

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 ارشدسنجش از دور و GIS - گروه سنجش از دور و سیستم های اطلاعات مکانی - دانشگاه
تربیت مدرس

yaghob.delaviz@yahoo.com

^۲استادیار گروه سنجش از دور و سیستم های اطلاعات مکانی-دانشگاه تربیت مدرس
jl.karami@modares.ac.ir

^۳دکتری 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 سناریو ها و خوشه بندی سناریو ها 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 دهه‌های اخیر، افزایش تراکم جمعیت و سرمایه‌گذاری بیشتر در شهرها باعث افزایش آسیب‌پذیری انسان در برابر مخاطرات محیطی و بخصوص زلزله شده است. انجام مطالعات و تحقیقات انجام شده در زمینه ساختمان‌ها و مقاوم سازی‌ها، لازم ولی کافی نیست و با توجه به پیچیدگی و تعدد عوامل موجود در تخصیص کاربری اراضی، مدل‌سازی آن‌ها نیازمند نگاه جامع می‌باشد [۴]. بنابراین مسئله تخصیص کاربری، یک مسئله چندهدفه^۱ خواهد بود. روش‌های بسیاری برای حل مسائل چندهدفه وجود دارد که به روش‌های کلاسیک (که روش‌های تجزیه^۲ نیز نامیده می‌شوند) و الگوریتم‌های تکاملی^۳ تقسیم می‌شوند. روش‌های کلاسیک که اغلب مسئله چند هدفه را به یک مسئله یک هدفه تقلیل می‌دهند، به دلیل دستیابی به تنها یک جواب بهینه پارتو^۴ در هر مرحله شبیه‌سازی، عدم یافتن همه جواب‌های بهینه در بهینه‌یابی چندهدفه نامحدوب و نیاز به اطلاعاتی راجع به مسئله مانند وزن‌های مناسب و سطوح آرمان، نقاط ضعف دارند. برای غلبه به این موضوع، محققان غالباً به روش‌های تکاملی متوسل می‌شوند که کارایی بالایی دارند. خروجی الگوریتم تکاملی، جمعیتی از راه‌حل‌ها است. قابلیت پیدا کردن چندین راه حل بهینه در یک اجرا، الگوریتم‌های تکاملی را برای حل مسائل بهینه‌سازی چندهدفه مناسب می‌سازد. از بین الگوریتم‌های تکاملی، الگوریتم ژنتیک^۵ غالباً برای حل مسائل کاربری زمین به کار رفته است. الگوریتم‌های ژنتیک در کنار سیستم اطلاعات مکانی یک ترکیب بالقوه قوی برای حل مسائل بهینه‌سازی ترکیبی بزرگ مقیاس و مکانی ارائه می‌کنند. الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب^۶ یکی از پرکاربردترین و قدرتمندترین الگوریتم‌های موجود برای حل مسائل بهینه‌سازی چند هدفه است که نخستین بار دب^۷ و همکاران (۲۰۰۲) آن را پیشنهاد دادند [۲]. مزایای عمده این روش سرعت بالا، وجود نخبه‌گرایی، عدم نیاز به جمعیت خارجی و سهولت

نسبی پیاده‌سازی است [۲،۵]. 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 ارائه‌ی مدلی نو و ابتکاری، راه حلی مؤثر برای به‌کارگیری الگوریتم NSGA-II در انواع مسائل مکان محور، به‌گونه‌ای که امکان تحلیل‌های مکانی نیز وجود داشته باشد، ارائه شده است [۸]. معصومی (۱۳۹۲) با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی چندهدفه NSGA-II، MOEA/D و MOPSO و آنالیزهای مکانی، به مدل‌سازی اثرات کالبدی تغییر کاربری‌های شهری پرداختند [۱]. کارایی الگوریتم NSGA-II در حل مسائل جستجو و بهینه‌یابی دنیای واقعی به اثبات رسیده است، با این وجود از این الگوریتم برای حل مسائل بهینه‌سازی باهدف کاهش آسیب‌پذیری ناشی از زلزله در شهرها استفاده نشده است.

۲- بهینه‌سازی

بهینه‌سازی به معنی یافتن بهترین راه حل ممکن برای یک مسئله با در نظر گرفتن مجموعه‌ای از شرایط و محدودیت‌هاست. در چنین مسائلی لازم است مقادیر توابع هدف بیشینه یا کمینه گردند. در مسائل چندهدفه برخلاف مسائل تک‌هدفه 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 مسئله‌ی 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 می‌باشد. بنابراین فضا دیگر یک فضای ترتیب پذیر نیست. زیرا اپراتورهای مقایسه‌ای مانند کوچک‌تر ($<$) یا بزرگ‌تر ($>$) در این فضا به‌صورت کامل نمی‌توانند 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

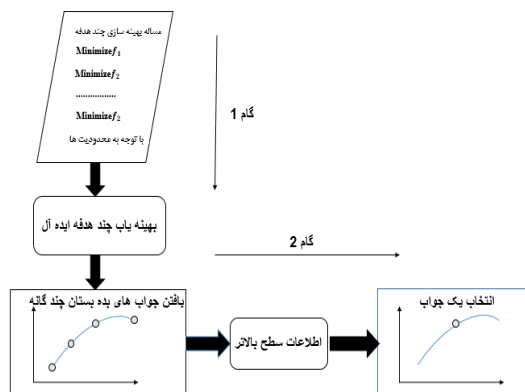
^۵ Genetic Algorithm(GA)

^۶ Non-dominated Sorting Genetic Algorithm-II

^۷ Deb

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

- ۱: چندین جواب بهینه‌ی بده بستان، با دامنه‌ی 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 تصمیم‌گیر 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 در واقع، تعیین مجموعه جواب مؤثر است. [1]

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

۱- جواب x_1 در هیچ‌یک 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

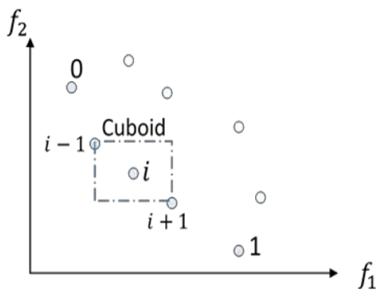
$$f_j(x_1) > f_j(x_2) \text{ For at least one } j \in \{1, 2, \dots, M\} \quad (3)$$

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

مقدار تابع هدف اول در جبهه، f_1^{min} کم ترین مقدار تابع هدف اول در همان جبهه d_i^1 فاصله ازدحام جواب نام در تابع هدف اول، و d_i^2 فاصله ازدحام جواب نام در تابع هدف دوم، d_i فاصله ازدحام جواب نام



شکل ۳- فاصله ازدحامی پاسخ نام در NSGA-II [۱۷]

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

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

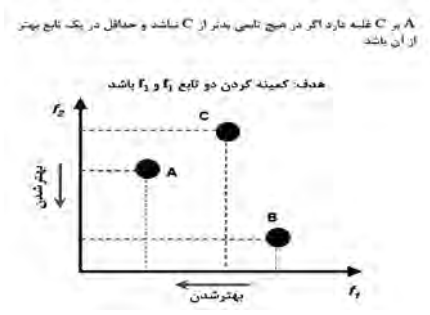
$$d_i = \sum_{j=1}^m d_i^j \quad (8)$$

f_j^{i+1} مقدار تابع هدف نام در جواب $i + 1$ ، f_j^{i-1} مقدار تابع هدف نام در جواب $i - 1$ ، f_j^{max} بیشترین مقدار تابع در هدف نام، f_j^{min} کم ترین مقدار تابع در هدف نام، d_i^j فاصله ازدحامی جواب نام در هدف نام، d_i فاصله ازدحامی جواب نام 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 شرطهای غلبه کردن مرتب سازی می شود. پس از مرتب سازی پاسخها بر اساس غلبه، باید آنها را بر اساس فاصله ازدحامی مرتب کرد که موجب ایجاد نظم بیشتر در بین پاسخهای 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 جمعیتها 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

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' آنهایی 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 روشها 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 الگوریتمها و تخمین دانسیته ی نقاط حول جوابها استفاده می نماید [۱]. لازم به ذکر است از فاکتور فاصله ی ازدحامی برای انتخاب بهتر جوابها 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 نام توسط رابطه زیر محاسبه می شود: [۵]

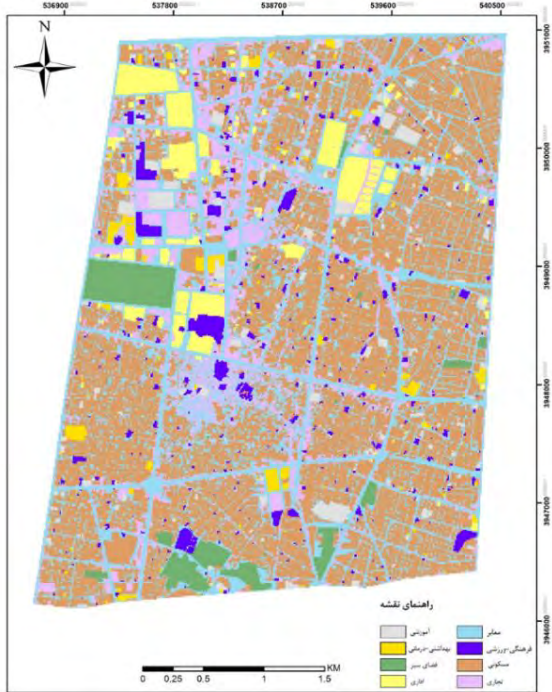
$$d_i^1 = \frac{|f_1^{i+1} - f_1^{i-1}|}{f_1^{max} - f_1^{min}} \quad (4)$$

$$d_i^2 = \frac{|f_2^{i+1} - f_2^{i-1}|}{f_2^{max} - f_2^{min}} \quad (5)$$

$$d_i = d_i^1 + d_i^2 \quad (6)$$

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

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

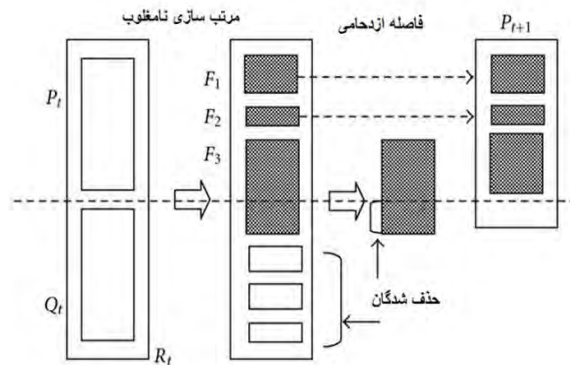
۳-۲- تعیین توابع هدف الگوریتم NSGA-II

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

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

سطح	سازگاری	کاملا سازگار	نسبتا سازگار	خنثی	نسبتا سازگار	کاملا سازگار	میانگین هندسی استاندارد	مقدار
کاملا سازگار	۱	۲	۳	۵	۷	۹	۲.۹۱۳۷	۰.۴۳
نسبتا سازگار	۰.۵	۱	۲	۴	۶	۸	۱.۸۸۸۲	۰.۲۸
خنثی	۰.۳۳	۰.۵	۱	۳	۵	۷	۱.۲۰۱۱	۰.۱۷
نسبتا ناسازگار	۰.۲	۰.۲۵	۰.۳۳	۱	۳	۵	۰.۵۴۹۲	۰.۰۸
کاملا ناسازگار	۰.۱۴	۰.۱۷	۰.۲	۰.۳۳	۱	۳	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_j تعداد همسایه های پیکسل در نظر گرفته شده می باشند. تابع هدف سازگاری طبق رابطه ی ۱۰ تعریف می شود:

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

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

۳-۲-۲-۲-۳- بیشینه 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

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 [۱۰، ۳]. 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
اداری	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC
فضای سبز	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC
بهداشتی-درمانی	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC
آموزشی	N	MC	MC	MC	MC	MC	MC
تجاری	N	N	MI	N	MC	MC	MC
مسکونی	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC
فرهنگی-ورزشی	N	MC	MC	MC	MC	MC	MC
شبکه حمل و نقل	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
کاملا سازگار (HC) به نسبتا سازگار (MC)	مهم تر از = ۱
نسبتا سازگار (MC) به سازگاری خنثی (N)	مهم تر از = ۱
خنثی (N) به نسبتا ناسازگار (MI)	خیلی مهم تر از = ۲
نسبتا ناسازگار (MI) به کاملا 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.

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 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:

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

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

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

در این رابطه x_{ij} نشان دهنده ی مقدار دسترس پذیری برای پیکسل مورد نظر با توجه به مقدار دسترس پذیری پیکسل های همسایه، l, j, k 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:

$$F_3 = Maximize\left(\frac{1}{nm} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (x_{ij})\right) \quad (13)$$

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.

۲ Availability بین کاربری ها

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

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

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

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

۱ Accessibility کاربری ها

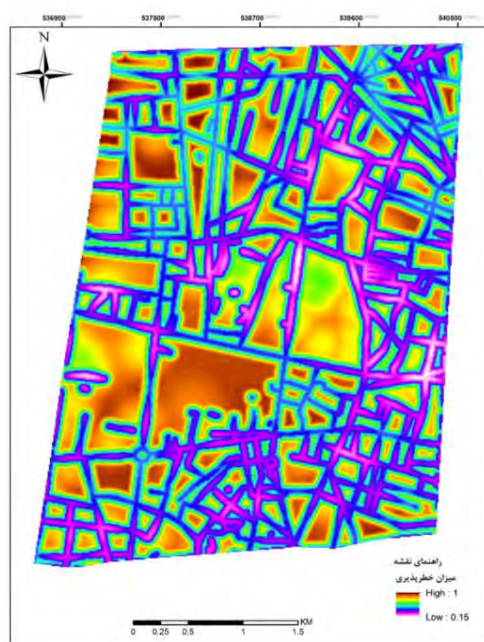
۳-۲-۴- کمیته کردن خطرپذیری در برابر خطر زلزله

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 گل	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 گل	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 (۰.۰۰۴۹) کمتر از ۰/۱ می باشد سازگاری در قضاوتها موردقبول 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

کاربری	شبکه حمل و نقل	فرهنگی و ورزشی	مسکونی	تجاری	آموزشی	بهداشتی- درمانی	فضای سبز	اداری	کاربری
میزان حساسیت	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 سطر و ستون پیکسل مورد نظر، l, k نشان دهنده شعاع همسایگی ها در اطراف پیکسل مورد نظر، n_i, m_i نشان دهنده تعداد همسایه های پیکسل در نظر گرفته شده است. تابع هدف خطرپذیری طبق رابطه ی ۱۶ تعریف می شود:

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

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

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

پنج سطح دشواری در نظر گرفته شده ماتریس مقاومت در برابر تغییر کاربری عبارتند 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					
	$e_{1,1}$	$e_{1,2}$	$e_{1,3}$	$e_{1,4}$	$e_{1,5}$	$e_{1,6}$
	$e_{2,1}$	$e_{2,2}$	$e_{2,3}$	$e_{2,4}$	$e_{2,5}$	$e_{2,6}$
	$e_{3,1}$	$e_{3,2}$	$e_{3,3}$	$e_{3,4}$	$e_{3,5}$	$e_{3,6}$
	$e_{4,1}$	$e_{4,2}$	$e_{4,3}$	$e_{4,4}$	$e_{4,5}$	$e_{4,6}$
	$e_{5,1}$	$e_{5,2}$	$e_{5,3}$	$e_{5,4}$	$e_{5,5}$	$e_{5,6}$
	$e_{6,1}$	$e_{6,2}$	$e_{6,3}$	$e_{6,4}$	$e_{6,5}$	$e_{6,6}$
i						

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 کاملا مانند وزن‌های بدست آمده در جدول ۳ برای سازگاری است.

جدول ۷- ماتریس مقاومت در برابر تغییر کاربری

	اداری	فضای سبز	بهداشتی-درمانی	آموزشی	تجاری	مسکونی	فرهنگی-ورزشی	شبکه حمل و نقل
اداری	۰							
فضای سبز	M	۰						
بهداشتی-درمانی	E	M	۰					
آموزشی	E	M	E	۰				
تجاری	E	D	E	E	۰			
مسکونی	E	M	E	E	M	۰		
فرهنگی-ورزشی	D	E	D	M	D	D	۰	
شبکه حمل و نقل	VD	VD	VD	VD	VD	VD	VD	۰

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 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.



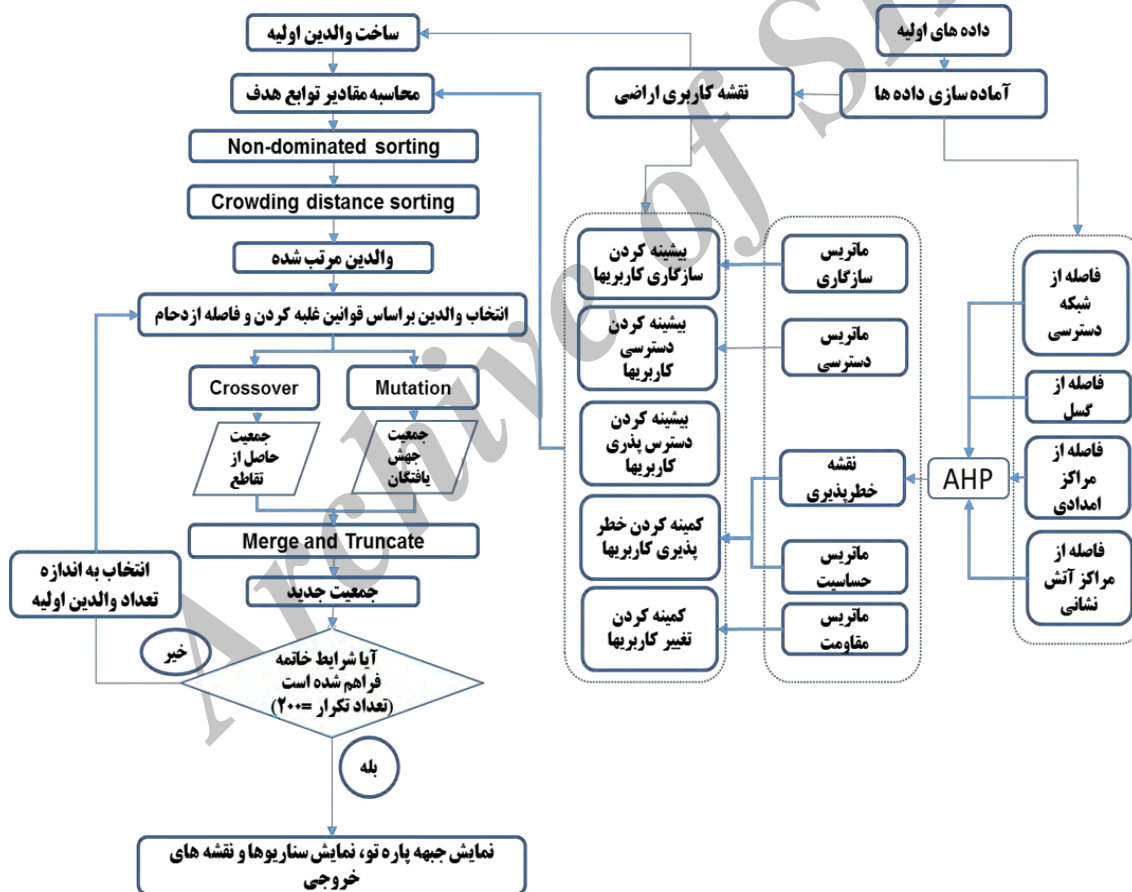
شکل ۹- جهش به صورت معاوضه دو بعدی

۳-۳-۴- تعداد جمعیت

بر اساس پیشینه تحقیقاتی تعداد جمعیت مناسب برای حل این‌گونه 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.

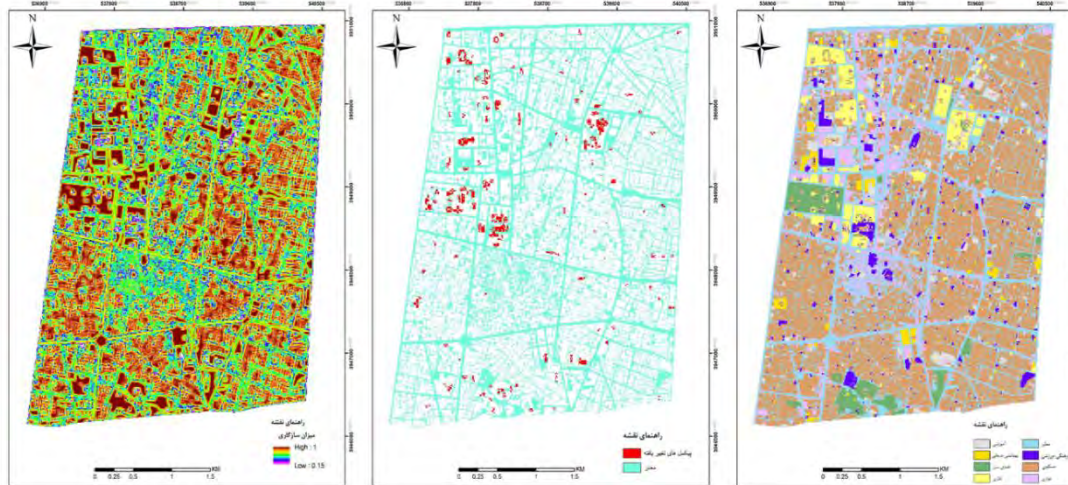


شکل ۱۰- فلوجارت کلی روش NSGA-II در تحقیق

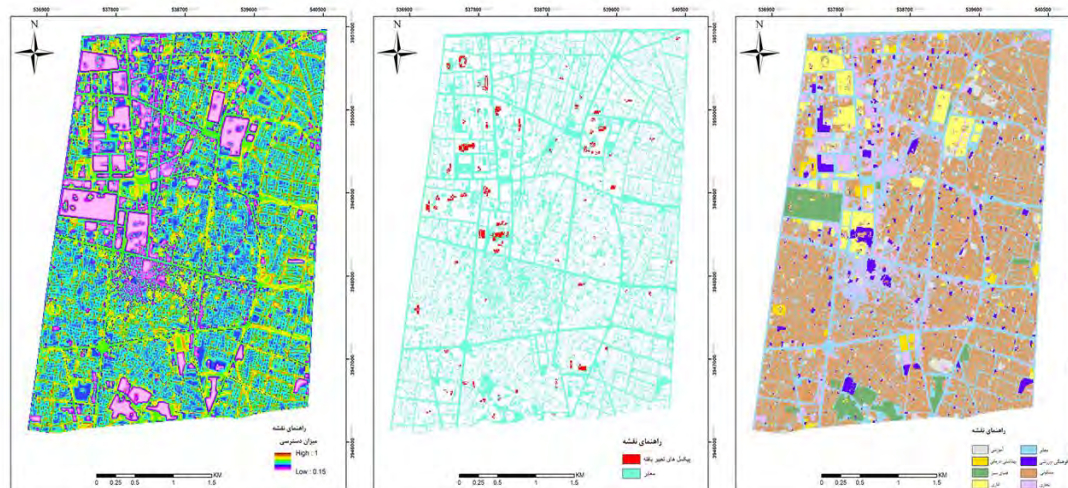
۴- نتایج حاصل از پیاده سازی مدل و ارزیابی آن‌ها

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.

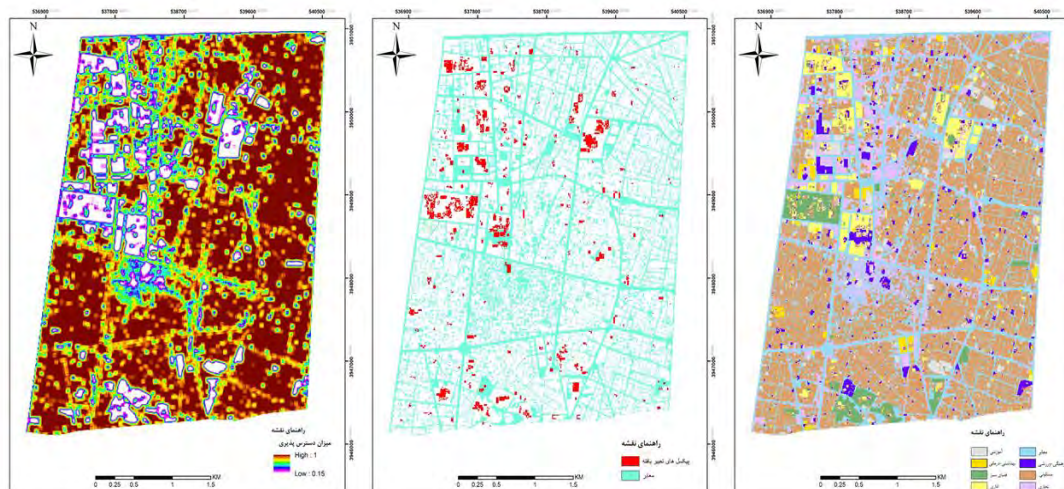
مدل در محیط نرم افزار Matlab پیاده سازی گردیده و اعمال مربوط به پردازش، رفع خطاها، تجزیه و تحلیل نتایج



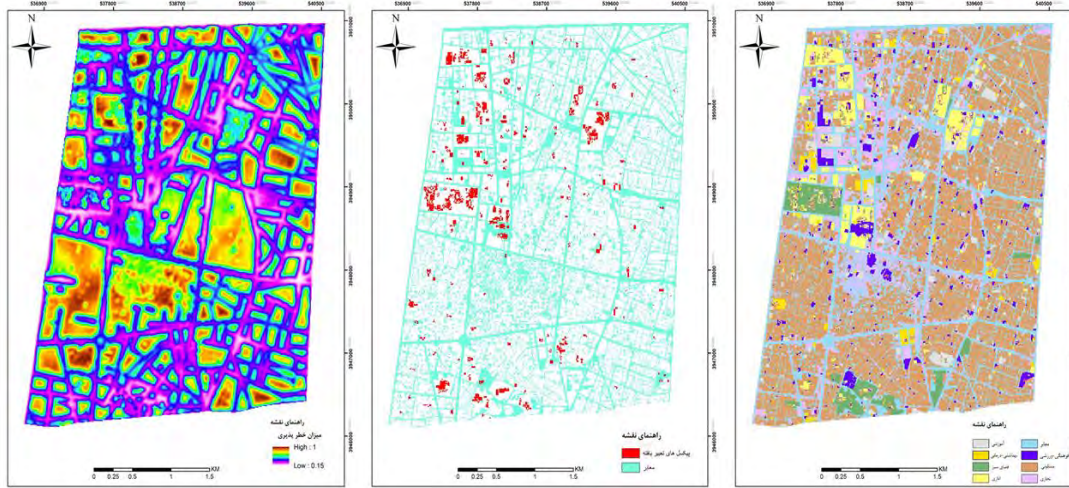
شکل ۱۱- نقشه‌های به دست آمده با استفاده از الگوریتم NSGA-II که دارای بیشینه سازگاری می‌باشد



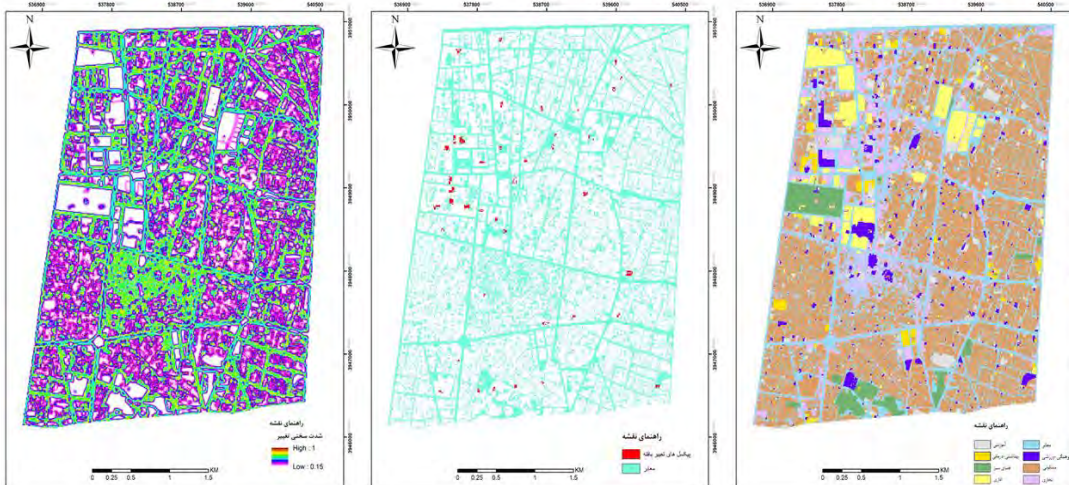
شکل ۱۲- نقشه‌های به دست آمده با استفاده از الگوریتم NSGA-II که دارای بیشینه دسترسی می‌باشد



شکل ۱۳- نقشه‌های به دست آمده با استفاده از الگوریتم NSGA-II که دارای بیشینه دسترس پذیری می‌باشد



نقشه خطرپذیری نقشه پیکسل های تغییر یافته چینش بهینه
 شکل ۱۴- نقشه های به دست آمده با استفاده از الگوریتم که دارای کمینه ی خطرپذیری می باشد



نقشه تغییر کاربری نقشه پیکسل های تغییر یافته چینش بهینه
 شکل ۱۵- نقشه های به دست آمده با استفاده از الگوریتم NSGA-II که دارای کمینه ی تغییر کاربری می باشد

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

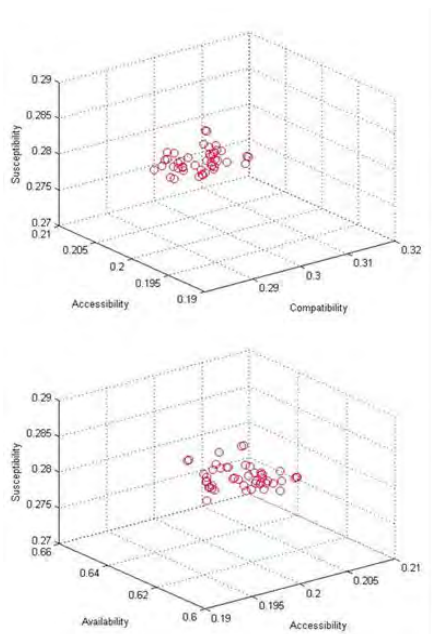
تعداد تغییرات کاربری پیشنهادی الگوریتم NSGA-II در کل منطقه	تعداد تغییرات	چینش
۳۶۰۶	بیشینه ی سازگاری	
۱۴۸۱	بیشینه ی دسترسی	
۴۸۶۲	بیشینه ی دسترسی پذیری	
۳۸۷۵	کمینه ی خطرپذیری	
۷۹۳	کمینه ی تغییر کاربری	
۵۸۰	حالت تعادلی توابع هدف	

تعادلی توابع هدف لازم است. این امر می تواند 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

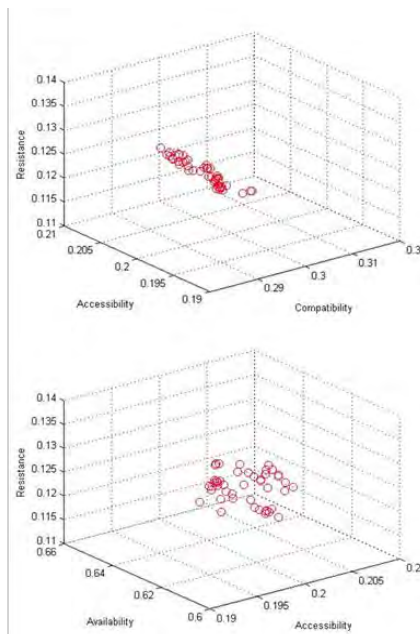
جدول ۸ تعداد تغییرات کاربری پیشنهادی الگوریتم NSGA-II در کل منطقه ی مطالعاتی تغییر داده شده برای حالت هایی که سه تابع هدف اول، بیشینه و توابع چهارم و پنجم کمینه هستند را نشان می دهد. سطری تحت عنوان "پاسخ با وزن یکسان توابع هدف" ایجاد شده است که نشان دهنده ی پاسخی است که مقدار هر پنج تابع هدف در آن یک مقدار میانی دارد. لازم به ذکر است که این تنها یک نمونه از جواب های نسبتاً متعادل می باشد.

همان طور که در جدول ۸ ملاحظه می شود بیشترین تعداد تغییر را برای بیشینه ی دسترسی پذیری پیشنهاد شده است. در حقیقت برای رسیدن به بیشینه ی 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 به صورت 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 تکرار پذیری الگوریتم

برای انجام تست تکرار پذیری، الگوریتم با جمعیت اولیه و تعداد تکرار یکسان چندین بار اجرا می‌شود. در صورتی که پارامترهایی اجرایی الگوریتم به خوبی 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

به منظور 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

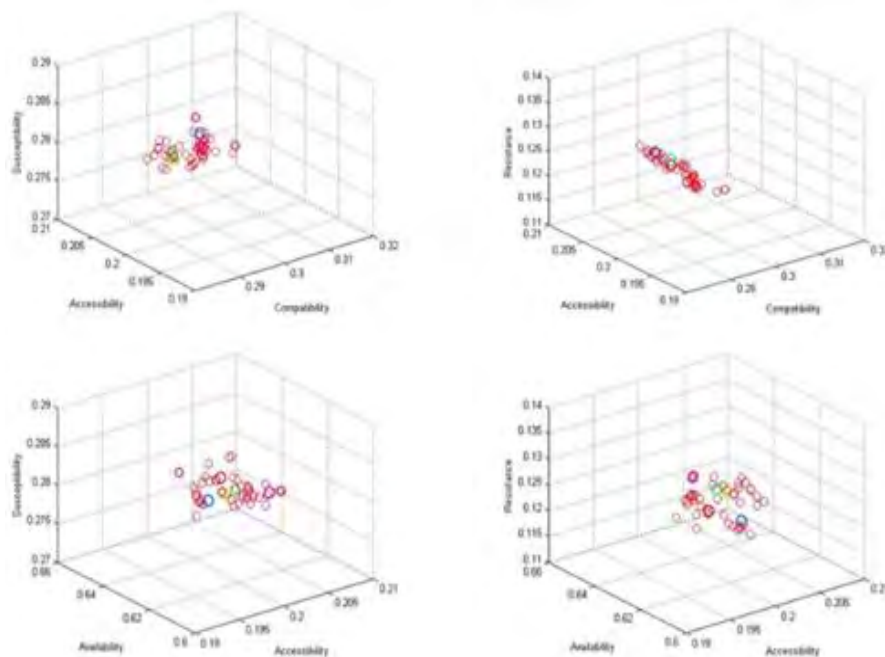
مقدار توابع هدف	مقدار توابع هدف در وضعیت موجود	مقدار پیشینه‌ی سه تابع هدف اول و کمینه‌ی توابع هدف چهارم و پنجم پس از بهینه‌سازی با NSGA-II	تفاوت درصد بهبود
سازگاری	۰.۲۴۲۷	۰.۳۰۷۴	۲۱
دسترسی	۰.۱۵۱۳	۰.۲۰۶۹	۲۷
دسترسی پذیری	۰.۵۳۲۸	۰.۶۴۰۸	۱۷
خطر پذیری	۰.۲۳۴۷	۰.۲۷۱۷	۱۹
تغییر کارایی	۰.۱۲۶۸	۰.۱۱۴۲	۱۰

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

مقایسه، جواب‌ها برای سه تابع هدف دوم و سوم و چهارم در سه بعد نمایش داده شده‌اند. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود، تغییرات جبهه‌ی جواب در اجزای متفاوت، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند. درصد متوسط همپوشانی الگوریتم ۷۶ درصد است که مقدار مناسبی بوده و دلالت بر تکرارپذیری مناسب الگوریتم دارد.

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 نشان‌دهنده‌ی جبهه‌ی جواب بهینه‌ی حاصل از ۵ بار اجرای الگوریتم با شرایط ذکر شده می‌باشد. لازم به ذکر است به‌منظور سهولت



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

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

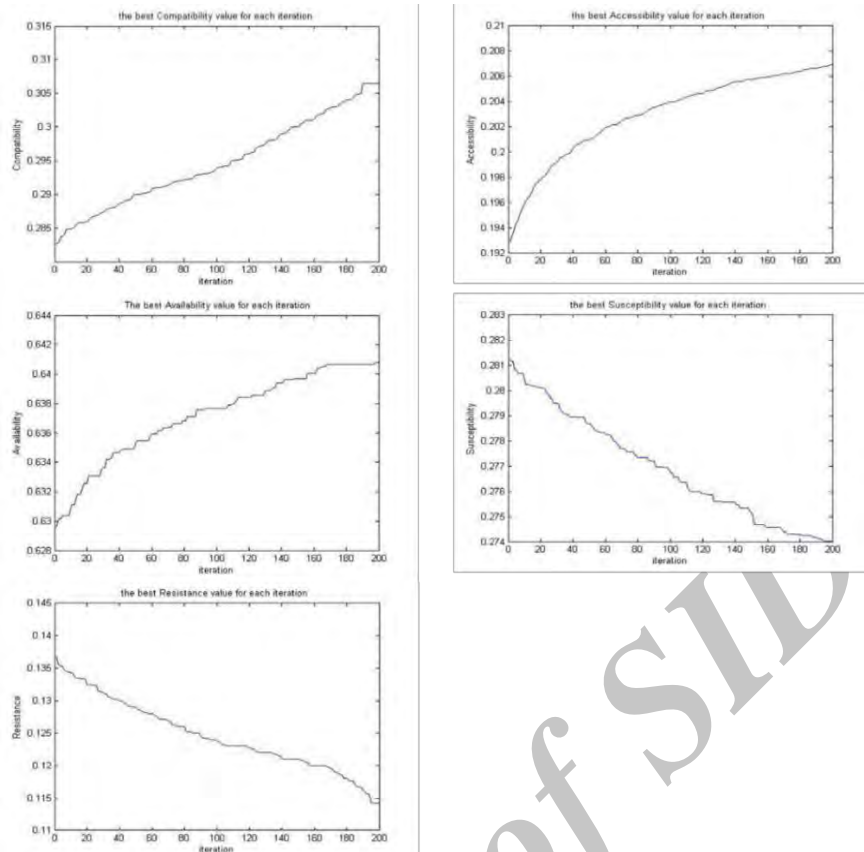
یکی از اهداف مهم خوشه‌بندی K-means در این تحقیق حمایت از تصمیم‌گیری در حالات مختلف توابع هدف با توجه به تعداد جواب‌ها در جبهه‌ی جواب بهینه است [۱] به همین منظور جدول ۱۰ برای نمایندگان خوشه‌ها تولید شده است که در برگزیده‌ی مقادیر توابع هدف در نقاط و تعداد پیشنهاد الگوریتم در تغییر کاربری است.

۲-۱-۴- تست همگرایی^۱ الگوریتم

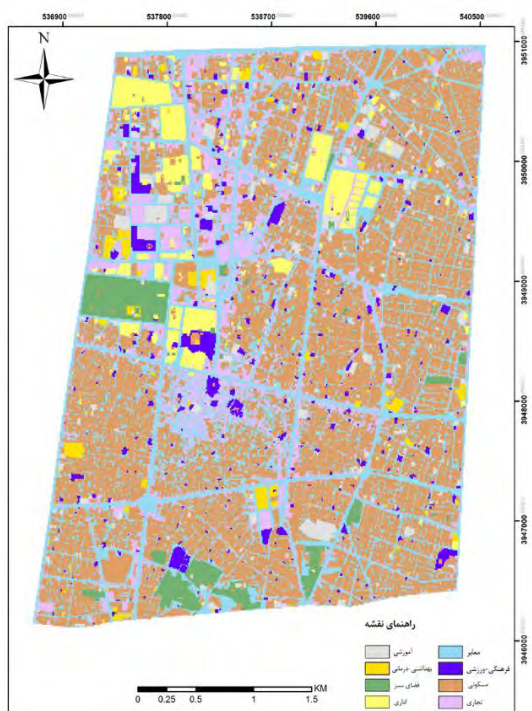
همگرایی الگوریتم می‌تواند از جنبه‌های مختلف مورد بررسی قرار گیرد مهم‌ترین عاملی که نشان‌دهنده‌ی همگرایی الگوریتم است ثابت ماندن مقادیر توابع هدف پس از تعداد تکرار مشخص است [۱]. در حقیقت پس از اینکه الگوریتم همگرا می‌شود، تغییر معنی‌داری در مقادیر توابع هدف صورت نمی‌گیرد [۱۵]. در مورد تست همگرایی الگوریتم به‌کاررفته در این تحقیق، تغییر بیشینه‌ی مقادیر سه تابع هدف اول و کمینه‌ی توابع چهارم و پنجم در هر نسل و در ۲۰۰ تکرار مورد بررسی قرار گرفته است. شکل ۱۸ تغییر این مقادیر در هر یک از پنج تابع هدف را در تکرارهای مختلف تا ۲۰۰ تکرار را در الگوریتم نشان می‌دهد.

^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- چینی بهینه متناظر با جواب سوم در جدول ۱۰ به دست آمده از الگوریتم NSGA-II

جدول ۱۰- مشخصات نمایندگان خوشه‌های جبهه جواب بهینه 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	۰.۶۲۴۲	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	۰.۱۲۱۴	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 چینی بهینه متناظر با هر یک از حالات فوق‌الذکر را ملاحظه نماید. به‌عنوان مثال شکل ۱۹ چینی بهینه متناظر با حالت سوم (جواب میانی) به دست آمده از الگوریتم NSGA-II را نشان می‌دهد که این چینی علاوه بر بهبود قابل توجه توابع هدف و تغییرات کمتر ارائه شده توسط الگوریتم و نزدیک‌تر بودن به وضعیت موجود به‌عنوان چینی بهینه برگزیده شد.

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهاد

در این تحقیق هدف اصلی بهینه‌سازی تخصیص کاربری‌های شهری به منظور کاهش آسیب‌پذیری ناشی از زلزله بر اساس اهداف تعریف شده با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی NSGA-II ارائه شد. در حقیقت هدف پیشنهاد رسیدن به یک چینش بهینه کاربری‌ها بوده است که با توجه به اهداف در نظر گرفته شده در الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه NSGA-II میسر شده است. برای نیل به هدف مذکور در ابتدا اهداف مؤثر بر چینش بهینه کاربری‌ها و دخیل در میزان تاب‌آوری در مقابل زلزله در سطح شهر استخراج شده است. طبق بررسی‌های انجام‌شده، هدف‌ها شامل سازگاری کاربری‌ها، دسترسی کاربری‌ها، دسترس‌پذیری، خطرپذیری کاربری‌ها در برابر خطر زلزله و کمینه کردن تغییر کاربری‌ها بوده‌اند. در تحقیق حاضر چینش بهینه کاربری‌های شهری به دست آمد. نتایج حاصل از این مدل‌سازی را می‌توان در موارد ذیل خلاصه نمود:

- با توجه به اینکه مدل خلاصه‌ای از دنیای واقعی می‌باشد معمولاً با توجه به نوع مسئله‌ی مورد مطالعه روی برخی از جنبه‌ها تأکید بیشتری شده، برخی دیگر بااهمیت کمتری وارد مدل می‌شوند و از برخی موارد چشم‌پوشی می‌شود. در این تحقیق نیز، برخی از جنبه‌ها مانند تأثیرات فاکتورهای اجتماعی و اقتصادی بر روی میزان تاب‌آموری در مقابل آسیب‌پذیری زلزله در قالب اهداف و المان‌های کیفی وارد مدل شده است.
 - یکی از مهم‌ترین عوامل در ارائه نتایج دقیق و قوی در مدل استفاده از روش مناسب بهینه‌سازی و مطابق با مسئله است. انتخاب روش مناسب سبب می‌شود سازگار سازی مسئله با الگوریتم علاوه بر سهولت، نتایج بهتری نیز داشته باشد. به‌عنوان مثال استفاده از روش‌های پیوسته برای مسائل پیوسته و استفاده از روش‌های گسسته برای مسائل گسسته آسان‌تر است و وابسته به نوع مسئله می‌تواند نتایج بهتری نیز داشته باشد. به همین علت در این تحقیق الگوریتم NSGA-II استفاده شده است که ذاتاً الگوریتم گسسته‌ای است و همچنین اجرای این الگوریتم مدت‌زمان کم‌تری طول می‌کشد.
 - در برخی از موارد مانند تعریف تابع هدف خطرپذیری، نقشه‌ی معیار از تلفیق نقشه‌های زیر معیار دیگری حاصل شده‌اند. با توجه به تعدد فاکتورهای وارد شده
- در مدل‌سازی، جمع‌آوری و ساختاردهی دانش کارشناسی امری بسیار مهم و درعین‌حال مشکل و زمان‌بر است. در این تحقیق، زیر فاکتورها و وزن عوامل بر اساس روش‌های مبتنی بر دانش کارشناسی مانند AHP و روش دلفی تعیین گردیده است.
- استفاده از الگوریتم NSGA-II در این تحقیق نشان داد این الگوریتم باقابلیت و انعطاف‌پذیری بالای خود در تعریف سناریوهای مختلف تخصیص بهینه کاربری‌ها قادر است در حد قابل قبولی مسئله‌ی تخصیص بهینه‌ی کاربری‌ها باهدف کاهش آسیب‌پذیری ناشی از زلزله را که یک مسئله‌ی پیچیده مکانی است را حل نماید.
 - از مزیت‌هایی که NSGA-II نسبت به روش‌های مسائل تک‌هدفه مثل مجموع وزن‌دار دارد این است علاوه بر حل مسئله به‌صورت چندهدفه قابلیت ارائه سناریوهای مختلف و قابلیت نمایش جبهه‌ی جواب و تحلیل این جبهه را داراست ولی تصمیم‌گیر نیاز به دانش بیشتری برای انتخاب از بین گزینه‌های ارائه شده دارد.
 - الگوریتم NSGA-II از نظر همگرایی جواب‌ها و تست تکرارپذیری نتایج در سطح قابل قبولی قرار دارد.
 - الگوی توزیع مکانی کاربری‌های شهری نقش تعیین‌کننده‌ای در افزایش آسیب‌پذیری زلزله ایفا می‌کند که این میزان نقش‌آفرینی در افزایش آسیب‌پذیری زلزله با محاسبه و مقایسه مقادیر توابع هدف پنج‌گانه وضعیت موجود و نتایج بهبودیافته حاصل از بهینه‌سازی 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 جواب‌ها می‌باشد.
 - مدل ارائه شده در این تحقیق قابلیت خوشه‌بندی جواب‌های جبهه‌ی بهینه‌ی الگوریتم و ارائه‌ی نتایج متناظر با خواسته‌ی تصمیم‌گیرندگان را دارد بنابراین تصمیم‌گیرندگان با مشخص کردن اولویت‌های تصمیم‌گیری قادر به ملاحظه‌ی نتایج متناظر هستند.
 - روش K-means سرعت مناسب و نتایج خوبی برای نقاط جواب نزدیک به هم و جبهه‌ی جواب فشرده مانند آنچه در این تحقیق دیدیم دارد در این الگوریتم مراکز خوشه‌ها به‌صورت مجازی به‌دست‌آمده و به نزدیک‌ترین نقطه موجود نسبت داده می‌شود.

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 چینه‌های 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-Ashtiani, 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.

Archive of SID