نشریه علمی پژوهشی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی نقشه برداری

سال ششم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۷
Vol.6, No.4, Autumn 2019
۱۶۳-۱۸۶

ارائه‌ی یک الگوریتم چندهدفه سلولی برای تخصیص کاربری‌های شهری

جمشید مالکی[۱]، فرشاد حکیم‌پور[۲]، زهره معصومی[۳*]

۱- دانشجوی دکتری سیستم‌های اطلاعات مکانی - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی – پردیس دانشکده‌های فنی – دانشگاه تهران
۲- استادیار دانشکده‌ی مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی – پردیس دانشکده‌های فنی– دانشگاه تهران
۳- استادیار دانشکده‌ی علوم زمین –دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه‌ی زنجان

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۷/۲۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۳/۲۰

چکیده

اختصاص کاربری‌های شهری به واحدهای شهری با توجه به وجود قیود و معیارهای مختلف می‌تواند به‌عنوان یک مسئله‌ی بهینه‌سازی مکانی در نظر گرفته شود. ارائه‌ی طرح‌های متنوع از نظر اهداف تعریف شده برای اختصاص کاربری‌های شهری می‌تواند برنامه‌ریزان شهری را در انتخاب طرح‌های مناسب کمک نماید. از این رو در این تحقیق یک روش بهینه‌سازی چندهدفه‌ی شبکه مبنا برای به‌دست آوردن طرح‌های متنوع در فضای اهداف بر اساس بهبود الگوریتم ژنتیک چند هدفه با مرتب‌سازی نامغلوب نسخه‌ی ۲ ارائه شده است. به منظور حفظ تنوع جواب‌ها یک شبکه در فضای اهداف تعریف شده و سلول‌های شبکه برای خوشه‌بندی جواب‌ها و تعیین جواب‌های مناسب برای نسل بعدی در فرآیند بهینه‌سازی به‌کار گرفته می‌شوند. کاربری‌های ناحیه‌ی یک منطقه هفت تهران برای بررسی کارایی الگوریتم پیشنهادی در تخصیص بهینه‌ی کاربری‌های شهری مورد استفاده قرار گرفته است. در نهایت نتایج الگوریتم پیشنهادی با نتایج الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب نسخه‌ی ۲ و ۳ مقایسه شد. مقایسه‌ی نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی در حفظ تنوع و بهبود همگرایی جواب‌ها در جبهه‌ی پارتو برای تخصیص کاربری‌های شهری بهتر عمل کرده است.

کلیدواژه‌ها: تخصیص کاربری‌های شهری، الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب شبکه‌مبنا، بهینه‌سازی چند هدفه، سیستم‌های حامی تصمیم‌گیری.

*نویسنده مکاتبه کننده: زنجان، بلوار استاد ثبوتی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه¬ی زنجان، دانشکده¬ی علوم زمین
تلفن: ۰۲۴۳۳۱۵۳۳۹۶

Email : z.masoumi@iasbs.ac.ir

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-19]

[DOI: 10.29252/jgit.6.4.163]

۱- مقدمه

فرآیند تصمیم‌گیری در تخصیص بهینه‌ی کاربری‌های شهری به‌عنوان هسته‌ی اصلی برنامه‌ریزی کاربری‌های شهری، کاربری‌های مختلف شهری را به مکان‌های مطلوب اختصاص داده و موجب ساماندهی مکانی فعالیت‌های شهری بر اساس خواسته‌ها و نیازهای جامعه‌ی شهری می‌شود [۱]. در حالت کلی فرآیند برنامه‌ریزی کاربری‌ها را می‌توان به دو بخش عمده تقسیم نمود [۲]. بخش اول تولید سناریوهای مختلف بر اساس اهداف و قیود تعریف شده است. بخش دوم نیز تجمیع ترجیحات ذینفعان و انتخاب یک طرح کاربری اراضی نهایی است. هسته‌ی اصلی برنامه‌ریزی کاربری‌های اراضی بخش اول می‌باشد که به تخصیص کاربری‌های گوناگون در واحدهای مکانی مختلف برای رسیدن به طرح‌های بهینه با توجه به اهداف و قیود مختلف می‌پردازد [۲]. طرح‌های بهینه‌ی مختلف می‌تواند توسط متخصصین مختلف مانند برنامه‌ریزان شهری و معماران [۳]، مدل‌های مکانی مانند مدل‌های اتوماتای سلولی [۴] و مدل‌های عامل مبنا [۵] و یا روش‌های بهینه‌سازی چندهدفه [۶] ایجاد گردند.

طرح‌های بهینه توسط متخصصین با تشکیل کارگاه‌های برنامه‌ریزی کاربری اراضی به‌صورت مشارکتی و با استفاده از ابزارهای حامی برنامه‌ریزی ایجاد می‌گردند [۷ و ۸]. به‌طور مثال آرکینیگس[1] و همکاران یک ابزار حامی مذاکره[2] برای تخصیص کاربری اراضی ارائه داده‌اند [۹]. این ابزار، فرآیند مذاکره بین مشارکت‌کنندگان را تسهیل می‌نماید. در واقع، با استفاده از این ابزار، مشارکت‌کنندگان در جلسه مذاکره با هدف حداکثرسازی مقدار تک‌تک اهداف و همچنین مجموع مقادیر همه اهداف، اقدام به تغییر کاربری‌های نقشه نموده و سعی در ارائه طرح‌های بهینه دارند. تعامل بین تصمیم‌گیران و مذاکره بین آن‌ها برای رسیدن به طرح‌های نهایی از مشخصه‌های بارز این روش است. در هر صورت به دلیل دخالت انسان، تعاملات و مذاکرات بین تصمیم‌گیران، محدودیت‌هایی را هم در پی دارد. ازجمله این محدودیت‌ها، محدودیت در تعداد طرح‌های پیشنهادی و نحوه‌ی ارزیابی دقیق این طرح‌ها و احتمال عدم توافق تصمیم‌گیرندگان در یک بازه‌ی زمانی مشخص می‌تواند باشد.

مدل‌سازی‌های مکانی با استفاده از مدل‌هایی مانند اتوماتای سلولی و مدل عامل مبنا می‌توانند در تولید طرح‌های مختلف برای تخصیص کاربری‌های اراضی کمک نمایند [۱۰ و ۱۱]. به طور مثال قوامی و همکاران با ارائه‌ی یک سیستم چندعاملی، مذاکرات بین ذینفعان مختلف برای برنامه‌ریزی کاربری‌های اراضی شهری را مدل‌سازی نموده‌اند [۱۰]. نیاز به تعیین اولویت‌های مختلف ذینفعان و پارامترهای مختلف مدل به‌منظور ایجاد گزینه‌های مختلف از نقاط ضعف این مدل‌ها محسوب می‌شود.

تخصیص کاربری‌های گوناگون به واحدهای شهری مختلف به‌منظور تولید گزینه‌های متنوع را با توجه به اهداف و قیود متفاوت می‌توان به‌عنوان یک مسئله‌ی بهینه‌سازی چندهدفه در نظر گرفت. برای حل این مسئله، از روش‌های کلاسیک بهینه‌سازی مانند برنامه‌ریزی خطی استفاده گردیده است [۱۲ و ۱۳]. برای نمونه، ماوه[3] و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از برنامه‌ریزی خطی با تأکید بر ارتباط ترافیک و کاربری اراضی اقدام به بهینه‌سازی کاربری اراضی نموده‌اند [۱۲]. وجود اهداف غیرخطی و قیود مختلف در کنار ترجیحات و اولویت‌های متفاوت ذینفعان درگیر در این فرآیند، موجب پیچیدگی این فرآیند شده است [۱۴]. این نوع مسائل بهینه‌سازی چندهدفه غیرخطی با پیچیدگی بالا نیاز به روش‌های بهینه‌سازی فراابتکاری

[1] Arciniegas
[2] Negotiation Support Tool
[3] Maoh

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-19]
[DOI: 10.29252/jgit.6.4.163]

برای اجرای فرآیند بهینه‌سازی دارند [۱۵ و ۱۶]. برای به دست آوردن طرح‌های بهینه به‌صورت یک مسئله‌ی چندهدفه غیرخطی با استفاده از روش‌های فرا ابتکاری، دو رویکرد کلی به کار برده می‌شود. رویکرد اول به‌صورت وزن‌دهی اهداف قبل از حل مسئله است [۲، ۱۷ و ۱۸]. رویکرد دوم نیز استفاده از مفهوم جبهه پارتو[1] است [۶، ۱۹ و ۲۰].

در رویکرد اول با استفاده از دانش قبلی اهمیت هر یک از اهداف مورد استفاده در فرآیند بهینه‌سازی مشخص‌شده و با تجمیع اهداف، مسئله‌ی بهینه‌سازی چندهدفه تبدیل به یک مسئله‌ی بهینه‌سازی تک هدفه می‌گردد. از مطالعات اولیه در بهره‌گیری از روش‌های فرا ابتکاری در حل مسئله‌ی برنامه‌ریزی کاربری اراضی به صورت رویکرد وزن‌دهی، می‌توان به پژوهش استوارد[2] و همکاران اشاره نمود [۲۱]. در تحقیق ایشان از روش برنامه‌ریزی آرمانی به‌عنوان یک روش وزن‌دهی، برای مدل کردن مسئله و از الگوریتم ژنتیک برای حل آن استفاده شده است. برای حل مسئله تخصیص کاربری‌های اراضی به‌صورت وزن‌دهی، به الگوریتم‌های دیگری مانند تبرید شبیه‌سازی شده [۲۲]، کلونی مورچه‌ها [۲۳] ، بهینه‌سازی توده ذرات [۲۴]، کلونی زنبورها [۲۵] و روش‌های ترکیبی [۲۶] می‌توان اشاره نمود. مشکل اصلی این روش‌ها وابستگی آن‌ها به وزن‌های انتخابی برای اهداف و یا به‌عبارت دیگر نحوه تعریف تابعی‌است که اهداف را ترکیب کرده و به یک هدف تبدیل می‌کند. مشکل دیگر روش‌های وزن‌دهی، در یافتن جواب‌های بهینه غیرمحدب است [۶]. همچنین استفاده از وزن‌های مختلف برای تولید جواب‌های متفاوت برای کمک به ذینفعان مختلف بسیار نامحتمل است [۲۷].

با توجه به این مشکلات، روش‌های متکی بر مفهوم پارتو می‌توانند با مستقل در نظر گرفتن اهمیت نسبی هر یک از اهداف، مشکلات مربوط به روش‌های وزن‌دهی در تولید طرح‌های مختلف برای برنامه‌ریزان را برطرف نمایند. شایان ذکر است که به مجموعه‌ی جواب‌های نامغلوب تولید شده توسط روش‌های بهینه‌سازی چندهدفه جبهه‌ی جواب‌های پارتو گویند. در حقیقت در جبهه‌ی جواب‌های پارتو هیچ جوابی بر جواب دیگر ارجحیت نداشته و تمامی جواب‌ها بهینه هستند[۲۸]. تحقیقات زیادی بر پایه مفهوم جبهه‌ی جواب‌های پارتو برای حل مسئله تخصیص کاربری‌های اراضی انجام گرفته است [۶، ۱۹، ۲۹، ۳۰]. برای نمونه، در [۳۰] به‌عنوان یکی از کارهای اولیه در زمینه‌ی استفاده از مفهوم جبهه‌ی جواب‌های پارتو، از الگوریتم ژنتیک تجمعی برای تولید سناریوهای مختلف از چیدمان کاربری‌های اراضی شهری برای برنامه‌ریزان بهره جسته‌اند. آن‌ها از دو تابع هدف حداکثرسازی تناسب قطعات برای توسعه و حداکثرسازی سازگاری بین واحدهای مکانی استفاده نموده‌اند. کائو[3] و همکاران [۶] با استفاده از الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب نسخه ۲[4] و با در نظر گرفتن سه تابع هدف حداقل‌سازی هزینه تغییر، حداکثرسازی دسترسی و حداکثرسازی سازگاری بین کاربری‌ها، اقدام به تولید سناریوهای مختلف نموده‌اند. معصومی و همکاران [۱۹] از الگوریتم بهینه‌سازی توده ذرات چندهدفه[5] برای تولید طرح‌های بهینه مختلف در سطح پلاک‌های شهری با حداکثرسازی توابع سازگاری، وابستگی، تناسب و همسانی کاربری پلاک‌های همسایه، استفاده نموده‌اند. این روش‌های بهینه‌سازی چندهدفه بکار گرفته شده در تحقیقات اخیر، تنها زمانی که تعداد اهداف از سه هدف تخطی نمی‌کند به خوبی می‌توانند جواب‌های غیر مغلوب با همگرایی و توزیع مناسب را پیدا نماید [۳۱]. این در حالیست که معمولاً مسئله

[1] Pareto Front
[2] Stewart
[3] Cao
[4] Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II (NSGA-II)
[5] Multi-objective Particle Swarm Optimization

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-19]
[DOI: 10.29252/jgit.6.4.163]

تخصیص کاربری‌های اراضی به اهداف متعددی وابسته است که برای رسیدن به جواب‌های قابل‌قبول و قابل‌استفاده در مسائل واقعی باید همه این اهداف لحاظ گردند. به‌عنوان مثال کائو و همکاران [۱۵] برای مدل‌سازی این مسئله از هشت هدف حداکثرسازی تولید ناخالص داخلی، حداقل‌سازی تغییرات زمین، حداکثرسازی تناسب زمین‌شناختی، حداکثرسازی تناسب زیست‌محیطی، حداکثرسازی دسترسی، حداقل‌سازی تأثیر NIMBY[1]، حداکثرسازی فشردگی و حداکثرسازی سازگاری استفاده نموده‌اند.

وقتی تعداد اهداف در روش‌های بهینه‌سازی چندهدفه به روش پارتو افزایش می‌یابد، الگوریتم‌های کلاسیک بهینه‌سازی چندهدفه تکاملی مانند الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب نسخه ۲ قادر به توزیع یکنواخت جواب‌ها در فضای پارتو نمی‌باشند. ازاین‌رو در تحقیقات اخیر، روش‌های مختلفی برای برخورد با مسائل چندین هدفه ارائه گردیده است [۳۱ و ۳۳]. برای نمونه، دب[2] و همکاران [۳۱] نسخه سوم الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب[3] را برای حل مسائل چندین هدفه پیشنهاد داده‌اند. در نسخه سوم این الگوریتم، چندین نقطه مرجع در فضای پارتو تعریف شده است تا در توزیع هرچه بهتر جواب‌ها در فضای پارتو کمک نماید. با این حال، ایشیبوچی[4] و همکاران [۳۴] نشان دادندکه در مسائل چندین هدفه با توجه به نوع مسئله و نوع پیاده‌سازی همیشه نسخه‌ی سوم این الگوریتم جواب‌های بهتری را نسبت به نسخه‌ی دوم تولید نمی‌کند. در برخی از مطالعات و پیاده‌سازی‌ها نیز به مشکل تولید ابرصفحه[5] برای نرمال‌سازی جواب‌ها در نسخه‌ی سوم این الگوریتم اشاره شده است [۳۵ و ۳۶].

[1] Not In My Back Yard
[2] Deb
[3] Non-dominated Sorting Genetic Algorithm III (NSGA-III)
[4] Ishibuchi
[5] Hyperplane

به‌عنوان تحقیقی دیگر در [۳۳] از یک شبکه برای حفظ تنوع جواب‌ها در فضای پارتو در شش نوع الگوریتم[6] استفاده شده است. این تحقیق بر روی توابع استاندارد انجام شده است. نتایج نشاندهنده‌ی بهبود توزیع جواب‌های نهایی در استفاده از مفهوم شبکه است.

با توجه به تحقیقات گذشته، استفاده از روش‌های بهینه‌سازی چندین هدفه برای در نظر گرفتن همه‌ی اهداف درگیر در مسئله تخصیص کاربری اراضی برای رسیدن به جواب‌هایی با توزیع مناسب در فضای پارتو اجتناب‌ناپذیر است. از طرفی در برخی تحقیقات نشان داده شده است که استفاده از مفهوم شبکه باعث بهبود توزیع جواب‌های نهایی در جبهه پارتو می‌شود [۳۳]. بر همین اساس، در این تحقیق یک روش چندین هدفه بر مبنای الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب نسخه ۲ و مفهوم شبکه برای حل مسئله تخصیص کاربری اراضی با اهداف زیاد به منظور یافتن جواب‌های متنوع و غیرمغلوب ارائه گردیده است. برای مدل کردن مسئله تخصیص کاربری اراضی از پنج هدف که در تحقیقات اخیر بیشتر استفاده شده است، استفاده گردیده است. اهداف در نظر گرفته شده شامل حداکثرسازی سازگاری بین کاربری‌ها، حداکثرسازی وابستگی بین کاربری‌ها، حداکثرسازی تناسب کاربری با پلاک مستقر درآن، حداکثرسازی میزان همسانی کاربری‌های مجاور و حداقل‌سازی مقدار تخطی از سرانه می‌باشد. در نهایت مدل پیشنهادی توسط الگوریتم پیشنهادی و الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب نسخه ۲ و ۳ حل گردیده و جواب‌های به‌دست آمده توسط هر یک از الگوریتم‌ها باهم مقایسه گردیده است.

[6] NSGA-II و NSGA-III در زمره‌ی الگوریتم‌های استفاده شده در این تحقیق نیستند.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-19]
[DOI: 10.29252/jgit.6.4.163]

۲- مدل‌سازی تخصیص کاربری‌های شهری

به‌منظور مدل‌سازی تخصیص کاربری‌های شهری ابتدا اهداف و قیود تخصیص کاربری‌ها تعریف شده و در ادامه یک الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه براساس شبکه‌بندی فضای اهداف معرفی گردیده است.

۲-۱- اهداف و قیود تخصیص کاربری‌های شهری

تخصیص بهینه کاربری‌های شهری می‌تواند به عنوان یک فرآیند تخصیص کاربری‌های گوناگون به قطعات شهری مختلف با توجه به معیارها و قیود متنوع تعریف شود. در این فرآیند نحوه تعریف قطعات شهری و انتخاب معیارها و قیود مختلف می‌تواند در نتیجه نهایی بسیار تاثیرگذار باشد. قطعات شهری می‌تواند به صورت یک شبکه منظم رستری و یا به صورت قطعات نامنظم برداری تعریف شوند. هر یک از این دو نوع روش نمایش قطعات شهری مزایا و معایب خاص خود را دارد. استفاده از شبکه منظم رستری باعث سهولت در تعریف همسایگی، نحوه کدگذاری کروموزوم‌ها و نحوه اعمال عملگرهای الگوریتم ژنتیک می‌شود. به خاطر این مزایا در اکثر تحقیقات مربوط به برنامه‌ریزی کاربری‌ها از این روش برای نمایش قطعات زمین استفاده شده است [۶، ۲۱ و ۲۶]. از طرفی استفاده از روش رستری برای نمایش قطعات شهری وابسته به ابعاد سلول‌های شبکه است. برای مدل‌سازی جزئیات قطعات شهری می‌بایست از شبکه با سلول‌های کوچک استفاده نمود، که باعث افزایش تعداد سلول‌های موردنیاز برای نمایش یک قطعه زمین می‌شود. همچنین با افزایش تعداد سلول‌ها بار محاسباتی مدل به صورت تصاعدی افزایش می‌یابد. استفاده از سلول‌های درشت نیز باعث از بین رفتن جزئیات و بخصوص مرزبندی بین پلاک‌های شهری می‌شود. از طرفی دیگر روش برداری برای نمایش قطعات شهری باعث پیچیدگی در تعریف همسایگی‌ها شده و مرزبندی پلاک‌های شهری نیز در این روش معمولاً ثابت در نظر گرفته می‌شود. ولی با توجه به مرزبندی دقیق درروش برداری و استفاده از قطعات نامنظم برای نمایش قطعات زمین، این روش مطابقت بیشتری با فرآیند برنامه‌ریزی کاربری‌های شهری دارد [۳۸، ۳۹]. برای تعریف همسایگی‌های مختلف در داده‌های برداری نیز می‌توان از تجزیه‌وتحلیل‌های همسایگی موجود در محیط سیستم‌های اطلاعات مکانی استفاده نمود. در این تحقیق با توجه تخصیص کاربری‌های شهری در سطح پلاک‌های شهری، استفاده از روش برداری برای نمایش قطعات شهری می‌تواند باعث مرزبندی دقیق بین پلاک‌ها و کاهش بار محاسباتی حاصل از کاهش تعداد قطعات مورد نیاز برای نمایش پلاک‌های شهری شود. بنابراین در این تحقیق از روش برداری برای نمایش و کدگذاری پلاک‌های شهری استفاده گردیده است.

معیارها و قیود مختلفی را می‌توان در مسئله تخصیص بهینه کاربری‌های شهری در نظر گرفت. معیارهای زیادی در تحقیقات گذشته برای تخصیص کاربری‌های شهری در نظر گرفته شده است. از این معیارها به تأثیرات پلاک‌های همسایه حاصل از سازگاری، وابستگی و همسانی کاربری‌های مجاور می‌توان اشاره کرد [۱۱، ۱۵ و ۱۹]. سازگاری میزان اثرات منفی دو یا چند کاربری را بر روی هم نشان می‌دهد [۱۹ و ۴۰]. برای بیان میزان وابستگی بین دو کاربری نیز از پارامتر وابستگی استفاده می‌شود. با توجه به تمایل کاربری‌های مختلف برای حضور در کنار کاربری همسان خود [۱۹]، از پارامتر همسانی کاربری‌های مجاور برای سنجش میزان همسانی کاربری‌ها در یک شعاع همسایگی استفاده می‌گردد. تاثیرات همسایگی حاصل از سازگاری، وابستگی و همسانی کاربری‌های مجاور را می‌توان در قالب سه هدف مجزا و با روابط زیر بیان نمود:

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-19]
[DOI: 10.29252/jgit.6.4.163]

رابطه (۱)
$$\text{Compability} = \left\{ \frac{1}{\text{n}} \left(\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} \alpha_{ij} \times C_{ij} \right) + Minimum \left(\sum_{j=1}^{n_i} \alpha_{ij} \times C_{ij} \right) \right\}$$

رابطه (۲)
$$\text{Compability} = \left\{ \frac{1}{\text{n}} \left(\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} \alpha_{ij} \times D_{ij} \right) + Minimum \left(\sum_{j=1}^{n_i} \alpha_{ij} \times D_{ij} \right) \right\}$$

رابطه (۳)
$$Compactness = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^{n} \frac{sim_i}{n_i} \right)$$

در روابط (۱، ۲ و ۳) ، i نشان‌دهنده پلاک مورد بررسی و j همسایه‌های پلاک مورد بررسی را مشخص می‌کند؛ n تعداد کل پلاک‌ها و n_i تعداد پلاک‌های همسایه پلاک مورد بررسی است. رابطه (۱) مقدار سازگاری کل منطقه موردمطالعه را محاسبه می‌کند. در این رابطه C_{ij} سازگاری بین کاربری پلاک مورد بررسی (i) و پلاک همسایه (j) را نشان می‌دهد. رابطه (۲) مقدار وابستگی کل منطقه موردمطالعه را محاسبه می‌کند. در این رابطه D_{ij} وابستگی بین کاربری پلاک مورد بررسی (i) و پلاک همسایه (j) را نشان می‌دهد. رابطه (۳) نیز میزان همسانی کل کاربری‌های مجاور را در کل منطقه موردمطالعه محاسبه می‌کند. در این رابطه sim_i هم تعداد پلاک‌های همسایه با کاربری مشابه پلاک مورد بررسی است. قسمت دوم روابط (۱، ۲) برای حداکثرسازی مقدار حداقل معیارها است. وجود این بخش از روابط موجب می‌شود تا سازگاری و وابستگی پلاک‌هایی که حداقل این معیارها را با همسایه‌هایشان دارند، در طی فرآیند بهینه‌سازی بهبود یابد.

میزان مناسبت فیزیکی قطعات زمین نیز یکی از معیارهای مهم در تخصیص کاربری اراضی است. مناسبت فیزیکی میزان انطباق فیزیکی و زیست‌محیطی یک کاربری برای قطعات مختلف را نشان می‌دهد [۲۵]. مناسبت فیزیکی تحت تأثیر پارامترهای مختلفی مانند ابعاد و اندازه زمین، دسترسی به شبکه حمل‌ونقل عمومی شهر، آلودگی صوتی، آلودگی هوا و میزان سختی تغییر کاربری به کاربری است. با ترکیب وزن‌دار این پارامترها می‌توان مقدار مناسبت فیزیکی هر کاربری برای پلاک‌های منطقه موردمحاسبه نمود[۱۹]. مقدار مناسبت کلی برای کل منطقه موردمطالعه نیز از رابطه زیر قابل‌محاسبه است.

رابطه (۴)
$$\text{Suitabilit y} = \left\{ \frac{1}{\text{n}} \left(\sum_{i=1}^{n} S_{i,C_i} \right) + Minimum \left(S_{i,C_i} \right) \right\}$$

در رابطه (۴) مقدار S_{i,c_i} میزان سازگاری پلاک i برای کاربری c_i را نشان می‌دهد. قسمت دوم این رابطه نیز در بهینه‌سازی موجب بهبود مناسبت پلاکی که کمترین مناسبت را دارد، می‌شود.

در بسیاری از تحقیقات گذشته، سرانه در مدل تخصیص کاربری اراضی به‌صورت قید در نظر گرفته شده است [۲، ۱۶ و ۲۵]. در بهینه‌سازی مکانیِ کاربری‌های اراضی، با توجه به تولید طرح‌های اولیه به‌صورت تصادفی، احتمال تولید طرح‌هایی که میزان سرانه‌ی کاربری‌ها در آن رعایت شده باشد پایین است و از نظر قید سرانه اکثر طرح‌ها نامعتبر هستند. بنابراین در نظر گرفتن سرانه به عنوان قید و استفاده از مقدار تخطی از قید برای انتخاب جواب‌های نامعتبر با تخطی کمتر در مرحله‌ی انتخاب جواب‌ها [۴۱] و یا استفاده از تابع پنالتی برای اعمال این قید در مقدار توابع هدف جواب‌های نامعتبر [۴۲]، باعث می‌شود اهداف دیگر از ارزش کمتری برخوردار شده و تمرکز اصلی بهینه‌سازی در حالت چندهدفه فقط روی کمینه کردن مقدار تخطی از سرانه قرار گیرد. همچنین تعداد جواب‌های ممکن (feasible solutions) به شدت

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-19]
[DOI: 10.29252/jgit.6.4.163]

کاهش پیدا می‌کند. از این‌رو در این مطالعه مقدار تخطی از سرانه به صورت یک هدف مجزا در نظر گرفته شده است تا همزمان با حداکثرسازی اهداف دیگر، مقدار تخطی از سرانه کمینه گردد. میزان تخطی از سرانه را می‌توان به صورت رابطه‌ی (۵) محاسبه نمود.

$$CV = \sum_{i=1}^{m} V_{c_i}$$ رابطه (۵)

که در آن، پارامتر m تعداد کاربری‌ها را مشخص می‌کند. پارامتر V_{c_i} نیز میزان تخطی از سرانه در کاربری c_i را نشان می‌دهد که از طریق رابطه‌ی (۶) محاسبه می‌شود:

رابطه (۶)

$$V_{c_i} = \begin{cases} \dfrac{\min A_i - A_i}{\min A_i} & for\ A_i < \min A_i \\ \dfrac{A_i - \max A_i}{\max A_i} & for\ A_i > \max A_i \end{cases}$$

پارامتر $\min A_i$ و $\max A_i$ حداقل و حداکثر مقدار مساحت قابل‌قبول برای کاربری c_i است که با ضرب حداکثر و حداقل سرانه کاربری c_i در جمعیت کل منطقه موردمطالعه به دست می‌آید. A_i نیز مجموع مساحت پلاک‌های دربرگیرنده کاربری c_i است.

با توجه به اینکه هدف اصلی مسئله تخصیص کاربری‌های اراضی تولید راه‌حل‌های مختلف برای برنامه‌ریزی کاربری‌های اراضی است، استفاده از دانش نظارتی در قالب قیود مختلف می‌تواند از تولید جواب‌های غیرواقعی جلوگیری نماید [۲]. برای مثال هر کاربری می‌بایست به معبر متناسب با عملکرد خود دسترسی داشته باشد. برای نمونه کاربری مسکونی نباید به‌صورت مستقیم به شریان‌های اصلی شهری دسترسی داشته باشد. چون این دسترسی می‌تواند علاوه بر خطرناک بودن موجب ایجاد مزاحمت‌های فراوان مانند سروصدا و ترافیک برای کاربری‌های مسکونی شود. قیود زیر می‌تواند در تولید جواب‌های واقع‌بینانه‌تر به الگوریتم بهینه‌سازی مکانی کاربری‌های شهری کمک نماید [۴۳].

۱- قید مربوط به مساحت کاربری‌ها: در این نوع قید، حداکثر و حداقل مساحت پلاک شهری که می‌تواند پذیرای کاربری موردنظر باشد، مشخص گردیده است. این قید از اختصاص یک کاربری، به یک پلاک شهری که ازنظر مساحت باهم سازگاری ندارند، جلوگیری می‌کند.

۲- قید مربوط به نوع معابر شهری: با توجه به الگوی توسعه منطقه ۷ تهران انواع معابر شهری تعریف شده و نوع کاربری‌های هم‌جوار معابر نیز مشخص گردیده است [۴۴]. برای رسیدن به چیدمان بهینه کاربری‌ها، به‌طوری که منطبق با الگوی توسعه منطقه باشد، نوع معابری که هر یک از کاربری‌ها مجاز به هم‌جواری با آن‌ها هستند، به‌عنوان قید در چیدمان کاربری‌ها لحاظ گردیده است.

این قیود در بهینه‌سازی مکانی کاربری‌های شهری، در دو مرحله تولید جواب‌های اولیه (بخش ۲-۲-۲-۱) و جهش (بخش ۲-۲-۲-۳) برای تخصیص کاربری‌های قابل‌قبول برای پلاک‌های شهری به کار برده می‌شوند.

۲-۲- الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب شبکه‌مبنا برای تخصیص بهینه کاربری‌های اراضی شهری

در این قسمت یک الگوریتم بهینه‌سازی چندین هدفه مبتنی بر الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب نسخه ۲ (GNSGA-II[1]) برای حل مسئله تخصیص بهینه کاربری‌های اراضی شهری ارائه گردیده است. الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب نسخه ۲ توسط دب و همکاران [۴۵] برای حل مسائل بهینه‌سازی چندهدفه ارائه گردیده است. در این الگوریتم برای حفظ تنوع جواب‌ها در فضای پارتو از مفهومی به نام فاصله ازدحامی استفاده می‌شود. فاصله‌ی ازدحامی

[1] Grid-based Non-dominated Sorting Genetic Algorithm

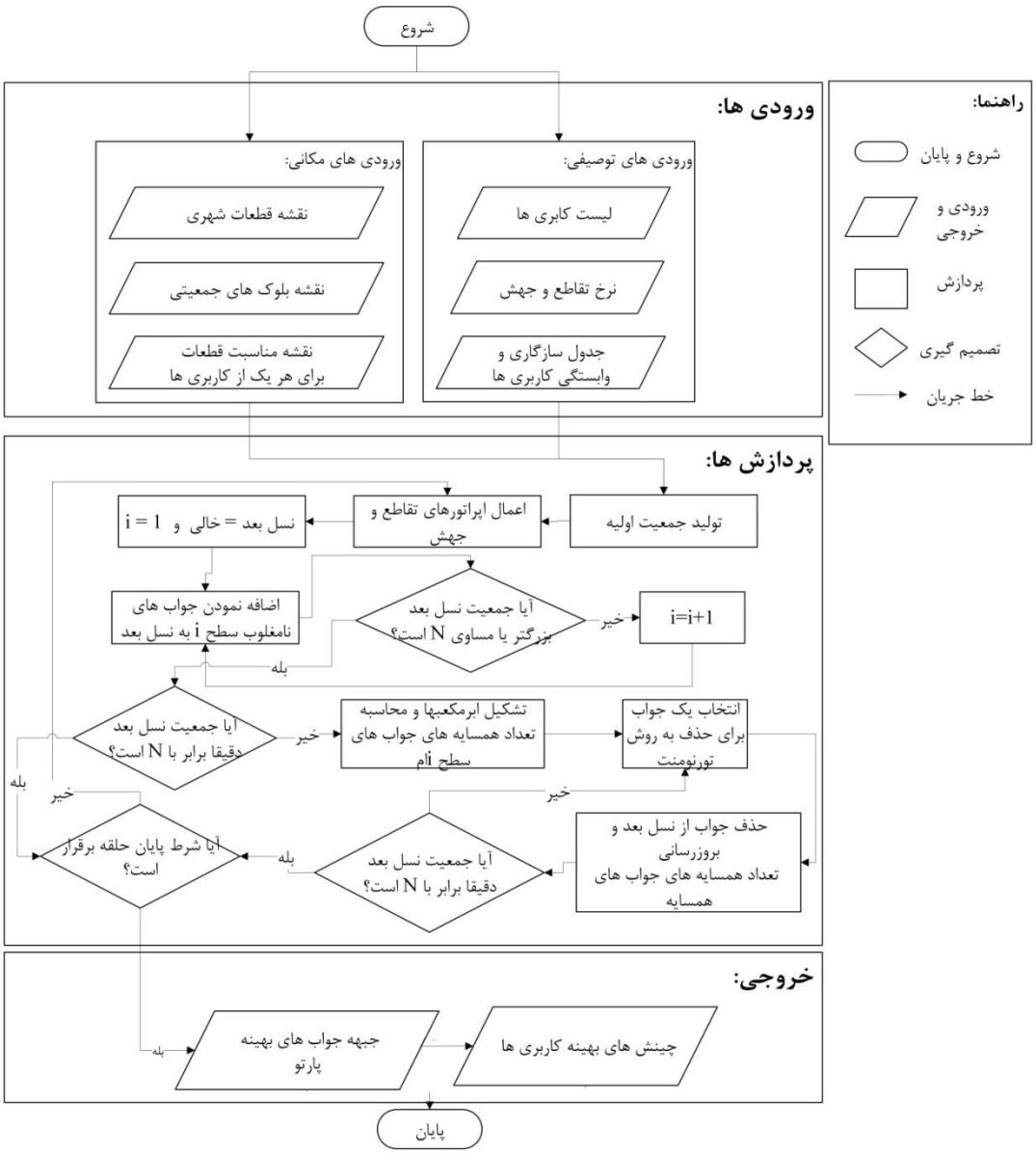
[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-19]
[DOI: 10.29252/jgit.6.4.163]

برای هر جواب در این الگوریتم بر اساس فاصله‌ی جواب‌های همسایه محاسبه می‌شود. در حالتی که تعداد اهداف زیاد باشد فاصله‌ی ازدحامی معیار مناسبی برای انتخاب جواب‌های نسل بعد نخواهد بود و این معیار کارایی خود را از دست خواهد داد [۴۶]. برای حل مشکل الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب نسخه ۲ ، دب و جیان [۳۱] الگوریتم جدیدی را به نام الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب نسخه ۳ ارائه دادند که با استفاده از نقاط مبنای از پیش تعیین شده در فضای پارتو و خوشه‌بندی جواب‌ها بر اساس این نقاطِ مبنا عمل می‌کند. تفاوت اصلی نسخه دوم و سوم این الگوریتم در نحوه حفظ تنوع جواب‌ها در فضای پارتو است. در نسخه ۳ نقاط مبنای از پیش تعریف شده وظیفه حفظ تنوع را بر عهده دارند. این الگوریتم با انتصاب هر یک از جواب‌ها به نزدیک‌ترین نقطه‌ی مبنا در فضای پارتو، جواب‌ها را بر اساس این نقاط مبنا خوشه‌بندی می‌کند. جواب‌هایی که در خوشه‌های کوچک‌تر قرار گرفته‌اند شانس بیشتری را برای راه‌یابی به جمعیت نسل بعد دارند. همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد، با توجه به عدم ارائه کدهای منبع این الگوریتم توسط نویسندگان، پیاده‌سازی‌های مختلف، کارایی‌های مختلفی از این الگوریتم را نشان می‌دهند و همچنین کارایی این الگوریتم وابسته به نوع مسئله‌ی چندهدفه مورد بررسی نیز است [۳۴] از طرفی فاصله‌ی ازدحامی در حقیقت تمرکز زیادی روی حفظ تنوع جواب‌ها ندارد. از این رو در این تحقیق، به جای استفاده از فاصله‌ی ازدحامی و نقاط مبنا برای حفظ تنوع جواب‌ها در فضای پارتو، از یک شبکه استفاده گردیده است. این شبکه در فضای چند بعدی پارتو تبدیل به سلول‌های چندبعدی می‌شود که کل فضای پارتو را پوشش می‌دهند. این سلول‌ها وظیفه‌ی خوشه‌بندی جواب‌ها و حفظ تنوع جواب‌ها در فضای پارتو را بر عهده دارند.

۲-۲-۱- فرآیند کلی الگوریتم

الگوریتم پیشنهادی در اکثر مراحل مشابه الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب نسخه ۲ بوده و تفاوت‌های اصلی آن در نحوه حفظ تنوع جواب‌ها و نحوه انتخاب جواب‌های نسل بعد است. الگوریتم پیشنهادی، در یک فرآیند تکراری جمعیت اولیه تولید شده را بهینه‌سازی نموده و با حفظ تنوع جواب‌ها در کل فضای پارتو، به سمت جبهه پارتو سوق می‌دهد. در هر تکرار الگوریتم، ابتدا از جمعیت والد برای تولید جمعیت فرزند با به‌کارگیری عملگرهای تقاطع و جهش استفاده می‌شود. در مرحله بعد جمعیت مرکب از جمعیت والد و فرزند توسط اهداف تعریف شده ارزیابی شده و بر اساس سطوح مختلف نامغلوب مرتب می‌شوند. مرتب‌سازی نامغلوب همانند الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب نسخه ۲ بوده و بر اساس اصول غلبه [۴۷] انجام می‌گیرد. در مرحله بعد می‌بایست N (تعداد جمعیت در هر تکرار) جواب از بین ترکیب جمعیت والد و فرزند برای تشکیل جمعیت والد جدید انتخاب گردد. به‌منظور حفظ اعضای نخبه، جمعیت والد جدید می‌بایست بر اساس سطوح مختلف نامغلوب تشکیل گردد. برای تشکیل جمعیت والد جدید، الگوریتم از سطح یک نامغلوب شروع به انتخاب نموده تا سطحی ادامه می‌یابد که تعداد جمعیت والد جدید از N بزرگ‌تر یا مساوی شود. اگر تعداد جمعیت والد دقیقاً برابر N شود نیازی به انجام عملیات دیگری نبوده و تکرار بعدی شروع می‌شود. اما در صورتی که تعداد جمعیت والد بیشتر از N باشد، باید جواب‌های اضافی آخرین سطح نامغلوب حذف گردند. برای این منظور با تشکیل شبکه در فضای پارتو و اختصاص هر جواب به یک سلول از شبکه، تعداد همسایه‌های هر جواب در سلول خود محاسبه می‌شود. در بین جواب‌های آخرین سطح نامغلوب، احتمال حذف جواب‌هایی که دارای همسایگان بیشتری هستند، بالاتر است. فرآیند کلی الگوریتم در شکل (۱) نشان داده شده است.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-19]
[DOI: 10.29252/jgit.6.4.163]



شکل ۱: فرآیند کلی الگوریتم پیشنهادی

الگوریتم پیشنهادی برای محاسبه‌ی تعداد همسایه‌های هر جواب، ابتدا سلول هر یک از جواب‌ها را پیدا می‌کند. سپس تمامی جواب‌هایی که سلول مشترک با جواب مورد بررسی دارد را به‌عنوان همسایه‌های جواب مورد بررسی در نظر می‌گیرد.

برای حذف جواب‌های اضافی در آخرین سطح نامغلوب، از انتخاب رقابتی[1] در یک فرآیند تکراری استفاده شده است. در این انتخاب، از بین ۵ جوابی که به‌صورت تصادفی انتخاب شده‌اند، جوابی که بیشترین تعداد همسایه را داشته باشد، برای حذف شدن انتخاب می‌شود. برای بروز رسانی تعداد همسایه‌های

[1] Tournoment Selection

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-19]
[DOI: 10.29252/jgit.6.4.163]

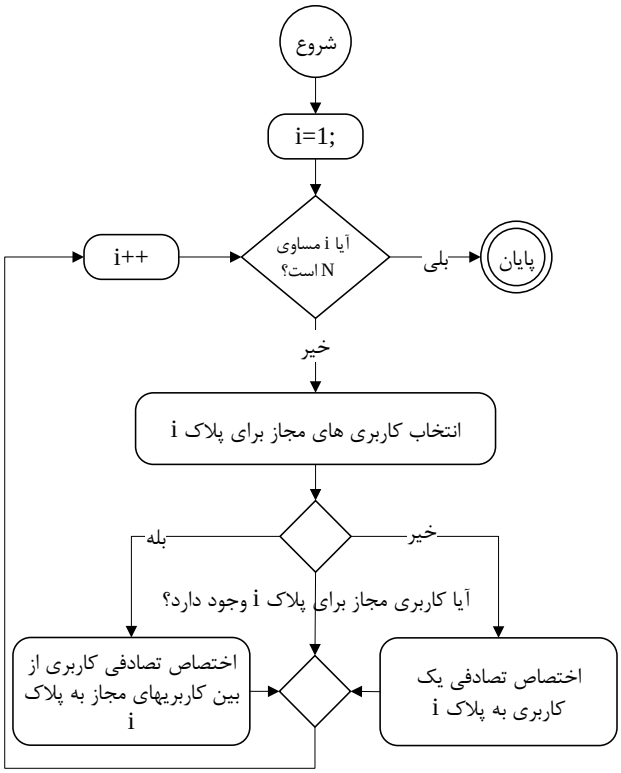
جواب‌های همسایه نیز می‌بایست یک واحد از تعداد همسایه‌ها کم گردد.

۲-۲-۲- عملگرهای الگوریتم ژنتیک

با توجه به این که الگوریتم پیشنهادی بر اساس الگوریتم ژنتیک طراحی شده است، نحوه تعریف کروموزوم‌ها، ژن‌ها و همچنین عملگرهای این الگوریتم باید با توجه به مسئله تخصیص کاربری‌های اراضی شهری بازطراحی گردند. ازاین‌رو، کروموزوم‌ها، طرح‌های کاربری اراضی و ژن‌های هر کروموزوم، نوع کاربری هر پلاک شهری را نشان می‌دهند. عملگرهای الگوریتم ژنتیک نیز شامل تولید جمعیت اولیه، تقاطع و جهش است. در ادامه نحوه عملکرد هریک از این عملگرها توضیح داده می‌شود.

۲-۲-۲-۱- تولید جمعیت اولیه

تولید جمعیت اولیه در الگوریتم‌های تکاملی، یکی از مراحل مهم است که در همگرایی الگوریتم به جواب بهینه کلی و همچین سرعت همگرایی تأثیر به سزایی دارد. در اکثر تحقیقات مربوط به تخصیص بهینه کاربری اراضی، به منظور همگرایی به جواب معتبر، کل یا بخشی از جواب‌های جمعیت اولیه را با توجه به وضعیت موجود کاربری‌ها در منطقه موردمطالعه تولید می‌کنند. این کار می‌تواند کارایی الگوریتم در جستجوی جواب‌های بهینه در کل فضای جواب‌ها را تحت تأثیر قرار دهد. به همین دلیل برای تولید جمعیت اولیه مستقل از وضعیت موجود، در الگوریتم پیشنهادی، چیدمان کاربری اراضی به‌عنوان جواب‌های تشکیل‌دهنده جمعیت اولیه به‌صورت تصادفی و با در نظر گرفتن قیود تعریف شده تولید می‌شوند. به این صورت که برای هر یک از پلاک‌های شهری با در نظر گرفتن قیود در نظر گرفته شده، کاربری‌های مجاز انتخاب شده و از بین کاربری‌های مجاز یک کاربری به صورت تصادفی به پلاک موردنظر اختصاص می‌یابد. نمودار فعالیت تولید یک جواب تصادفی با در نظر گرفتن قیود در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل ۲: نمودار فعالیت تولید یک جواب تصادفی با در نظر گرفتن قیود تعریف‌شده.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-19]
[DOI: 10.29252/jgit.6.4.163]

۲-۲-۲-۲-عملگر تقاطع

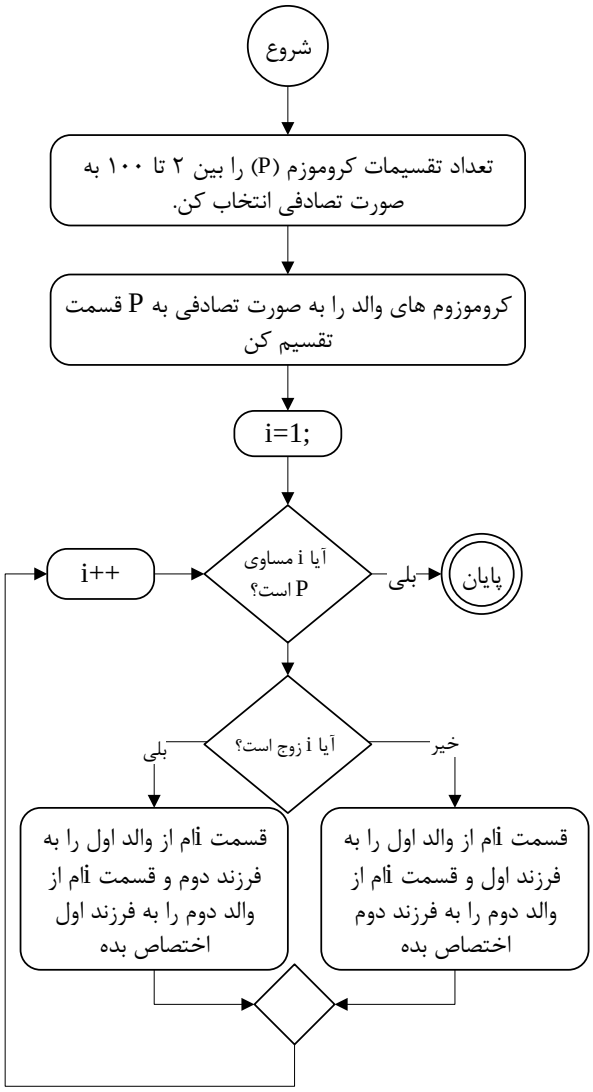
در الگوریتم ژنتیک از عملگر تقاطع برای جستجو در فضای جواب‌ها و یافتن جواب‌های بهتر استفاده می‌شود. در مسئله تخصیص کاربری اراضی، عملگر تقاطع با دو جواب انتخاب‌شده از طریق جستجوی رقابتی[1]، دو جواب برای نسل بعدی تولید می‌کند. برای تولید دو جواب نسل بعد، جواب‌های انتخاب‌شده به P دسته از پلاک‌ها با تعداد تصادفی تقسیم‌بندی می‌شوند. مقدار P هم به‌صورت تصادفی بین ۲ تا ۱۰۰ انتخاب می‌شود. دو جواب نسل بعد با تعویض قسمت‌های مختلف دو جواب والد تولید می‌شوند. شکل (۳) فرآیند تقاطع را به‌صورت نمودار فعالیت نشان می‌دهد.

۲-۲-۲-۳ عملگر جهش

یکی دیگر از عملگرهای الگوریتم ژنتیک، جهش است که برای ایجاد تنوع بیشتر در جواب‌ها و جلوگیری از گیرکردن در جواب‌های بهینه‌ی محلی طراحی گردیده است. این عملگر در مسئله‌ی تخصیص کاربری‌های اراضی با تغییر تصادفی کاربری برخی از پلاک‌های نقشه کار می‌کند. برای این منظور ۱۰ درصد از پلاک‌ها به‌صورت تصادفی انتخاب شده و کاربری آن‌ها به‌صورت تصادفی به یک کاربری مجاز دیگر تغییر می‌کند. قیود تعریف‌شده مجاز بودن کاربری‌ها را تعیین می‌کند. این قیود از قرار گرفتن کاربری‌های غیر مرتبط در پلاک‌های شهری و از تولید جواب‌های نامعتبر جلوگیری می‌کنند.

۳- پیاده‌سازی

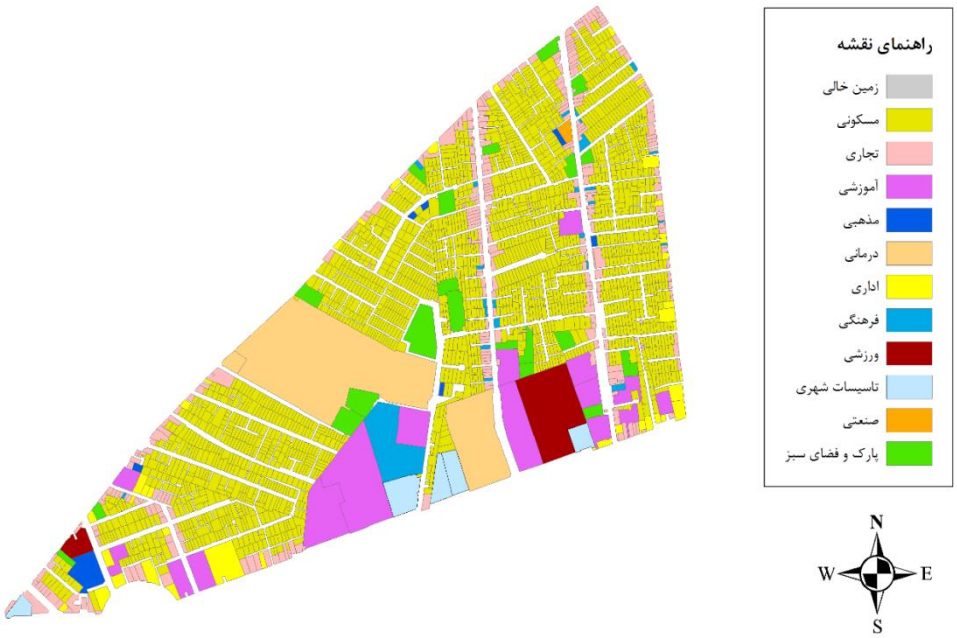
داده‌های کاربری اراضی ناحیه یک منطقه ۷ تهران برای پیاده‌سازی و آزمودن الگوریتم پیشنهادی به منظور بهینه‌سازی کاربری‌های شهری بکار گرفته شده است. از نقاط قابل‌توجه در این منطقه، وجود کاربری‌های متنوع در سطوح مختلف مدیریت شهری است که در این منطقه مسئله مدیریت کاربری‌های شهری را پیچیده می‌سازد. در منطقه موردمطالعه لایه پلاک‌های شهری به‌صورت نوع داده‌ی برداری و سطح کاربری‌های شهری در ۳۸ کلاس کاربری با توجه به سه حد آستانه محلی، ناحیه‌ای و منطقه‌ای تعریف شده است. تعداد پلاک‌های شهری منطقه موردمطالعه برابر ۲۷۰۹ است که مساحتی در حدود ۵۲ هکتار را در بر می‌گیرند. شکل (۴) نقشه پلاک‌های شهری ناحیه یک منطقه ۷ تهران را نشان می‌دهد.



شکل ۳: نمودار فعالیت تولید دو جواب فرزند از طریق عملگر تقاطع

[1] Tournament Search

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-19]
[DOI: 10.29252/jgit.6.4.163]



شکل۴: نقشه‌ی کاربری‌های منطقه موردمطالعه

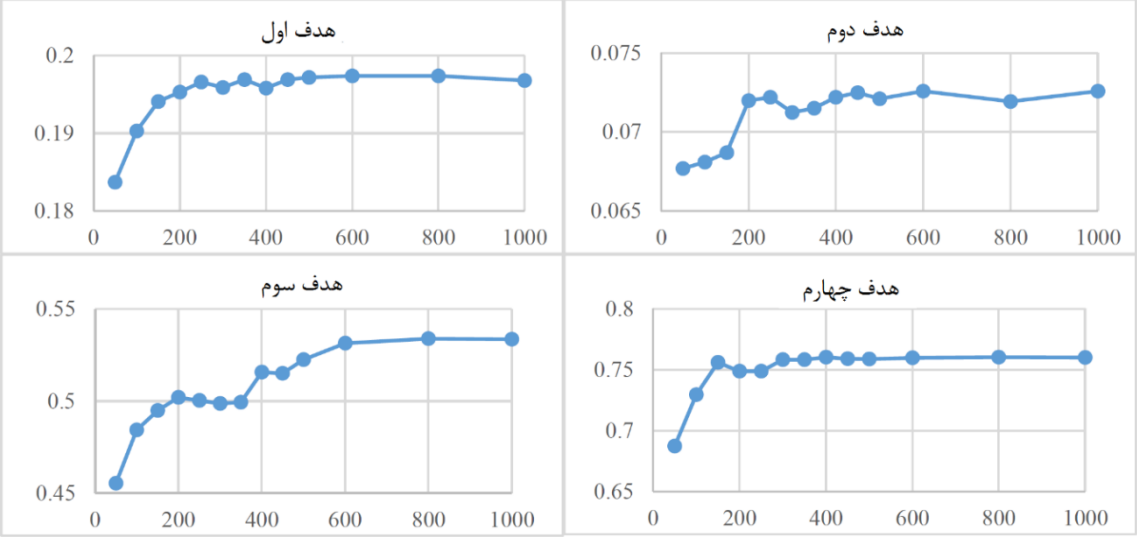
میزان سازگاری و وابستگی بین کاربری‌ها از جداول ارائه شده در [۱۹] برای ناحیه یک منطقه ۷ تهران استخراج شده است. سرانه کاربری‌های شهری در این ناحیه شهری از [۴۸] استخراج شده و در هدف کمینه‌سازی میزان تخطی از سرانه به‌کار گرفته شده است. میزان تراکم مسکونی با توجه به مساحت قطعات مسکونی از الگوی توسعه منطقه ۷ تهران [۴۴] استخراج گردیده و در محاسبه‌ی سرانه‌ی کاربری‌های مسکونی اعمال گردیده است. نوع معابر دسترسی مجاز هر یک نیز از الگوی توسعه منطقه‌ی ۷ تهران استخراج و در اعمال قیود مربوط به نوع دسترسی کاربری‌ها استفاده شده است. میزان حداقل و حداکثر مساحت مجاز پلاک شهری برای هر یک از کاربری‌های شهری از [۴۹] استخراج گردیده و در اعمال قیود مربوط به مساحت کاربری‌ها به‌کار گرفته شده است. پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی در محیط ویژوال استادیو ۲۰۱۰ و با استفاده از زبان C# انجام گرفته و در یک سیستم کامپیوتری با مقدار رم ۴ گیگابایت و پردازنده Intel Core i5-4200U اجرا گردیده است.

۴- نتایج

برای تعیین پارامترهای بهینه‌سازی شامل تعداد جمعیت اولیه، نرخ تقاطع و جهش و تعداد تقسیم‌بندی‌های شبکه، الگوریتم پیشنهادی با پارامترهای مختلف اجرا شد و بهترین مقادیر انتخاب گردید. به‌منظور تعیین تعداد جمعیت اولیه، الگوریتم پیشنهادی با مقادیر جمعیت اولیه مختلف و تعداد تکرار ۲۰۰ اجرا گردید و بهترین نتایج به دست آمده برای اهداف مختلف، برای انتخاب جمعیت اولیه مناسب مورد بررسی قرار گرفت. شکل (۵) تغییرات بهترین مقادیر اهداف اول تا چهارم را نسبت به افزایش مقدار جمعیت اولیه نشان می‌دهد. با توجه به اینکه هدف پنجم در تکرارهای اولیه به سرعت به مقدار صفر همگرا می‌شود، بهترین مقدار آن با توجه به مقادیر جمعیت مختلف همواره برابر صفر بوده و درنتیجه از نشان دادن شکل آن صرف‌نظر شده است. با توجه به شکل (۵)، اهداف اول و دوم با افزایش جمعیت به بیش از ۲۰۰ تغییرات زیادی در بهترین مقادیر خود نشان نمی‌دهند. هدف سوم با افزایش جمعیت اولیه به بیش از ۶۰۰، تغییرات کمی را نشان می‌دهد. هدف چهارم نیز با

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-19]
[DOI: 10.29252/jgit.6.4.163]

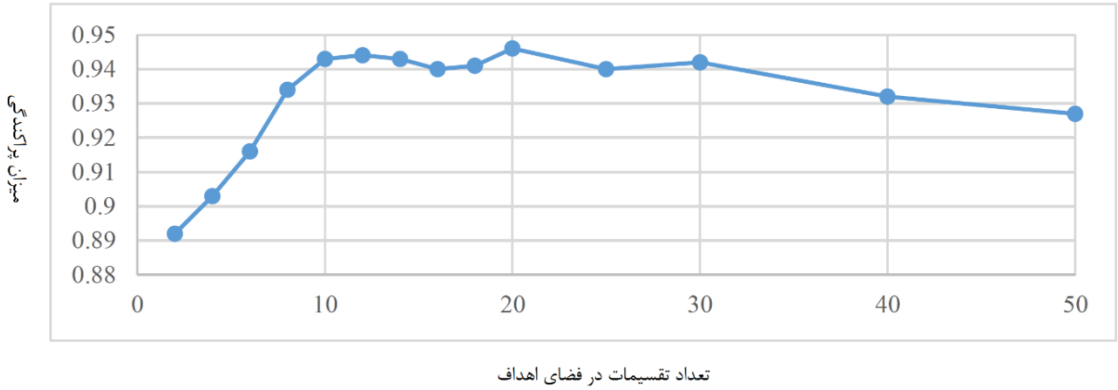
جمعیت اولیه حدود ۳۰۰ به ثبات رسیده و با افزایش جمعیت اولیه تغییر محسوسی در بهترین مقدار این هدف نیز رخ نداده است. درنتیجه، مقدار جمعیت اولیه برابر ۶۰۰ گرفته شده تا بعد از ۲۰۰ تکرار همه اهداف به یک ثبات نسبی برسند. همچنین با توجه به اجراهای مختلف، نرخ تقاطع و جهش نیز با مقادیر ۰.۶ و ۰.۴ به نتایج بهتری منجر می‌شوند.



شکل ۵: تغییرات مقدار اهداف با توجه به تعداد جمعیت اولیه متفاوت

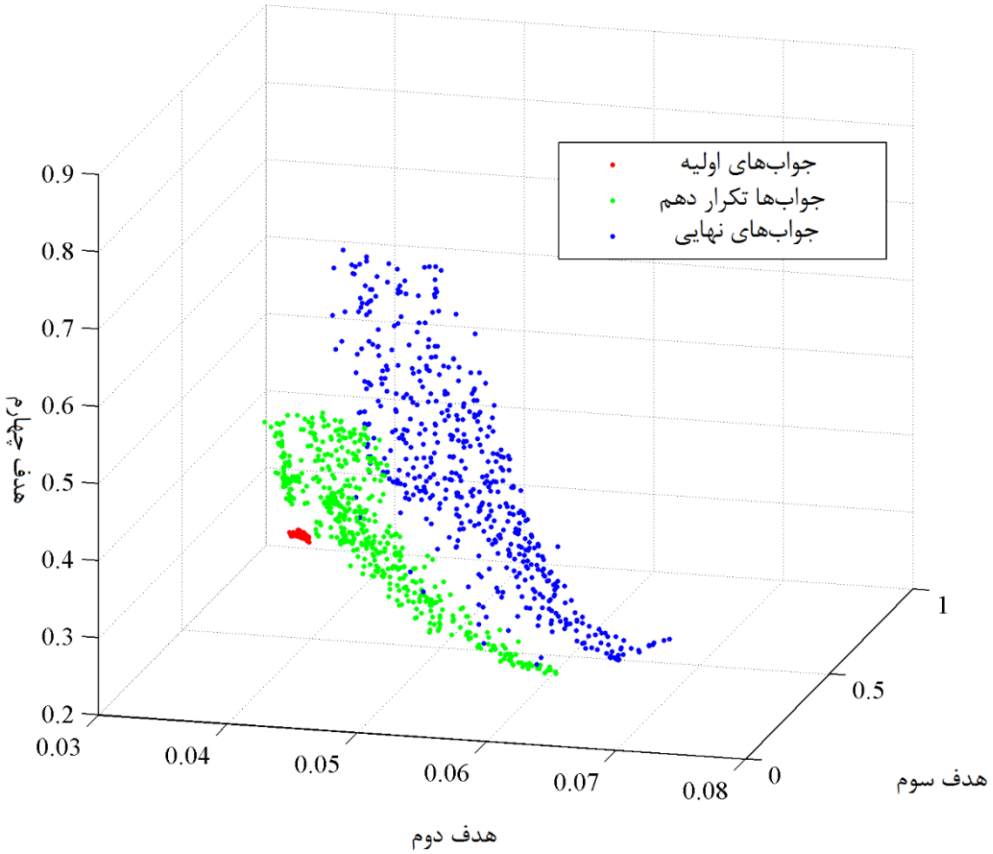
یکی از پارامترهای مهم در نحوه توزیع جواب‌ها در جبهه پارتو تعداد سلول‌های شبکه است. برای تعیین این پارامتر، با ثابت در نظر گرفتن پارامترهای قبلی، با اختصاص مقادیر مختلف به این پارامتر، برنامه اجرا گردید. نتایج در شکل (۶) نشان می‌دهد که با افزایش تعداد تقسیم‌های هر بعد از فضای اهداف معیار پراکندگی جواب‌های نهایی بهبود پیدا می‌کند. این بهبود تا زمانی که تعداد تقسیمات برابر ۱۰ می‌شوند ادامه پیدا می‌کند ولی بعد از ۱۰ تقسیم دیگر بهبود ملموسی در میزان پراکندگی جواب‌ها مشاهده نمی‌شود. با افزایش تعداد تقسیمات به بیش از ۳۰، شاهد بدتر شد معیار پراکنده هستیم. با افزایش تعداد تقسیمات تعداد سلول‌ها در فضای اهداف خیلی زیاد شده و اکثر این سلول‌ها خالی از جواب هستند و سلول‌هایی که حاوی جواب هستند تنها شامل یک یا دو جواب بیشتر نیستند. در این صورت تعداد همسایه‌های هر جواب به صفر یا یک همسایه کاهش پیدا می‌کند و درواقع اهمیت همه جواب‌ها از نظر پراکندگی تقریباً برابر می‌شود. این حالت مانند این است که الگوریتم به‌صورت تقریباً تصادفی جواب‌های نسل بعد را انتخاب کند و میزان اهمیت جواب‌ها ازنظر پراکندگی در انتخاب نسل بعد نقشی نداشته باشد. در این شرایط با کاهش معیار پراکندگی در جواب‌های نهایی مواجه هستیم. درنتیجه بهترین مقدار برای پارامتر تعداد تقسیمات شبکه عدد ۱۰ می‌تواند باشد.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-19]
[DOI: 10.29252/jgit.6.4.163]



شکل ۶: نمودار معیار پراکندگی نسبت به تعداد تقسیم‌بندی‌های شبکه در فضای اهداف.

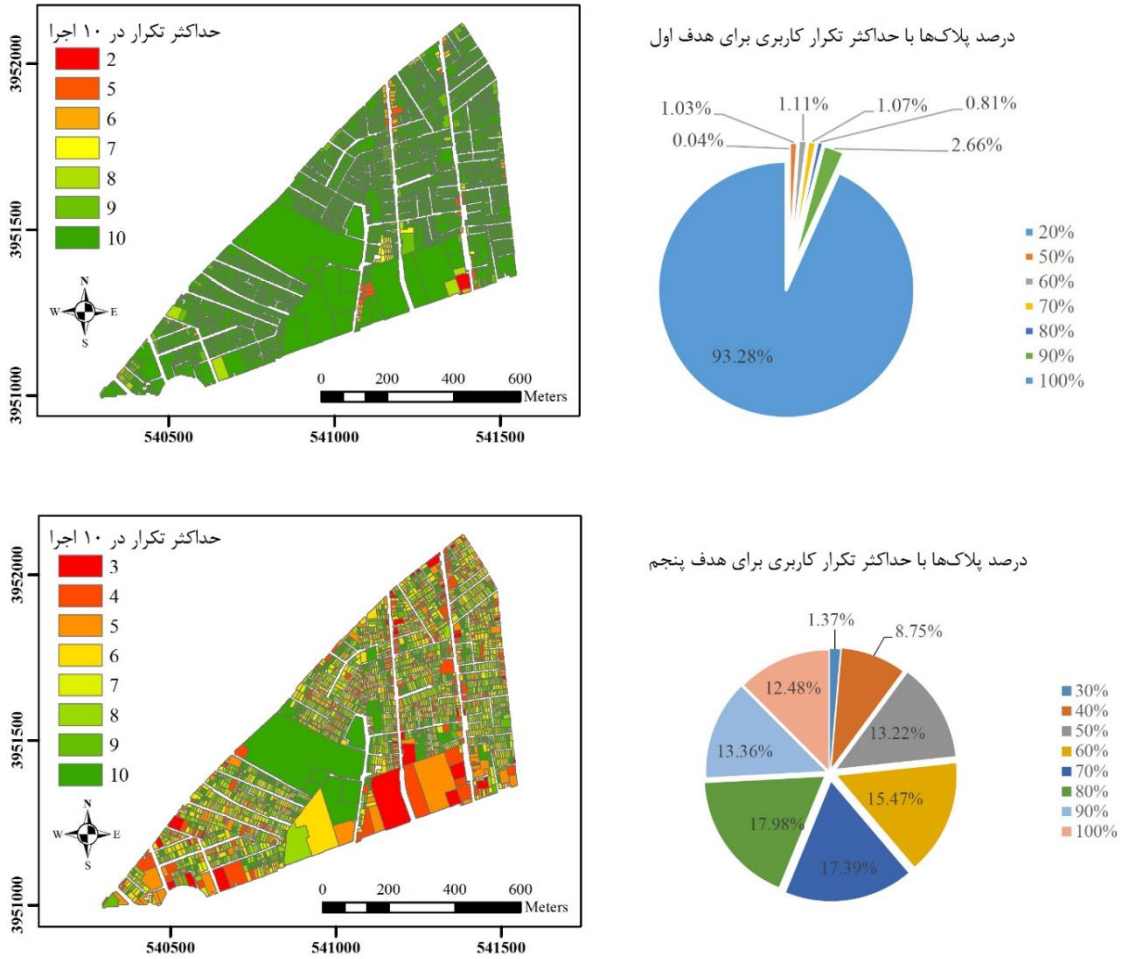
شکل (۷) شکل پارتو در تکرار اول، دهم و آخر را نشان می‌دهد. این شکل نحوه بهبود جواب‌ها در طی فرآیند بهینه‌سازی را نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل مشخص است، جواب‌های اولیه پراکندگی خوبی در فضای اهداف ندارند و در یک قسمت متمرکزشده‌اند. با اجرای الگوریتم، در تکرارهای بعدی جواب‌ها به‌خوبی پراکنده شده و قسمت وسیعی از فضا رو پوشش داده‌اند. مقادیر اهداف نیز با اجرای الگوریتم رو به بهبودی رفته‌اند.



شکل ۷: پراکندگی و همگرایی جواب‌ها در تکرارهای مختلف

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-19]
[DOI: 10.29252/jgit.6.4.163]

تجزیه و تحلیل نتایج در ۱۰ اجرای الگوریتم نشان می‌دهد که الگوریتم از پایداری مناسبی برخوردار است و در اجراهای مختلف به نتایج مشابهی می‌رسد. همان‌طور که در شکل (۸) نشان داده‌شده است در ۱۰ اجرای متفاوت با پارامترهای یکسان، در بهترین جواب‌ها ازنظر هدف اول، ۹۳ درصد پلاک‌ها کاربری‌های یکسانی را دریافت کرده‌اند. در بهترین جواب‌ها ازنظر هدف دوم ۸۹.۵۵، ازنظر هدف سوم ۹۹.۵۶ و ازنظر هدف چهارم ۸۸.۱۹ درصد از پلاک‌ها کاربری‌های یکسانی را دریافت کرده‌اند. ولی در هدف پنجم شرایط متفاوت است و تنها ۱۳ درصد از پلاک‌ها در هر ۱۰ اجرا کاربری‌های یکسان به خود اختصاص می‌دهند. دلیل آن نیز می‌تواند ماهیت تابع هدف پنجم باشد. تابع هدف پنجم به‌صورت تخطی از حداقل و حداکثر سرانه کاربری‌ها محاسبه می‌شود و به همین دلیل جواب‌های متفاوتی می‌تواند حداقل میزان تخطی از سرانه داشته باشند و این تفاوت جواب‌ها باعث می‌شود تنها ۱۳ از پلاک‌ها در هر ۱۰ اجرا کاربری‌های یکسان به خود اختصاص دهند. جدول (۱) نیز این موضوع را به‌خوبی نشان می‌دهد. درحالی‌که بدترین و بهترین مقادیر چهار هدف اول در ۱۰ اجرا بسیار نزدیک به هم هستند، بدترین و بهترین مقادیر هدف پنجم در ۱۰ اجرا تغییرات زیادی را نشان می‌دهد.



شکل۸: میزان همپوشانی جواب‌ها در اجراهای متفاوت

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-19]
[DOI: 10.29252/jgit.6.4.163]

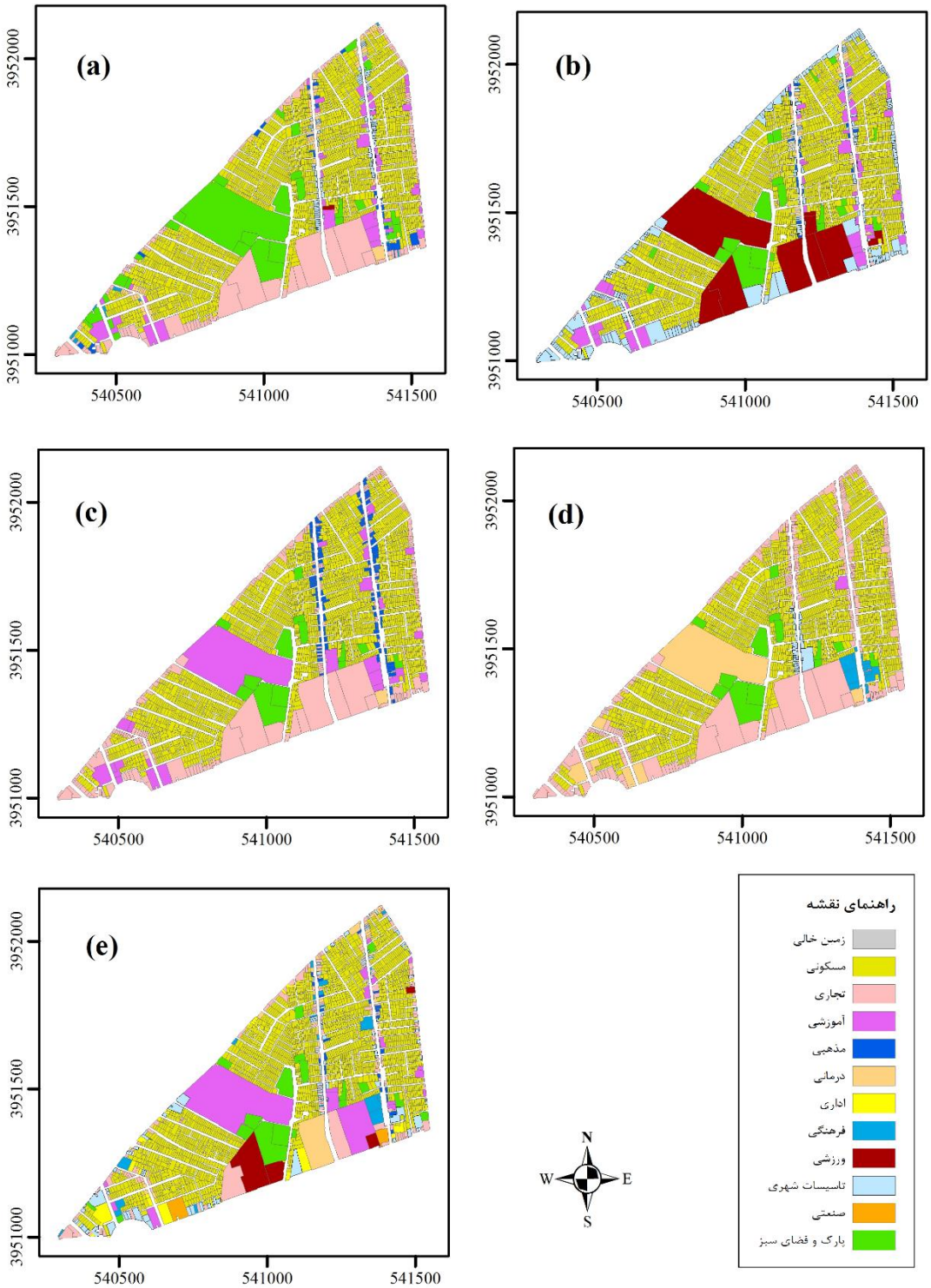
جدول۱: بدترین و بهترین مقادیر اهداف مختلف در اجراهای متفاوت

	objective 1		objective 2		objective 3		objective 4		objective 5	
	Worst	Best	Worst	Best	Worst	Best	Worst	Best	Worst	Best
Run1	0.1038	0.1969	0.0388	0.0727	0.1417	0.5337	0.2505	0.7599	9.4177	0
Run2	0.1033	0.1971	0.0402	0.0712	0.1483	0.5337	0.2488	0.76	9.4039	0
Run3	0.1036	0.1974	0.0387	0.0727	0.1418	0.5341	0.25	0.7601	10.0576	0
Run4	0.1037	0.1973	0.0399	0.0727	0.1414	0.5337	0.2535	0.7601	9.9615	0
Run5	0.1035	0.1973	0.0391	0.0727	0.1425	0.5337	0.2578	0.7602	9.621	0
Run6	0.1037	0.1974	0.0396	0.0727	0.1417	0.534	0.253	0.7602	10.3944	0
Run7	0.1032	0.1974	0.0419	0.0726	0.1407	0.534	0.2532	0.7599	9.4346	0
Run8	0.1032	0.1971	0.0376	0.0724	0.1451	0.5341	0.2467	0.7599	10.2337	0
Run9	0.1044	0.1974	0.041	0.0727	0.1414	0.5341	0.244	0.7599	9.386	0
Run10	0.104	0.1972	0.0393	0.0726	0.1414	0.5337	0.2536	0.76	9.3485	0

از بین همه جواب‌های جبهه‌ی پارتو، پنج جواب از اهمیت خاصی برخوردار هستند. این پنج جواب بهترین چیدمان کاربری‌ها برای هر یک از اهداف را نشان می‌دهند. شکل (۹) این پنج چیدمان از کاربری‌ها را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل (۹) قسمت (a) نشان داده شده است، در بهترین چیدمان برای هدف اول (سازگاری)، کاربری‌های مسکونی، فضای سبز، تجاری و آموزشی بیشترین سرانه را به خود اختصاص داده‌اند. این کاربری‌ها سازگاری بیشتری با یکدیگر داشته و حضورشان در کنار همدیگر باعث شده است که سازگاری کلی کاربری‌ای منطقه موردمطالعه حداکثر سازگاری را با یکدیگر داشته باشند. شکل (۹) قسمت (b) بهترین چیدمان کاربری‌ها برای حصول حداکثر وابستگی بین کاربری‌ها را نشان می‌دهد. در این چیدمان به‌جز کاربری مسکونی که با توجه قیود اعمال شده در همه چیدمان‌ها کاربری غالب محسوب می‌شود، کاربری‌های ورزشی و تأسیسات شهری بیشترین سرانه را به خود اختصاص داده‌اند. این کاربری‌ها ازنظر وابستگی، بیشترین وابستگی را با کاربری‌های مسکونی دارند و حضورشان در این چیدمان باعث بالا رفتن وابستگی کلی کاربری‌های منطقه موردمطالعه شده است. شکل (۹) قسمت (c) بهترین چیدمان کاربری‌ها ازنظر مناسبت را نشان می‌دهد. در این چیدمان کاربری‌های تجاری، آموزشی و مذهبی بیشترین سرانه را به خود اختصاص داده‌اند. این کاربری‌ها با توجه به پارامترهایی که برای به‌دست آوردن میزان مناسبت کاربری‌ها تعریف شده‌اند [۱۹]، بیشترین مناسبت را برای چیدمان کلی کاربری‌ها به ارمغان آورده‌اند. شکل (۹) قسمت (d) بهترین چیدمان کاربری‌ها ازنظر همسانی کاربری‌های مجاور را نشان می‌دهد. کاربری‌های همسان در این نقشه در قسمت‌های مختلف نقشه در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند. همچنین در این نقشه، تنوع کاربری‌ها نسبت به سایر نقشه‌ها کمتر است. دلیل این امر نیز به خاطر رسیدن به حداکثر همسانی بین کاربری‌های مجاور است. و درنهایت شکل (۹) قسمت (e) بهترین چیدمان کاربری‌ها ازنظر سرانه هر یک از کاربری‌ها را نشان می‌دهد. همان‌طور از شکل مشخص است در این نقشه، تنوع کاربری‌ها از نقشه‌های دیگر بیشتر است. با توجه به سرانه بالای کاربری آموزشی، الگوریتم بزرگ‌ترین قطعه ملکی را در منطقه موردمطالعه به این کاربری اختصاص داده است. با توجه به این که سرانه کاربری‌ها یک بازه در نظر گرفته شده است، در اجراهای متفاوت بهترین چیدمان کاربری‌ها ازنظر سرانه کاربری‌ها با یکدیگر

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-19]
[DOI: 10.29252/jgit.6.4.163]

تفـاوت‌هـای زیـادی را نشـان مـی‌دهـد. شـکل (۸) این تفاوت‌ها را به‌خوبی نشان می‌دهد.



شکل۹: بهترین چیدمان کاربری‌های با توجه به اهداف مختلف، (a). چیدمان با بیشترین سازگاری، (b). چیدمان با بیشترین وابستگی، (c). چیدمان با بیشترین مناسبت، (d). چیدمان با بیشترین همسانی کاربری‌های مجاور، (e). چیدمان با بیشترین تأمین سرانه

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-19]
[DOI: 10.29252/jgit.6.4.163]

۵- ارزیابی نتایج

به منظور ارزیابی نتایج حاصل از بکارگیری شبکه برای بهبود توزیع جواب‌ها در فضای پارتو از دو الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب نسخه‌ی ۲ و ۳ (NSGAII و NSGAIII) بدون در نظر گرفتن شبکه در فضای اهداف استفاده گردیده است. در نسخه سوم الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب، در قسمت نرمال کردن جواب‌ها، نقاط حدّی[1] ممکن است تکراری باشد که در این صورت می‌توان بی‌نهایت ابرصفحه[2] تعریف کرد که این نقاط را در برگیرد [۳۶]. برای پیشگیری از این مشکل، در پیاده‌سازی این الگوریتم از روش نرمال‌سازی که در مقاله [۳۶] توضیح داده شده است استفاده گردیده است.

جبهه‌ی جواب‌های نامغلوب الگوریتم‌های بهینه‌سازی چندهدفه را می‌توان از دو منظر همگرایی و مورد ارزیابی قرار داد. به‌منظور مقایسه‌ی جبهه‌ی جواب‌های نامغلوب این الگوریتم‌ها با الگوریتم پیشنهادی از دو شاخص مقایسه‌ی نتایج الگوریتم‌های بهینه‌سازی چندهدفه استفاده گردیده است. این دو شاخص شامل شاخص همگرایی[3] و گسترش[4] است. شاخص همگرایی [۵۰] به‌منظور نمایش میزان نزدیکی جبهه‌ی جواب‌های نامغلوب به دست آمده از الگوریتم و جبهه‌ی جواب‌های پارتوی واقعی استفاده می‌گردد. شاخص گسترش[۵۰] میزان پراکندگی جواب‌های نامغلوب را نشان می‌دهد. برای محاسبه هر دو شاخص معرفی‌شده، جبهه‌ی جواب‌های پارتو واقعی موردنیاز است. برای به دست آوردن جبهه‌ی جواب‌های پارتو مستقل به‌منظور ارزیابی نتایج سه الگوریتم یادشده، از الگوریتم ژنتیک تک هدفه استفاده گردیده است. الگوریتم ژنتیک تک هدف برای حداکثرسازی تابع هدف کلی (T) زیر استفاده شده است.

در رابطه (۷)، پارامترهای O_1 تا O_5 نشان‌دهنده مقادیر اهداف اول تا پنجم هستند. با توجه به این که مقدار هدف پنجم باید کمینه گردد، در این رابطه از مقدار کل کسر گردیده است. پارامترهای W_1 تا W_5 نشان‌دهنده وزن هر یک از اهداف هستند. برای تولید ۶۰۰ جواب نامغلوب توسط الگوریتم ژنتیک تک هدفه، باید اوزان مختلفی استفاده گردد. برای تولید تصادفی این اوزان به‌صورتی که مجموع آن‌ها برابر یک شود یک بردار در فضای اوزان به‌صورت تصادف انتخاب شده و تقاطع آن با صفحه نرمال اوزان به‌دست می‌آید. نقطه تقاطعی که روی صفحه نرمال به دست می‌آید پنج وزن تصادفی خواهد بود که مجموعشان برابر یک خواهد بود. معادله صفحه نرمال در فضای اوزان به‌صورت رابطه (۸) است.

[1] Extreme Points
[2] Hyperplane
[3] Convergence Metric
[4] Spread Metric

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-19]
[DOI: 10.29252/jgit.6.4.163]

رابطه (۷)
$$T = W_1 \times O_1 + W_2 \times O_2 + W_3 \times O_3 + W_4 \times O_4 - W_5 \times O_5$$

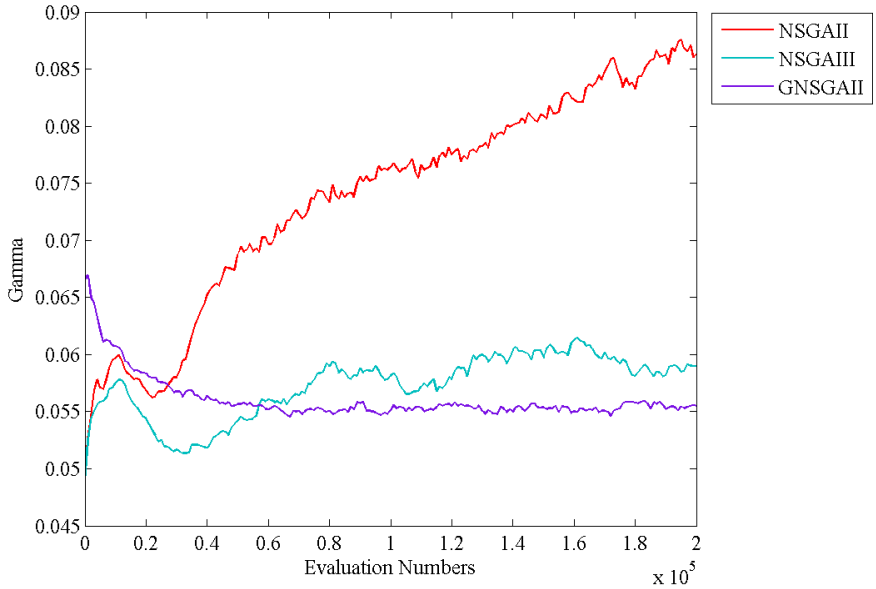
رابطه (۸)
$$W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 = 1$$

و معادله برداری تصادفی در فضای وزن‌ها به‌صورت زیر قابل‌بیان است:

رابطه (۹)
$$\begin{cases} W_1 = V_1 \times t \\ W_2 = V_2 \times t \\ W_3 = V_3 \times t \\ W_4 = V_4 \times t \\ W_5 = V_5 \times t \end{cases}$$

که در آن، متغیرهای V_1 تا V_5 مقادیر تصادفی بزرگ‌تر از صفر هستند. با جایگذاری معادله بردار در معادله صفحه نرمال، مقدار t به دست آمده و با استفاده از معادله بردار مقادیر نرمال اوزان اهداف محاسبه می‌شوند.

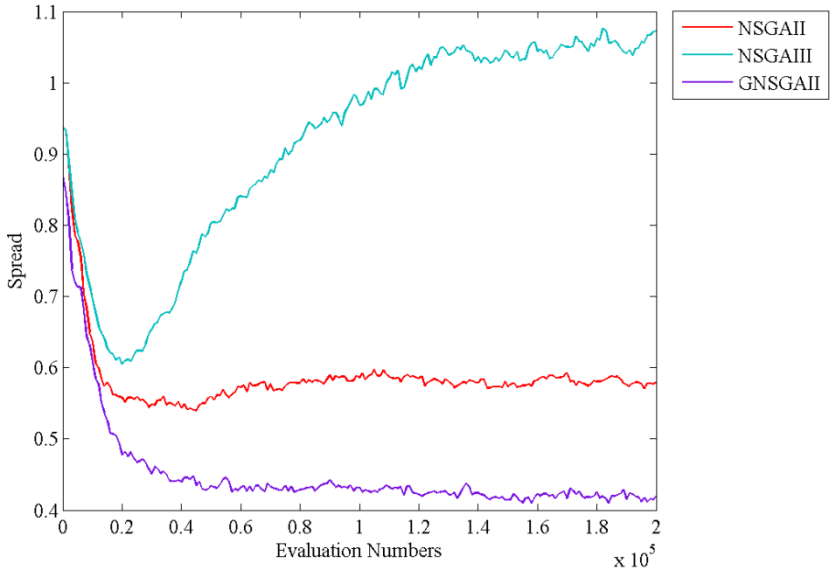
شکل (۱۰) مقادیر شاخص همگرایی را برای هر سه الگوریتم در تکرارهای مختلف نشان می‌دهد. همان‌طور در شکل نشان داده شده است با تکرارهای بیشتر همگرایی الگوریتم پیشنهادی بهبود یافته و بعد از چندین تکرار به ثبات نسبی رسیده است. الگوریتم‌های ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب نسخه ۲ و۳ بعد از کاهش در تکرارهای ابتدایی، شروع به واگرایی نموده است.



شکل۱۰: شاخص همگرایی سه الگوریتم مورد ارزیابی

شکل (۱۱) مقادیر شاخص گسترش برای هر سه الگوریتم در تکرارهای مختلف نشان می‌دهد. مقادیر گسترش الگوریتم پیشنهادی بعد از بهبود به ثبات نسبی رسیده است. الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب نسخه دو نیز بعد از بهبود به ثبات نسبی رسیده است. اما در نسخه سوم بعد از بهبود میزان گسترش دوباره در تکرارهای بعدی مقدار گسترش افزایش یافته و رو به بدتر شدن رفته است. همان‌طور در شکل (۱۱) نشان داده شده است از نظر شاخص گسترش نیز الگوریتم پیشنهادی بهتر از دو الگوریتم دیگر عمل نموده است. نکته جالب اینجاست که الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب نسخه دو بهتر از نسخه سوم عمل نموده است.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-19]
[DOI: 10.29252/jgit.6.4.163]



شکل۱۱: شاخص گسترش سه الگوریتم مورد ارزیابی

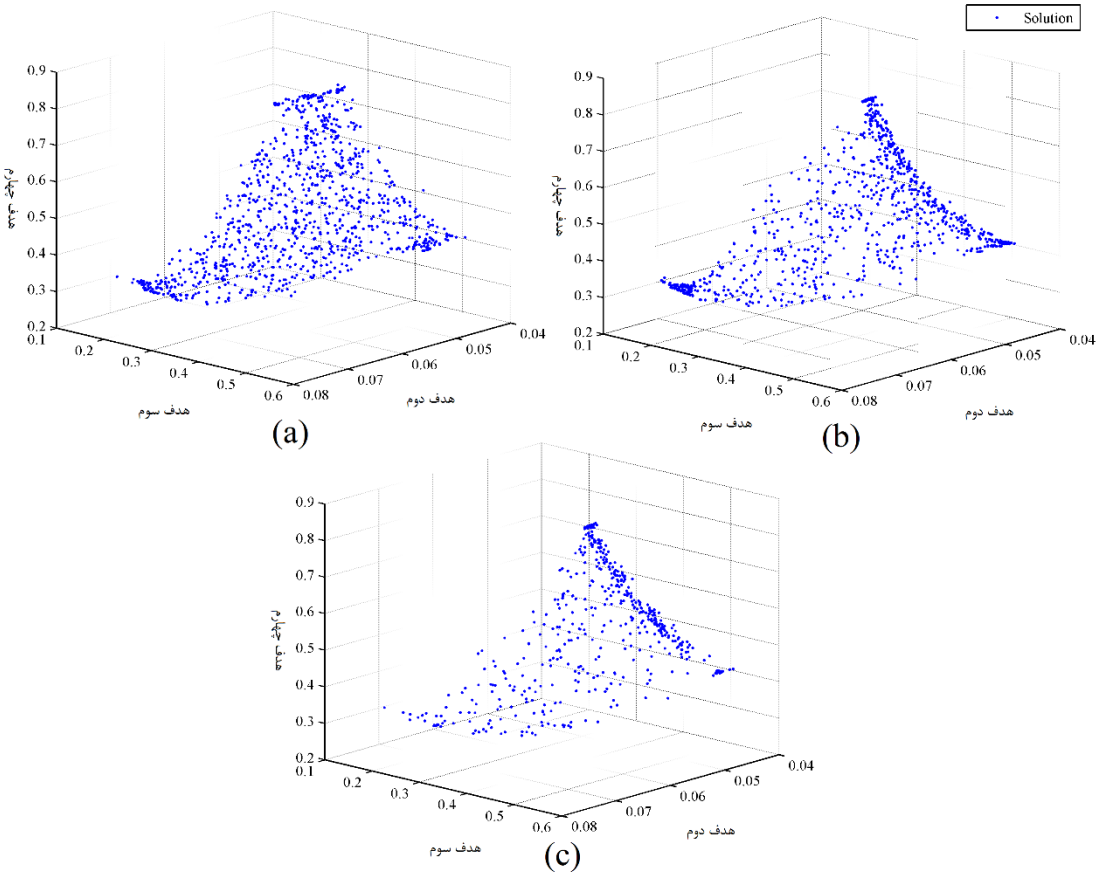
شکل (۱۲) جواب‌های نامغلوب هر سه الگوریتم را در فضای اهداف نشان می‌دهد. با توجه به این شکل کاملاً مشخص است که الگوریتم پیشنهادی در تولید جواب‌هایی با پراکندگی یکنواخت بهتر از دو الگوریتم دیگر عمل نموده است. این شکل نتایج شکل (۱۱) را نیز تائید می‌کند. در این شکل نیز کاملاً مشخص است که الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب نسخه ۲ در تولید جواب‌های متنوع، بهتر از نسخه ۳ عمل کرده است.

۶- نتیجه‌گیری

با توجه به وجود اهداف و قیود گوناگون در فرآیند تخصیص کاربری‌های اراضی شهری، این فرآیند را می‌توان یک فرآیند بهینه‌سازی چندین هدفه در نظر گرفت. به‌منظور بهینه‌سازی این فرآیند در این تحقیق یک روش بهینه‌سازی چندهدفه برمبنای الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب و شبکه ارائه گردید. برخی تحقیقات قبلی نیز از مفهوم شبکه برای توزیع بهتر جواب‌های در فضای اهداف بهره جسته‌اند. در این تحقیق نیز مفهوم شبکه به جای فاصله ازدحامی در الگوریتم NSGAII مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به ماهیت ساده شبکه و تشکیل این شبکه تنها با دو نقطه در فضای اهداف، استفاده از شبکه نسبت به محاسبه فاصله ازدحامی در NSGAIIکارامدتر است. سلول‌های این شبکه با محاسبه تعداد جواب‌های همسایه هر جواب به خوبی می‌توانند توزیع جواب‌ها در فضای پارتو را بهبود بخشند. با توجه به ماهیت مسئله تخصیص کاربری‌ها، همگرایی جواب‌ها به جواب‌های بهینه به کندی صورت گرفته و نیاز به آزمون وخطاهای زیادی است تا چیدمان کاربری‌ها به حالت مطلوب خود برسند. از این‌رو در این تحقیق یک عملگر جدید برای تقاطع معرفی گردید تا همگرایی جواب‌ها به حالت بهینه تسریع گردد. به منظور ارزیابی الگوریتم پیشنهادی نتایج آن با دو الگوریتم معروف در زمینه بهینه‌سازی چندهدفه مقایسه گردید نتایج مقایسه نشان می‌دهند که الگوریتم پیشنهادی در همگرایی نتایج به جواب‌های پارتو و گسترش جواب‌ها در فضای پارتو بخوبی نسبت به دو الگوریتم دیگر بهبود داشته است. یکی از محدودیت‌های این تحقیق، تولید جواب‌های نامغلوب فراوان است. در تحقیقات آتی می‌توان مدلی را ارائه داد که بتواند جواب‌هایی را که ذینفعان در فرآیند برنامه‌ریزی شهری روی آن به توافق رسیده‌اند را از

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-19]
[DOI: 10.29252/jgit.6.4.163]

بین انبوهی از جواب‌های نامغلوب انتخاب کند. این مدل با استفاده از روش‌های مدل‌سازی تعاملات بین ذینفعان مانند مدل‌های تعاملی و چندعاملی می‌تواند با مدل‌سازی ترجیحات ذینفعان، جوابی را که بیشترین سازگاری با این ترجیحات را دارد انتخاب نموده و در اختیار برنامه‌ریزان شهری قرار دهد.



شکل ۱۲: جواب‌های نامغلوب در فضای اهداف (a) جواب‌های حاصل از الگوریتم پیشنهادی. (b) جواب‌های حاصل الگوریتم NSGAII. (c) جواب‌های حاصل از الگوریتم NSGAIII

مراجع

[1] A. Saidnia, Urban land-use (In Persian) vol. Two. Tehran: Publication of Tehran Urban Planning & Research Center (TUPRC), 1999.

[2] X. Li and L. Parrott, "An improved Genetic Algorithm for spatial optimization of multi-objective and multi-site land use allocation," Computers, Environment and Urban Systems, vol. 59, pp. 184-194, 9// 2016.

[3] G. Arciniegas and R. Janssen, "Spatial decision support for collaborative land use planning workshops," Landscape and Urban Planning, vol. 107, pp. 332-342, 9/15/ 2012.

[4] X. Li and A. G.-O. Yeh, "Modelling sustainable urban development by the integration of constrained cellular automata and GIS," International Journal of Geographical Information Science, vol. 14, pp. 131-152, 2000.

[5] T. A. Arentze, A. W. Borgers, L. Ma, and H. J. Timmermans, "An agent-based heuristic method for generating land-use plans in

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-19]

[DOI: 10.29252/jgit.6.4.163]

urban planning," Environment and planning. B, Planning & design, vol. 37, p. 463, 2010.

[6] K. Cao, M. Batty, B. Huang, Y. Liu, L. Yu, and J. Chen, "Spatial multi-objective land use optimization: extensions to the non-dominated sorting genetic algorithm-II," International Journal of Geographical Information Science, vol. 25, pp. 1949-1969, 2011.

[7] G. Arciniegas, "Map-based decision support tools for collaborative land use planning," Free University Amsterdam PhD thesis, 2012.

[8] P. Pelzer, S. Geertman, P. Pelzer, S. Geertman, R. v. d. van der Heijden, and E. Rouwette, "The added value of Planning Support Systems: A practitioner's perspective," Computers, Environment and Urban Systems, vol. 48, pp. 16–27, 2014.

[9] G. Arciniegas, R. Janssen, and N. Omtzigt, "Map-based multicriteria analysis to support interactive land use allocation," International Journal of Geographical Information Science, vol. 25, pp. 1931-1947, 2011.

[10] S. M. Ghavami, M. Taleai, and T. Arentze, "Socially rational agents in spatial land use planning: A heuristic proposal based negotiation mechanism," Computers, Environment and Urban Systems, vol. 60, pp. 67-78, 11// 2016.

[11] S. Abolhasani, M. Taleai, M. Karimi, and A. Rezaee Node, "Simulating urban growth under planning policies through parcel-based cellular automata (ParCA) model," International Journal of Geographical Information Science, pp. 1-26, 2016.

[12] H. Moah and P. Kanaroglou, "A tool for evaluating urban sustainability via integrated transportation and land use simulation models," Urban Environment, vol. 3, pp. 28–46, 2009.

[13] E. Chuvieco, "Integration of linear programming and GIS for land-use modelling," International Journal of Geographical Information Systems, vol. 7, pp. 71-83, 1993/01/01 1993.

[14] A. Haque and Y. Asami, "Optimizing urban land use allocation for planners and real estate developers," Computers, Environment and Urban Systems, vol. 46, pp. 57-69, 2014.

[15] K. Cao, B. Huang, S. Wang, and H. Lin, "Sustainable land use optimization using Boundary-based Fast Genetic Algorithm," Computers, Environment and Urban Systems, vol. 36, pp. 257-269, 2012.

[16] K. Khalili-Damghani, B. Aminzadeh-Goharrizi, S. Rastegar, and B. Aminzadeh-Goharrizi, "Solving land-use suitability analysis and planning problem by a hybrid meta-heuristic algorithm," International Journal of Geographical Information Science, 2014.

[17] J. Porta, J. Parapar, R. Doallo, F. F. Rivera, I. Santé, and R. Crecente, "High performance genetic algorithm for land use planning," Computers, Environment and Urban Systems, vol. 37, pp. 45-58, 2013.

[18] J. C. Aerts, M. van Herwijnen, and T. J. Stewart, "Using simulated annealing and spatial goal programming for solving a multi site land use allocation problem," in International Conference on Evolutionary Multi-Criterion Optimization, 2003, pp. 448-463.

[19] Z. Masoomi, M. S. Mesgari, and M. Hamrah, "Allocation of urban land uses by Multi-Objective Particle Swarm Optimization algorithm," International Journal of Geographical Information Science, vol. 27, pp. 542-566, 2013.

[20] R. J. Balling, J. T. Taber, M. R. Brown, and K. Day, "Multiobjective urban planning using genetic algorithm," Journal of Urban Planning and Development, vol. 125, pp. 86-99, 1999.

[21] T. J. Stewart, R. Janssen, and M. van Herwijnen, "A genetic algorithm approach to multiobjective land use planning," Computers & Operations Research, vol. 31, pp. 2293-2313, 2004.

[22] J. C. Aerts and G. B. Heuvelink, "Using

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-19]

[DOI: 10.29252/jgit.6.4.163]

simulated annealing for resource allocation," International Journal of Geographical Information Science, vol. 16, pp. 571–587, 2002.

[23] X. Liu, X. Li, X. Shi, K. Huang, and Y. Liu, "A multi-type ant colony optimization (MACO) method for optimal land use allocation in large areas," International Journal of Geographical Information Science, vol. 26, 2012.

[24] M. Shifa, H. Jianhua, L. Feng, and Y. Yan, "Land-use spatial optimization based on PSO algorithm," Geo-Spatial Information Science, vol. 14(1), pp. 54–61, 2011.

[25] L. Yang, X. Sun, L. Peng, J. Shao, and T. Chi, "An improved artificial bee colony algorithmfor optimal land-use allocation," International Journal of Geographical Information Science, pp. 1-20, 2015.

[26] M. Mohammadi, M. Nastaran, and A. Sahebgharani, "Development, application, and comparison of hybrid meta-heuristics for urban land-use allocation optimization: Tabu search, genetic, GRASP, and simulated annealing algorithms," Computers, Environment and Urban Systems, vol. 60, pp. 23-36, 11// 2016.

[27] A. Ligmann - Zielinska, R. L. Church, and P. Jankowski, "Spatial optimization as a generative technique for sustainable multiobjective land - use allocation," International Journal of Geographical Information Science, vol. 22, pp. 601-622, 2008.

[28] K. Deb, "Multi-objective optimization," in Search methodologies, ed: Springer, 2014, pp. 403-449.

[29] K. Huang, X. Liu, X. Li, J. Liang, and S. He, "An improved artificial immune system for seeking the Pareto front of land-use allocation problem in large areas," International Journal of Geographical Information Science, vol. 27, pp. 922-946, 2013/05/01 2013.

[30] C. M. Feng and J. J. Lin, "Using a genetic algorithm to generate alternative sketch maps for urban planning," Computers Environment and Urban Systems, vol. 23, pp. 91–108, 1999.

[31] K. Deb and H. Jain, "An evolutionary many-objective optimization algorithm using reference-point-based nondominated sorting approach, part I: solving problems with box constraints," Evolutionary Computation, IEEE Transactions on, vol. 18, pp. 577-601, 2014.

[32] R. Cheng, Y. Jin, M. Olhofer, and B. Sendhoff, "A Reference Vector Guided Evolutionary Algorithm for Many-Objective Optimization," IEEE Transactions on Evolutionary Computation, vol. 20, pp. 773-791, 2016.

[33] S. Yang, M. Li, X. Liu, and J. Zheng, "A Grid-Based Evolutionary Algorithm for Many-Objective Optimization," IEEE Transactions on Evolutionary Computation, vol. 17, pp. 721-736, 2013.

[34] [34] H. Ishibuchi, R. Imada, Y. Setoguchi, and Y. Nojima, "Performance comparison of NSGA-II and NSGA-III on various many-objective test problems," in 2016 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC), 2016, pp. 3045-3052.

[35] T. Chiang, "nsga3cpp: A C++ implementation of NSGA-iii," ed, 2014.

[36] Y. Yuan, H. Xu, and B. Wang, "An improved NSGA-III procedure for evolutionary many-objective optimization," presented at the Proceedings of the 2014 Annual Conference on Genetic and Evolutionary Computation, Vancouver, BC, Canada, 2014.

[37] [37] B. Li, J. Li, K. Tang, and X. Yao, "Many-objective evolutionary algorithms: A survey," ACM Computing Surveys (CSUR), vol. 48, p. 13, 2015.

[38] K. Cao and X. Ye, "Coarse-grained parallel genetic algorithm applied to a vector based land use allocation optimization problem: the case study of Tongzhou Newtown, Beijing, China," Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, vol. 27, pp.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-19]

[DOI: 10.29252/jgit.6.4.163]

1133-1142, 2013.

[39] T. J. Stewart and R. Janssen, "A multiobjective GIS-based land use planning algorithm," Computers, Environment and Urban Systems, vol. 46, pp. 25-34, 2014.

[40] M. Taleai, A. Sharifi, R. Sliuzas, and M. Mesgari, "Evaluating the compatibility of multi-functional and intensive urban land uses," International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, vol. 9, pp. 375-391, 12// 2007.

[41] H. Jain and K. Deb, "An evolutionary many-objective optimization algorithm using reference-point based nondominated sorting approach, part II: handling constraints and extending to an adaptive approach," Evolutionary Computation, IEEE Transactions on, vol. 18, pp. 602-622, 2014.

[42] E. Mezura-Montes and C. A. C. Coello, "Constraint-handling in nature-inspired numerical optimization: past, present and future," Swarm and Evolutionary Computation, vol. 1, pp. 173-194, 2011.

[43] J. Maleki, F. Hakimpour, and Z. Masoumi, "A Parcel-Level Model for Ranking and Allocating Urban Land-Uses," ISPRS International Journal of Geo-Information, vol. 6, p. 273, 2017.

[44] C. E. Farnahad, "Development pattern of district 7 of Tehran (In Persian)," Orderd by Tehran municipality2005.

[45] K. Deb, A. Pratap, S. Agarwal, and T. Meyarivan, "A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II," Evolutionary Computation, IEEE Transactions on, vol. 6, pp. 182-197, 2002.

[46] M. Köppen and K. Yoshida, "Substitute distance assignments in NSGA-II for handling many-objective optimization problems," in Evolutionary Multi-Criterion Optimization, 2007, pp. 727-741.

[47] V. Chankong and Y. Y. Haimes, Multiobjective Decision Making Theory and Methodology: New York: North-Holland, 1983.

[48] Maab-Consulting-Engineers, Definitions and concepts of urban land-uses and determining the per capita (In Persian): Iran's Supreme Council for Planning and Architecture, 2010.

[49] M. Habibi and S. Masaeli, Urban land uses per capita (In Persian). Tehran: National Land and Housing Organization, 1999.

[50] K. Deb, Multi-objective optimization using evolutionary algorithms vol. 16: John Wiley & Sons, 2001.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-19]

[DOI: 10.29252/jgit.6.4.163]

K. N. TOOSI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF GEODESY AND GEOMATICS ENGINEERING

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.6, No.4, Winter 2019

Urban Land-Use Allocation By A Cell-based Multi-Objective Optimization Algorithm

Jamshid Maleki[1], Farshad Hakimpour [2], Zohreh Masoumi[*3]

1- Ph.D. student of Geospatial Information Systems (GIS) in School of Surveying and Geospatial Engineering, College of Engineering, University of Tehran
2-Assisstant professor in School of Surveying and Geospatial Engineering, College of Engineering, University of Tehran
3- Assisstant professor in Department of Earth Sciences, University in Advanced Studies in Basic Sciences

Abstract

Allocating urban land-uses to land-units with regard to different criteria and constraints is considered as a spatial multi-objective problem. Generating various urban land-use layouts with respect to defined objectives for urban land-use allocation can support urban planners in confirming appropriate layouts. Hence, in this research, a multi-objective optimization algorithm based on grid is proposed to generate well-distributed solutions in objective space. In order to preserve diversity in Pareto front approximation, a grid is defined in objective space. The cells of this grid cluster the solutions and determine the suitable solutions for next generation in optimization process. The land-uses of region 1 of the district 7 of Tehran is used to assess the efficiency of the algorithm in optimizing urban land-use allocation. The results of the proposed algorithm are compared with the results of Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II and III (NSGA-II and NSGA-III). Comparing the results indicate that the proposed algorithm acts better than NSGA-II and NSGA-III in preserving diversity and improving the convergence of the solutions in Pareto front.

Key words: Urban Land-use Allocation, Grid-based NSGA-II, Multi-objective Optimization, Spatial Planning Support Systems.

Correspondence Address. Department of earth sciences, Institute for advanced studies in basic sciences, No. 444, Prof. Yousef Sobouti Blvd. P. O. Box 45195-1159 Zanjan Iran,
Tel: 024- 33153396
Email: z.masoumi@iasbs.ac.ir

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-12-19]

[DOI: 10.29252/jgit.6.4.163]