., et al., (2002). A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 6 (2), 181-197.
- [3] Masoomi, Z., M.S. Mesgari, and M. Hamrah., (2012). Allocation of urban land uses by Multi-Objective Particle Swarm Optimization algorithm. International Journal of Geographical Information Science: p. 1-25.
- [4] Motamed, H., Ghafory-Ashtiany, M., Amini-Hosseini, K., (2012). An Earthquake Risk-Sensitive Model for Spatial Land-Use Allocation, In Conference Proceedings, 15th World Conference on Earthquake Engineering, Lisbon, Portugal.
- [5] Beheshtifar, S., (2014). Design and implement of a simultaneous location-allocation model of different service centers using evolutionary algorithms. PhD Thesis. Faculty of Geodesy and Geomatics. K. N. Toosi University of Technology. Tehran. Iran.
- [6] Coello Coello, C.A., Lamount, G.B., and Veldhuizen, D.A., (2007). Evolutionary algorithms for solving multi-objective problems. 2nd ed. New York: Springer
- [7] Shaygan, M., Alimohammadi A. et al., (2013). Multi-Objective Optimization Approach for Land Use Allocation Using Nsga-II, Iranian Journal of Remote Sensing and GIS.
- [8] Rajabi M.R, Mansourian A, Alimohamadi A, Taleai M., (2010). Introducing Interoperable Geospatial Services to Present and Process Sensor Observation (Case Study: Tehran Air Quality Sensors) (Text in Persian). Iranian Journal of Remote Sensing & GIS, Issue 3
- [9] Cao, K., Batty, M., Huang, B., Liu, Y., Yu, L., & Chen, J., (2011). Spatial MultiObjective Landuse Optimization: Extensions to the Non-dominated Sorting Genetic Algorithm-II", International Journal of Geographic Information Science, No. 25, 12, 1949-1969.
- [10] Taleai, M. (2007). GIS-based planning support system for urban land use externalities evaluation, PhD Thesis. Faculty of Geodesy and Geomatics. K. N. Toosi University of Technology. Tehran. Iran.
- [11] Bui, L. T., & Alam, S., (2008). Multi-objective Optimization in computational intelligence, Theory and Practice. New York: Information Science Reference.
- [12] Cao, K., Batty, M., Huang, B., Liu, Y., Yu, L., & Chen, J., (2011). Spatial MultiObjective Landuse Optimization: Extensions to the Non-dominated Sorting Genetic Algorithm-II", International Journal of Geographic Information Science, No. 25, 12, 1949-1969.
- [13] Coello Coello, C.A. and Lamont, G.B., eds., (2004). Application of Multi-Objective Evolutionary algorithms. Singapore: World Scientific Publishing Co.
- [14] Coello Coello, C.A., Pulido, G. T., & Lechuga, M. S., (2004). Handling Multiple Objectives With Particle Swarm Optimization. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 8(3), 256-270.
- [15] Deb, K., (2001). Multi-Objective Optimization Using Evolutionary Algorithm. New York: John Wiley and Sons.

- [16] Deb, K., Agrawal, S., Pratap, A., Agarwal, S., Meyarivan, T., (2001), A Fast and Elitist Multiobjective Genetic Algorithm: NSGA-II, IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 6, 2,182-197.
- [17] Deb K., (2002), Multi Objective Optimization Using Evolutionary Algorithm, Wiley, New York.
- [18] Jin, Y., (2006). Multi-Objective machine learning. Netherland: Springer.
- [19] Saadatseresht, M., Mansourian, A., and Taleai, M., (2009). Evacuation planning using multiobjective evolutionary optimization approach. European Journal of Operational Research, 198(1), 291–310.
- [20] Xiao, N., Bennett, D.A., & Armstrong, M.P., (2002). Using Evolutionary Algorithms to Generate Alternatives for Multiobjective Site Search Problems, Environment and Planning A, 34(4), pp. 639–656.
- [21] Zitzler, E., Thiele, L., (1998). Multiobjective Optimization Using Evolutionary Algorithms- A Comparative Case Study, In: Parallel Problem Solving From Nature, Eiben, A.E., Bäck, T., Schoenauer, M., Schwefel, H.P. (Eds.), Springer-Verlag, Berlin, Germany, 292–301.