نشریه علمی پژوهشی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال ششم، شماره نخست، بهار ۱۳۹۷

Vol.6, No.1, Spring 2018

۱۳۱-۱۵٤

برنامه‌ریزی چندهدفه‌ی کاربری اراضی شهری و مدلسازی تغییرات آنها با استفاده از الگوریتم تکاملی چند هدفه بر مبنای تجزیه

زهره معصومی*[۱]، محمدسعدی مسگری [۲]

۱- استادیار و عضو هیأت علمی دانشکده‌ی علوم زمین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه‌ی زنجان و عضو پژوهشکده‌ی تغییر اقلیم و گرمایش زمین

۲- دانشیار و عضو هیأت علمی دانشکده‌ی مهندسی ژئوماتیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی و قطب علمی فناوری اطلاعات مکانی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۵/۲۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۹/۰۳

چکیده

با توجه به صلب بودن طرح‌های جامع و تفضیلی در برنامه‌ریزی کاربری اراضی شهری، توجه به تغییرات کاربری‌ها و مدلسازی آنها کمک شایانی در برآورد تأثیر تغییرات خواهد نمود. بررسی تأثیر تغییر کاربری‌های شهری در چینش سایر کاربری‌ها و معیارهای طراحی مانند سازگاری، وابستگی، مناسبت و سرانه‌ها به لحاظ محاسباتی مسئله‌ای چندهدفه بوده و جزء مسائل سخت رده‌بندی می‌شود. زیرا به‌دلیل تنوع بالای کاربری¬ها در محیط شهری و روابط پیچیده‌ی حاکم بر انواع کاربری‌ها می‌توان چینش‌های مختلفی از کاربری‌ها ارائه داد. در این تحقیق هدف اصلی به دست آوردن تأثیر تغییر یک یا چند کاربری بر روی چینش سایر کاربری‌ها با در نظر گرفتن سه تابع هدف سازگاری، وابستگی، مناسبت و سرانه‌ها به صورت همزمان می‌باشد. به این منظور از الگوریتم تکاملی چند هدفه بر مبنای تجزیه (MOEA/D Multi-Objective Evolutionary Algorithm based on Decomposition) که یک الگوریتم بر مبنای تجزیه‌ی تابع بهینگی می‌باشد، استفاده شده است. نتایج حاکی از جواب‌های قابل قبول این الگوریتم از نظر تست‌های الگوریتم‌های فرا ابتکاری می‌باشد. همچنین نتایج نشانگر بهینه بودن چینش‌ها نسبت به وضع موجود است. نکته‌ی قابل توجه در مورد نتایج این الگوریتم این است که زمان اجرای الگوریتم نسبت به الگوریتم‌های بهینه‌سازی چندهدفه‌ی رایج در این زمینه مانند الگوریتم ژنتیک چندهدفه با مرتب‌سازی نامغلوب یا(NSGA-II (Non-dominated Sorting Genetic Algorithm-II به مراتب کمتر است. همچنین بازه‌ی جستجوی الگوریتم نیز بیش از الگوریتم NSGA-II می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: تغییر کاربری اراضی شهری، سیستم اطلاعات مکانی، MOEA/D، بهینه‌سازی چندهدفه، حمایت از تصمیم‌گیری

*نویسنده مکاتبه کننده: زنجان، بلوار استاد ثبوتی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه‌ی زنجان، دانشکده‌ی علوم زمین،

تلفن: ۰۲۴۳۳۱۵۳۳۹۶

Email : z.masoumi@iasbs.ac.ir

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.29252/jgit.6.1.131]

۱- مقدمه

ساختار شهرها و چینش کاربری در آن‌ها در پاسخگوئی به نیازهای اقتصادی-اجتماعی و فرهنگی جامعه شکل می‌گیرند و همراه با تغییر در این نیازها، ناگزیر از تحول و پویائی می باشند. طرح‌های جامع و تفصیلی، طرح‌های فیزیکی بلند مدتی می‌باشند که در تهیه و اجرا از انعطاف پذیری لازم برای رویاروئی با تغییرات و نیازهای جدید برخوردار نمی‌باشند. بازتاب‌های کیفی و اثرات کمی این تغییرات معمولاً به‌صورت تجربی تعیین می‌شود و با توجه به پیچیده بودن مسئله، از نظر محاسباتی کمتر به آن پرداخته می‌شود. بنابراین در صورتیکه در طرح‌ها و برنامه‌های شهری حالت دینامیک و پویای شهر و تغییرات کاربری در نظر گرفته نشود، برنامه‌ها به خوبی پاسخگوی نیازها نخواهند بود [۱]. در این شرایط به منظور ایجاد تعادل و توازن در المان‌های برنامه‌ریزی شهری لازم است چیدمان‌های جدیدی با توجه به تغییر پیش آمده ارائه گردد. به‌دلیل پیچیدگی موجود در این مسئله مانند وجود حالات مختلف چینش، وجود المان‌های کمی و کیفی متنوع که بایستی در چینش به‌صورت همزمان در نظر گرفته شوند، الگوریتم‌ها و روش‌های ریاضی و محاسبات دقیق قادر به حل این مسئله نیستند. محاسبات تقریبی با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی فراابتکاری می‌تواند کمک شایانی در حل این مسئله و نزدیک شدن به چینش بهینه‌ی جدید کاربری‌ها نماید. با نیل به این هدف طرح‌های تفصیلی موجود که حالت جامد[1] و صلبی در برابر تغییرات پیش آمده دارند به‌سمت طرح‌های سیال که در آنها پویایی شهر نیز مد نظر قرار می‌گیرد حرکت خواهند کرد. در طرح‌های تفصیلی موجود امکان بررسی تغییر کاربری‌ها بر عهده‌ی کمیسیون ماده‌ی پنج می‌باشد. در بررسی‌هایی که از طرف کمیسیون ماده‌ی پنج صورت می‌گیرد، به شکل محاسباتی به این مسئله توجهی نمی‌شود همچنین بررسی امکان تغییرات با در نظر گرفتن همسایگی‌های پلاک صورت می‌گیرد و اثر کلی و منطقه‌ای تغییر مورد بررسی واقع نمی‌شود. از طرفی در صورتی‌که پس از تغییر یک کاربری، چینش‌های بهینه‌ی مختلف از کاربری‌های موجود و تأثیر محاسباتی آن تغییر به مدیر طوری ارائه شود که در آن بتوان به‌راحتی با تغییر اولویت‌های تصمیم، نتیجه‌ی تغییر را مشاهده کرد، تصمیم‌گیری آسان‌تر و صحیح‌تر خواهد شد.

در زمینه‌ی مدلسازی تغییرات شهری و به دست آوردن چینش بهینه‌ی کاربری‌ها تحقیقات محدودی انجام شده است. که در ذیل به مهم‌ترین آنها پرداخته خواهد شد.

در برخی تحقیقات، هدف اصلی بهینه‌سازی همزمان چند تابع هدف برای دستیابی به چینش بهینه‌ی کاربری‌ها بوده است. در این دسته از تحقیقات با استفاده از روش‌های تبدیل مسئله‌ی چندهدفه به تک هدفه، مسئله‌ی بهینه‌سازی حل شده است. به‌عنوان مثال شیفا و فرنگ[2] (۲۰۰۸) اقدام به تخصیص کاربری در هر زمین با در نظر گرفتن توابع هدف بیشینه بودن مناسبت زمین با کاربری و کمینه کردن هزینه‌ی تغییر شکل قطعات زمین نموده است. روش بهینه‌سازی به‌کار رفته بهینه‌سازی تجمعی ذرات (PSO[3]) تک هدفه است و تابع برازندگی خود به‌صورت تابعی از دو تابع هدف فوق تعریف شده است. در تحقیق ذکر شده توجهی به اثرات وابستگی و ناسازگاری میان کاربری‌ها نشده است. همچنین کاربری‌ها به‌صورت قطعه‌ای و با استفاده از داده‌های برداری وارد مسئله شده‌اند. به‌علاوه از آنجائیکه مسئله به‌صورت تک هدفه حل شده، نتایج وابسته به نظر کارشناسان است و انعطاف پذیری زیادی در آن

[1] Rigid

[2] Shiffa and Freng

[3] Particle Swarm Optimization

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.29252/jgit.6.1.131]

وجـود نـدارد [۲]. در تحقیـق لـویی[1] و همکـاران در ۲۰۱۳، هدف تخصیص سه نـوع کـاربری مسـکونی، صـنعتی و تجـاری بـا در نظـر گـرفتن توابـع هـدف مناسـبت زمـین بـا کـاربری، سـازگاری و همسـانی کاربری‌های مجاور با یکدیگر بوده است. به این منظور از روش تلفیقـی بهینـه‌سـازی تجمعـی ذرات (HPSO[2]) استفاده شده که در آن از مزایـای الگـوریتم ژنتیـک در الگوریتم PSO بهره گرفته شده است. در تحقیق مذکور مشابه تحقیق قبلی بهینه‌سازی بـه‌صـورت تـک هدفـه انجام شده و تابع هدف به صـورت مجمـوع وزن‌دار سـه تابع هـدف فـوق‌الـذکر تعریـف شـده اسـت. همچنـین داده‌های مکانی به‌صورت رستری به کـار رفتـه‌انـد [۳]. تحقیقات مشابهی نیز در [۴ و ۵]، به‌منظور بهینه‌سازی تخصـــیص کـــاربری‌هـــا بـــا اســـتفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی تک هدفه انجام شده است.

در برخی دیگـر از مطالعـات، مسـئله‌ی چیـنش بهینـه کـاملاً بـه صـورت چندهدفـه حـل شـده اسـت. به‌عنوان مثال، در تحقیقی که توسط کـائو[3] و همکـاران در ۲۰۱۱ انجـام شـده اسـت، بـا تعریـف توابـع هـدف بیشـترین بهـره‌ی اقتصـادی، بیشـترین دسترسـی و بیشترین سازگاری سعی بر آن بوده است تا سناریوهای مختلف تصمیم‌گیری در مورد چینش بهینه‌ی اراضی در یک شهر جدید ارائه شود. در ایـن تحقیـق از الگـوریتم بهینـه‌سـازی NSGA-II[4] در یـک فضـای رسـتری اسـتفاده شـده اسـت. در حقیقـت ایـن تحقیـق در زمین‌هایی تعریف شده اسـت کـه هنـوز هـیچ کـاربری برای آنها تعریف نشده است. همچنین چینش‌ها تنها در سـه سـطح کـاربری مسـکونی، تجـاری و صـنعتی بـه تصمیم‌گیرندگان ارائه شده اسـت [۶]. در تحقیقـی کـه توسط ژانگ[5] و همکـاران در ۲۰۱۶ انجـام شـده اسـت، هدف به دست آوردن چینش بهینه‌ی چهار نوع کاربری شهری، صنعتی، کشاورزی بوده است. به ایـن منظـور از یـــک سیســـتم عامـــل منبـــای چندگانـــه و الگـوریتم بهینـه‌سـازی PSO اسـتفاده شـده اسـت. توابع هـدف بـه‌کـار رفتـه در ایـن تحقیـق عبارتنـد از؛ بیشینه‌سازی سود اقتصادی، اجتماعی و زیست-محیطی [۷]. در تحقیق دیگری که توسـط آسـامی و حـاکو[6] در ۲۰۱۴ انجام شده است، هدف بیشـینه‌سـازی همزمـان توابــع هــدف قیمــت زمــین و ســازگاری میــان کاربری‌های شهری بوده اسـت. بـه ایـن منظـور از یـک الگـــوریتم ژنتیـــک چندهدفـــه‌ی ابتکـــاری استفاده شده است. سطح کاربری‌هـای بـه‌کـار رفتـه در شـهر ۹ کـاربری بـوده و الگـوریتم بـه کـار رفتـه توجه چندانی به دانسیته‌ی نقـاط روی جبهـه‌ی جـواب بهینه ندارد [۸]. در تحقیـق معصـومی[7] و همکـاران در ۲۰۱۳ هدف اصـلی بـه‌دسـت آوردن چیـنش بهینـه‌ی اراضی شـهری در یـک محـیط وکتـوری بـا اسـتفاده از الگوریتم PSO چندهدفه بوده است. بـه ایـن منظـور از بیشینه‌سازی همزمان توابع هدف سازگاری، وابسـتگی و مناسبت استفاده شده است [۹]. در تحقیـق Delaviz و همکـاران در ۲۰۱۴ هـدف، ارائـه‌ی چیـنش بهینـه‌ی کاربری‌های شهری به منظور کـاهش آسـیب‌پـذیری در برابـر زلزلـه بـوده اسـت. در ایـن تحقیـق، از الگـوریتم بهینـه‌سـازی چندهدفـه‌ی NSGA-II اسـتفاده شـده اسـت. توابـع هـدف بـه‌کـار رفتـه شـامل بیشـینه‌سـازی سـازگاری کاربریهـای مجـاور، دسترسی کاربری‌ها، دسترس‌پذیری کاربریهای بهداشتی درمـانی و مسـکونی بـه شـبکه معـابر و کمینـه‌سـازی خطرپـذیری در برابـر خطـر زلزلـه و کمینـه‌سـازی تغییـر کاربریهـا تعریـف شـده اسـت. محـیط کـار این الگوریتم رسـتری بـوده و کـاربری‌هـای شـهری در ۸ دسته تقسیم‌بندی شده‌اند [۱۰].

[1] Liu
[2] Hybrid Particle Swarm Optimization
[3] Cao
[4] Non-dominates Sorting Genetic Algorithm-II
[5] Zhang
[6] Asami and Haque
[7] Masoumi

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.29252/jgit.6.1.131]

ادامه‌ی مقاله حاضر در چهار بخش تنظیم شده است. در بخش دوم به تعریف مفاهیم پایه‌ی مدلسازی از جمله بهینه‌سازی چندهدفه، روش کار الگوریتم تکاملی چندهدفه بر مبنای تجزیه (MOEA/D[1]) پرداخته خواهد شد. در بخش سوم به نحوه‌ی سازگارسازی MOEA/D با مسئله پرداخته می‌شود در دو بخش پایانی نتایج حاصل از مدلسازی و ارزیابی آنها ارائه می‌شود.

۲- مبانی نظری تحقیق

در این بخش به مبانی تئوری تحقیق از جمله اثرات تغییر کاربری‌های شهری از دیدگاه برنامه‌ریزی شهری، بهینه‌سازی چندهدفه و روش‌های حل آن و در نهایت روش کار MOEA/D پرداخته خواهد شد.

۲-۱- اثرات تغییرات کاربری و استفاده از بهینه‌سازی چینش کاربری‌ها به‌منظور مدیریت آن

نوع کاربری زمین در طول تکامل جوامع متغیر است و به مقتضای سبک زندگی تغییر می‌کند. از طرفی معیارهای موجود در مکانیابی کاربری‌های زمین نسبی هستند و نه مطلق و با تغییر شرایط محیطی و اجتماعی دچار تغییرات در محتوا می‌شوند. در این میان آن نوع طرح‌های شهرسازی که مانند طرح‌های جامع بیشتر بر تثبیت قطعی کاربری‌ها تأکید دارند برای طراح شهری و تصمیم‌گیرندگان موانعی ایجاد می‌کنند. اما اگر طرح‌های شهری به‌صورت طرح‌های پویا تهیه شوند، که اساساً در نحوه‌ی استقرار کاربری‌ها انعطاف دارند، به طراحان و تصمیم‌گیرندگان شهری امکان بیشتری در ترکیب فعالیت و فضا داده خواهد شد [۱۱]. یکی از مسائلی که در طرح‌های شهری مطرح می‌شود، اثر تغییر یک یا چند کاربری بر نحوه‌ی چینش سایر کاربری‌هاست. یعنی در صورت تغییر یک یا چند کاربری با توجه به شرایط جدید، سایر کاربری به چه شکل قرار گیرند تا توازن در روابط میان کاربری‌ها همچنان برقرار باشد [۱۲]. معیارهای چینش بهینه‌ی کاربری‌های شهری را در کنار یکدیگر می‌توان از دو دیدگاه مختلف بررسی کرد [۱۳]:

- معیارهای کمی: در این معیار چینش کاربری‌ها از طریق بررسی نیازهای فعلی و آتی منطقه‌ی مورد مطالعه در فضا در نظر گرفته می‌شود.
- معیارهای کیفی: در مطالعه‌ی این معیارها ویژگی‌های کیفی ذیل بررسی می‌شوند:
  - وابستگی: گاهی اوقات فعالیت یک کاربری، وابسته به فعالیت دیگر کاربری‌هاست. برای مثال فعالیت یک کاربری مسکونی بدون وجود خدمات آموزشی، درمانی و تجاری در فواصلی از آن ناقص است.
  - سازگاری: کاربری‌هایی که در یک منطقه استقرار می‌یابند، نباید موجب مزاحمت و مانع اجرای فعالیت‌های دیگر شوند.
  - مناسبت: به مفهوم سازگاری بین کاربری و خصوصیات فیزیکی محل استقرار آن است.

بنابراین در صورت تغییر یک کاربری در شهر، توازن اجزا در معیارهای کمی و کیفی بر هم خواهد خورد. در این حالت می‌توان با تعریف یک مکانیزم بهینه‌سازی و به دست آوردن چینش بهینه‌ی کاربری‌ها المان‌های کمی و کیفی را متعادل ساخت و اثر تغییر کاربری را مدلسازی نمود. همانطور که ملاحظه می‌شود در صورت استفاده از بهینه‌سازی در چینش بهینه‌ی کاربری‌ها، با توجه به تعدد پارامترها، مسئله یک مسئله‌ی بهینه‌سازی چندهدفه خواهد بود. برای آشنایی بیشتر خوانندگان محترم در این بخش به تئوری این مسئله پرداخته خواهد شد.

۲-۲- بهینه‌سازی چندهدفه و روش‌های برخورد با آن

بهینه‌سازی چندهدفه، همچون بهینه‌سازی تک هدفه، به طور گسترده‌ای مورد مطالعه قرار گرفته است. الگوریتم‌ها و مطالعات کاربردی زیادی وجود دارد که

[1] Multi-Objective Evolutionary Algorithm based on Decomposition

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.29252/jgit.6.1.131]

شامل هدف های چندگانه‌ای هستند. در اغلب راه‌حل‌ها از پیچیدگی‌های موجود در یک مسئله‌ی بهینه‌سازی چندهدفه‌ی واقعی اجتناب می‌ورزند و اهداف چندگانه را با استفاده از برخی پارامترهای تعریف شده توسط کاربر، به یک تابع هدف واحد تبدیل می‌نمایند. تعدادی از مطالعات شامل مقایسه‌ی طرح‌های مختلف چنین تبدیل‌هایی هستند و دلایلی جهت نشان دادن مطلوب بودن یک تبدیل بر دیگری فراهم می‌آورند و روش‌های بهتر تبدیل را پیشنهاد می‌نمایند [۱۴و ۱۵و ۱۶]. همان‌طور که گفته شد در مسائل تک هدفه، هدف بیشینه یا کمینه کردن "یک" تابع هدف با دامنه‌ی مشخص و با در نظر گرفتن شرط یا شروط موجود است. به‌عنوان مثال در حالت کمینه‌سازی برای تابع مفروض f از دامنه‌ی X به برد فضای اعداد حقیقی (R) مطابق رابطه (۱) خواهیم داشت؛

$$\min_x f(x) \qquad f: X \to R \qquad \text{رابطه (۱)}$$

بنابراین فضای جواب، یک فضای ترتیب‌پذیر و تابع هدف یک تابع هدف اسکالر می‌باشد. ولی در مسائل چندهدفه با یک تابع هدف اسکالر مواجه نیستیم بلکه خود تابع هدف یک بردار است یعنی اگر رابطه (۱) برای یک مسئله‌ی چندهدفه تعریف شود، طبق رابطه (۲) خواهیم داشت؛

$$\min_x f(x) \qquad f: X \to R^m \quad , f = (f_1, f_2, ..., f_m) \qquad \text{رابطه (۲)}$$

یعنی تابع f خود m مولفه 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 ترتیب‌پذیر نیست. زیرا اپراتورهای مقایسه‌ای مانند کوچکتر ($<$) یا بزرگتر ($>$) در این فضا به‌صورت کامل نمی‌توانند تعریف شوند. برای روشن‌تر شدن مطلب، این مفهوم در شکل (۱) نمایش داده شده است.



الف ب

شکل ۱: نمایش فضای جواب تک بعدی و دو بعدی در R و R2 (شکل ۱-الف) فضای ترتیب‌پذیر تک بعدی و شکل ۱-ب) فضای دو بعدی توابع هدف)

شکل (۱-الف) فضای R و دو نقطه‌ی x_1 و x_2 را در آن نشان می‌دهد. در این فضا عملگرهای مقایسه‌ای به‌دلیل ترتیب‌پذیر بودن فضا قابل تعریف هستند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود به روشنی می‌توان گفت $x_1<x_2$. در شکل (۱- ب) نیز فضای دو بعدی R^2 و سه نقطه‌ی x_1، x_2 و x_3 نمایش داده شده اند. همانطور که در شکل (۱-ب) ملاحظه می‌شود، چون نقطه‌ی x_3 از نظر هر دو بعد بهتر (کوچکتر) از نقطه‌ی x_2 است (در حالت کمینه کردن)، می‌توان گفت $x_3<x_2$ ولی در مورد نقطه‌ی x_1 و x_3 دیگر نمی‌توان ترتیبی برای بهتر بودن قائل شد زیرا x_1 در بعد افقی (اول) بهتر است و x_3 در بعد قائم (دوم). به دلیل وجود این نوع مسائل در حالت‌های چندهدفه گفته می‌شود فضای جواب در حالت چندهدفه ترتیب‌پذیر نیست. برای حل این مشکل روش‌های مختلفی پیشنهاد شده است. در حالت کلی روش‌های مواجهه با مسائل چندهدفه‌ی بهینه‌سازی به دو دسته‌ی اصلی تقسیم می‌شوند [۱۴ و ۱۷].

- تبدیل مسئله‌ی چندهدفه به تک هدفه (تجزیه): در این روش‌ها فضای مسئله به یک فضای اسکالر تبدیل می‌شود.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.29252/jgit.6.1.131]

- حل مستقیم: در این روش‌ها معیاری برای برتری جواب‌ها در فضای چندبعدی توابع هدف تعریف شده و مسئله بر اساس آن معیار به‌صورت کاملاً چندهدفه حل می‌شود.

در هر کدام از روش‌های فوق می‌توان از روش‌های ریاضی و قطعی و یا الگوریتم‌های ابتکاری و فرا ابتکاری در حل مسئله استفاده نمود. استفاده از روش‌های ریاضی در مسائل چندهدفه که دارای فضای جستجوی وسیعی هستند در بسیاری از موارد مشکل است و حتی در برخی موارد امکان پذیر نیست. در مقابل الگوریتم‌های ابتکاری و فراابتکاری در مسائل پیچیده با حجم بالای فضای جستجو جواب‌های قابل قبولی پیدا می‌کنند. این الگوریتم‌ها به‌صورت کلی در فضای جستجو به دنبال جواب بهینه هستند در حالی‌که به صورت محلی نیز به جواب‌های محلی قابل قبول حساسیت دارند [۱۸]. با اینکه این الگوریتم‌ها در فضای جستجو معمولاً به بهینه‌ی قطعی نمی‌رسند ولی حتی الامکان به آن نزدیک شده و جواب‌های قابل قبولی تولید می‌نمایند.

الگوریتم‌های ابتکاری و فراابتکاری متنوعی برای حل مسائل چندهدفه پیشنهاد شده‌اند [۱۷] که معمولاً یا بر مبنای الگوریتم‌های تکاملی هستند و یا بر پایه‌ی هوش تجمعی و سایر انواع هوش محاسباتی عمل می‌کنند. این الگوریتم‌ها عموماً توانایی کار با مجموعه‌ای از جواب‌های متفاوت به‌عنوان جمعیت اولیه را دارند. این قابلیت منجر به تولید مجموعه‌ای از جواب‌های بده بستان در یک بار اجرای الگوریتم می‌شود [۱۴ و ۱۹]. همچنین این الگوریتم‌ها محدودیت‌های روش‌های ریاضی را ندارد [۱۴ و ۲۰] در فضاهای جستجوی گسترده جواب‌های قابل قبولی تولید می‌کند [۱۷]. انتخاب نوع الگوریتم برای حل مسائل وابستگی زیادی به نوع مسئله و حجم فضای جستجو دارد.

در مسئله‌ی حاضر به دلیل حجم بالای فضای جستجو و گسسته بودن مسئله[1] از الگوریتم MOEA/D استفاده شده است. این الگوریتم برخلاف بسیاری از الگوریتم‌های فراابتکاری دیگر، بر مبنای غلبه‌ی جواب‌ها در فضای چند بعدی توابع هدف عمل نمی‌کند. به‌این دلیل دارای سرعت بالایی در حل مسائل با توابع هدف متنوع و حجم بالای فضای جستجو می‌باشد [۲۱ و ۲۲]. از این رو در این مسئله با توجه به گستردگی فضای جستجو (حالات متنوع چینش کاربری‌ها در کنار یکدیگر) و بالا بودن تعداد توابع هدف (۴ تابع هدف که در ادامه توضیح داده خواهد شد) از این الگوریتم استفاده شده است که در ادامه به روش کار این الگوریتم پرداخته خواهد شد.

۲-۳- روش کار MOEA/D

این الگوریتم بر اساس تجزیه مسئله‌ی چندهدفه به زیرمسئله‌های تک هدفه عمل می‌کند. روش‌های مختلفی به‌این منظور وجود دارد[2]. در این تحقیق بر اساس الگوریتم ارائه شده توسط ژانگ و لی[3] (۲۰۰۷) (۲۰۰۷) روش تجزیه‌ی وزنی چبیشف به کار رفته است. در این روش با فرض $\lambda^1, \lambda^2, ..., \lambda^N$ به‌عنوان بردار وزن‌ها و z^* به‌عنوان نقطه‌ی آرمانی، مسئله‌ی تخمین جبهه‌ی جواب را می‌توان به N زیرمسئله‌ی بهینه‌سازی با استفاده از روش چبیشف تبدیل کرد. به‌عنوان مثال j امین زیر مسئله به صورت رابطه (۳) تعریف می‌شود [۲۳].

رابطه (۳)
$$g^{te}(x|\lambda^j, z^*) = \max_{1\le i\le m}\left\{\lambda_i^j \left| f_i(x) - z_i^* \right|\right\}$$

[1] زیرا این الگوریتم بر اساس الگوریتم ژنتیک عمل می‌کند که در حل مسائل گسسته توانایی‌های لازم را داراست.

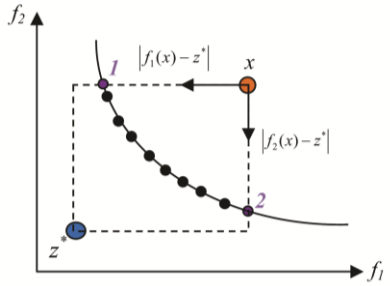
[2] علاقمندان به مطالعه‌ی بیشتر در زمینه‌ی این روش‌ها می‌توانند به Zhang and Li(2007) رجوع کنند.

[3] Zhang and Li

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.29252/jgit.6.1.131]

در شکل (۲) اساس کار MOEA/D نمایش داده شده است.



شکل ۲: تعبیر مفهوم وزن در الگوریتم MOEA/D، x یک جواب اولیه و f1 و f2 توابع هدف و *z تخمین جبهه‌ی جواب بهینه است.

در این شکل با فرض x به عنوان یک جواب اولیه و توابع هدف f_1 و f_2، هدف کمینه کردن مقادیر $|f_1(x)-z^*|$ و $|f_2(x)-z^*|$ یعنی فاصله‌ی نقطه‌ی x از z^* در جهت محورها و تخمین جبهه‌ی جواب بهینه است. همانطور که ملاحظه می‌شود، بردار وزن در نقطه‌ی ۱، (۰و۱) و در نقطه‌ی ۲، (۱و۰) است. نقاط میانی این دو نقطه نیز بر روی جبهه‌ی جواب با استفاده از بردارهای وزنی دیگر به‌دست می‌آیند. در حقیقت نقش λ در اینجا جستجو در نواحی مختلف فضای جواب و مشخص کردن جهت حرکت به سمت نقطه‌ی آرمانی است. بنابراین ورودی‌ها عبارتند از؛ N تعداد زیر مسئله در MOEA/D، بردارهای وزن $\lambda^1, \lambda^2, ..., \lambda^N$ و همسایگی به تعداد T برای هر بردار وزن و خروجی همان جبهه‌ی جواب بهینه است. مراحل کاری این الگوریتم در قسمت پیاده‌سازی و اجرای الگوریتم آمده است.

۳- پیاده‌سازی و اجرا

همانطور که در قسمت‌های قبل نیز اشاره شد، مسئله‌ی اصلی این تحقیق به دست آوردن چینش بهینه‌ی کاربری‌های شهری در صورت تغییر یک کاربری با حفظ توازن میان المان‌های کمی و کیفی می‌باشد. به‌این منظور از الگوریتم چندهدفه‌ی تکاملی MOEA/D استفاده خواهد شد. در این قسمت مراحل پیاده‌سازی الگوریتم برای حل مسئله‌ی مذکور تشریح خواهد شد.

۳-۱- منطقه‌ی مطالعاتی

نقشه‌های شهری ناحیه‌ی ۱ منطقه‌ی ۷ تهران با مقیاس ۱:۲۰۰۰ به عنوان داده‌ی مکانی نمونه وارد مدل شده‌اند. این اطلاعات شامل ۲۷۱۰ قطعه‌ی شهری و راه‌های ارتباطی است که پس از اخذ ابتدا در محیط نرم‌افزارهای سیستم اطلاعات مکانی (GIS[1])ویرایش شده و تمامی خطاهای موجود در آنها حذف گردیده است و سپس تمامی اطلاعات توصیفی مورد نیاز به آنها نسبت داده شده است. از نقاط قابل توجه در این منطقه، وجود کاربری‌های متنوع در سطوح مختلف مدیریت شهری است که در این منطقه مسئله‌ی مدیریت کاربری‌های شهری را پیچیده می‌سازد. داده‌های اصلی مورد نیاز برای ایجاد پایگاه داده‌های مکانی در این تحقیق شامل اطلاعات جمعیتی به تفکیک سن افراد و اطلاعات کاربری اراضی شهری بوده است. گفتنی است اطلاعات مربوط به کاربری اراضی شهری شامل ۳۷ نوع کاربری در سطح محله، منطقه و شهر می‌باشد.

شکل (۳) محدوده‌ی مطالعاتی تحقیق را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود در این شکل قطعات بر اساس کلاس‌های اصلی کاربری‌ها نمایش داده شده‌اند.

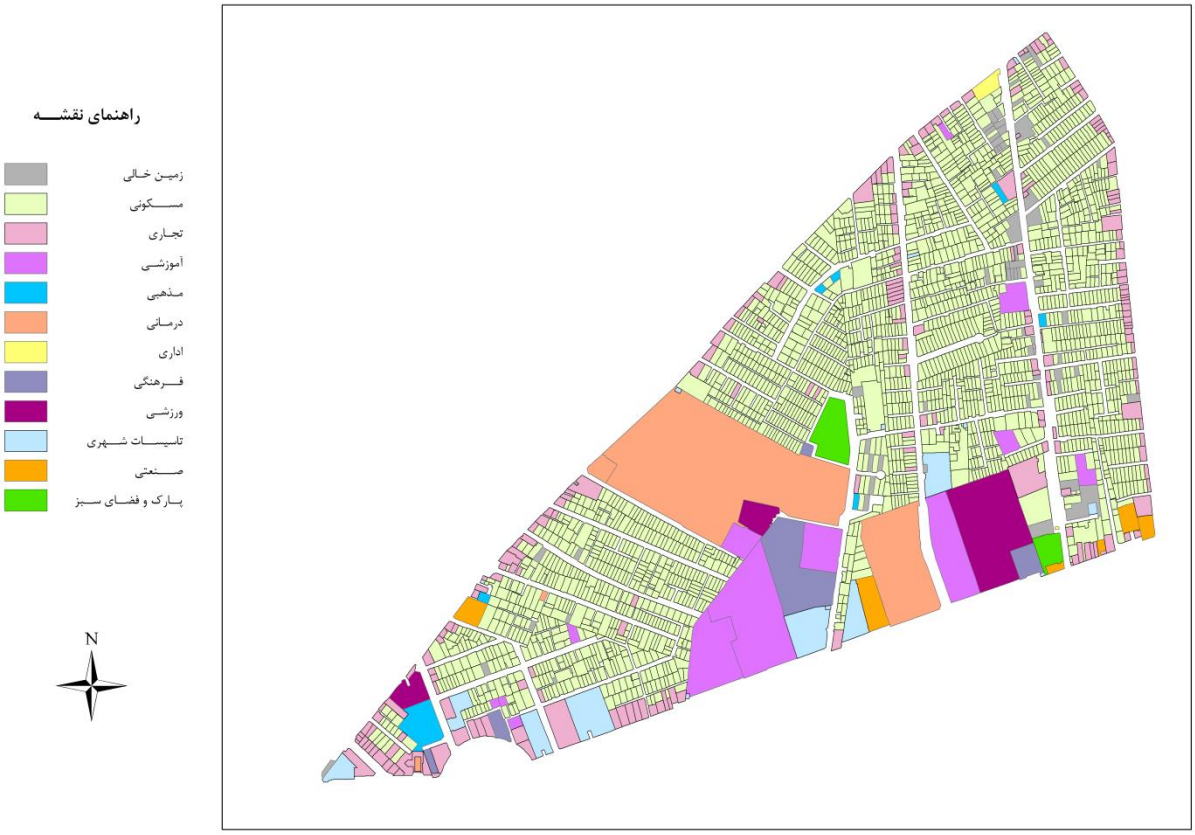
۳-۲- تعریف توابع هدف

در این تحقیق ۴ تابع هدف وابستگی، سازگاری و مطلوبیت مربوط به المان‌های کیفی و تابع هدف همسانی کاربری‌های مجاور به‌منظور رسیدن به یک چینش بهینه‌ی همگن در نوع کاربری‌ها تعریف شده است که در ادامه به شرح جزئیات این توابع پرداخته خواهد شد.

[1] Geospatial Information Systems

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.29252/jgit.6.1.131]



شکل ۳: منطقه‌ی مطالعاتی و دسته‌بندی قطعات بر اساس کاربری‌های اصلی آنها

۳-۲-۱- تابع هدف سازگاری

به منظور ارزیابی سازگاری میان کاربری‌ها از ماتریس سازگاری کاربری‌ها استفاده می‌شود. بر اساس نظر کارشناسان سازگاری در پنج سطح سازگاری زیاد (HC[1])، سازگاری متوسط (MC[2])، سازگاری کم (LC[3])، خنثی (N[4])، نسبتاً ناسازگار (MI[5]) و کاملاً ناسازگار (HI[6]) تقسیم‌بندی شده است. در این تحقیق از روش مرسوم دلفی بر مبنای تدوین پرسشنامه و مصاحبه‌ی حضوری برای استخراج ماتریس سازگاری استفاده شده است. به این ترتیب که در پرسشنامه از کارشناسان خواسته شده که بر اساس یکی از ۵ درجه‌ی مفروض سازگاری کاربری‌ها، سازگاری دو به دوی کاربری‌ها را مشخص نمایند. پس از انجام سه مرحله پیمایش در مدل دلفی ماتریس سازگاری به‌دست آمد. جدول (۱) قسمتی از ماتریس سازگاری به‌دست آمده را نشان می‌دهد. در ادامه از آنجائی‌که الگوریتم مورد نظر برای حل مسئله با مقادیر عددی کار می‌کند، مقادیر کیفی به دست آمده از روش دلفی با استفاده از روش مقایسه‌ی زوجی ساختار یافته در روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP[7]) به مقادیر عددی تبدیل شده‌اند. این مقادیر برای سطوح سازگاری زیاد، سازگاری متوسط، خنثی، نسبتاً ناسازگار و کاملاً ناسازگار به ترتیب عبارتند از؛ ۰/۴۳، ۰/۲۸، ۰/۱۸، ۰/۰۸ و ۰/۰۴. از آنجائی‌که با افزایش فاصله‌ی دو

[1] High Consistancy
[2] Medium Consistancy
[3] Low Consistancy
[4] Neutral
[5] Medium Inconsistancy
[6] High Inconsistancy
[7] Analytical Hierarchical Process

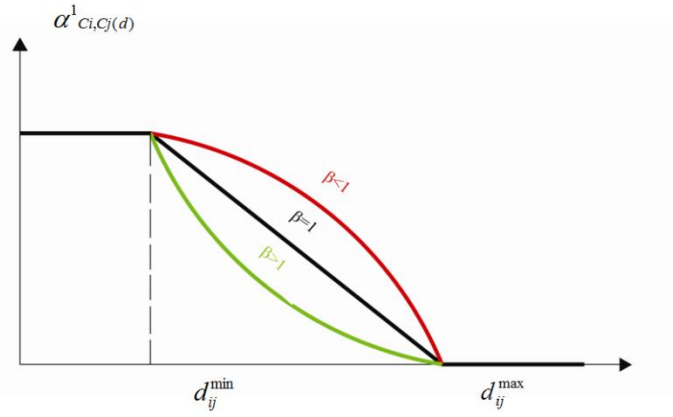
[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.29252/jgit.6.1.131]

کاربری، اثـر سـازگاری یـا ناسـازگاری آنهـا نسـبت بـه یکدیگر کمتر خواهد شد. از اینرو تـابع سـازگاری طبـق رابطه (۴) تعریف شده است.

رابطه (۴)

$$Comp_{ij}=f_2(d_{ij},C_iC_j)=f_2(d_{ij},CMP_{cicj})\times\alpha^1_{Ci,Cj}(d_{ij})$$

کـه در آن d_{ij} فاصـله‌ی مرکـز ثقـل میـان کـاربری i و پارسل j، CMP_{cicj} سازگاری دو کلاس کـاربری C_i و C_j در شـکل (۴) نحـوه‌ی تعریـف تـابع $\alpha^1_{CiCj}(d)$ را در حالت‌های مختلف برای βهای مختلف نشـان مـی‌دهـد. در حقیقـت β معـرف میـزان تـأثیر فاصـله بـر روی تابع است. در این تحقیق برای سادگی محاسبات مقـدار β=1 در نظر گرفته شده است.



شکل ۴: نحوه‌ی تأثیر β در تعریف تابع فاصله $d_{ij}^{\min}$ کمترین فاصله‌ی تاثیر که در اینجا همسایگی دو پارسل در نظر گرفته شده است و $d_{ij}^{\max}$ بیشترین فاصله‌ی تاثیر که در اینجا شعاع نفوذ کاربری مفروض است.

کمترین فاصله‌ی تأثیر در همسایگی‌هـا اتفـاق مـی‌افتـد همچنین شـعاع تـأثیر تغییـر کـاربری، تـا شـعاع نفـوذ کاربری‌های در نظر گرفته شده اسـت. هـر فعـالیتی در شهر شـعاع نفـوذ و عملکـردی خاصـی دارد کـه بـه آن آستانه فعالیتی نیز گفته مـی‌شـود. طبـق ایـن ویژگـی سـطح متناسـبی از کالبـد یـک شـهر بـه آن فعالیـت اختصاص می‌یابد [۲۴]. این مقادیر در منـابع موجـود و استانداردها[1] برای هـر کـاربری تعریـف شـده اسـت. در نهایـت تـابع هـدف سـازگاری بـه‌صـورت رابطـه (۵) تعریف شده است.

رابطه (۵)

$$F_2: Maximize(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(\frac{1}{n_i}\sum_{j=1}^{n_i}(Comp_{ij}))+\underset{ij}{Min}(Comp_{ij}))$$

کـه در آن، i نشـاندهنده‌ی قطعـات، j همسـایه‌هـای قطعـه‌ی i، n_i تعـداد همسـایه‌هـای قطعـه‌ی i و n تعداد کل قطعات می‌باشد. جملـه‌ی دوم رابطـه (۵) بـه ایـن منظـور اسـتفاده شـده اسـت کـه حـداقل مقـدار سازگاری موجـود در چیـنش را نیـز بیشـینه مـی‌کنـد به این ترتیب از چینش‌هـایی کـه در آنهـا یـک مقـدار خیلـی پـایین از سـازگاری بـا یـک مقـدار خیلـی بـالا دارای میانگین خوبی باشند، جلوگیری می‌شود. بنابراین در صورتی‌که در چیـنش پیشـنهادی توسـط الگـوریتم کمترین مقدار سازگاری بیشینه شود، تا حـد زیـادی از به وجود آمدن این مشکل جلوگیری خواهد شد.

[1] در مواردی که در منابع موجود شعاع نفوذ برای کاربری مورد نظر ذکر نشده و یا اختلافی وجود داشته است از نظر کارشناسی برای استخراج شعاع نفوذ استفاده شده است.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.29252/jgit.6.1.131]

جدول ۱: بخشی از ماتریس سازگاری استخراج شده از مدل دلفی

کاربری‌ها		مسکونی			تجاری			آموزشی						
		کم تراکم	تراکم متوسط	تراکم بالا	روزانه	محله	منطقه/ شهر	مهدکودک	دبستان	راهنمایی	دبیرستان	هنرستان	دانشگاه
مسکونی	کم تراکم	HC											
	تراکم متوسط	MC	HC										
	تراکم بالا	MI	MC	HI									
تجاری	روزانه - هفتگی	HC	HC	HC	HC								
	محله	N	MC	MC	N	N							
	منطقه/ شهر	N	N	N	N	MI	HC						
آموزشی	مهد کودک	HC	HC	HC	HC	HC	MI	HI					
	دبستان	HC	HC	HC	HC	HC	MI	HC	HI				
	راهنمایی	HC	HC	HC	HC	HC	MI	N	HC	HI			
	دبیرستان	MI	N	N	MC	MC	N	MI	N	HC	HI		
	هنرستان	MI	MI	MI	N	N	HC	MI	MI	N	HC	HI	
	دانشگاه/دانشکده	HI	MI	MI	MI	MI	N	MI	MI	N	MC	MC	HI

۳-۲-۲- تابع هدف وابستگی

همانطور که قبلاً نیز اشاره شد، هر نوع کاربری دارای یک مجموعه از روابط با سایر کاربری‌ها می‌باشد. این روابط تعریف کننده‌ی وابستگی هر کاربری نسبت به دیگر کاربری‌ها می‌باشد. بدیهی است سنجش مقدار وابستگی بسیار مشکل است چراکه به وسیله‌ی پارامترهای متعدد تحت تأثیر است [۲۵]. از این‌رو به‌منظور مدلسازی وابستگی در بیشتر تحقیقات برای سادگی از ماتریس وابستگی استفاده شده است [۶]. در تحقیق حاضر نیز برای مدلسازی وابستگی کاربری‌ها و استخراج ماتریس وابستگی از روش دلفی مشابه آنچه در سازگاری ملاحظه شد، استفاده شده است. بر اساس نظر کارشناسان وابستگی در پنج سطح وابستگی زیاد (HD[1])، وابستگی متوسط (MD[2])، وابستگی کم (LD[3])، نسبتاً مستقل (MI[4]) و کاملاً مستقل (HI[5]) تقسیم‌بندی شده است. در اینجا نیز مقادیر کیفی به‌دست آمده از روش دلفی در ماتریس وابستگی با استفاده از روش مقایسه‌ی زوجی ساختار یافته در روش تحلیل سلسله مراتبی(AHP[6]) به مقادیر عددی تبدیل شده‌اند. پس از کمی‌سازی ماتریس وابستگی به تعریف تابع هدف وابستگی پرداخته می‌شود.

تأثیر تغییر یک کاربری بر کاربری‌های مجاور تابعی از فاصله‌ی آنهاست. یعنی؛ تأثیر درجات وابستگی در فواصل نزدیک‌تر بیشتر و در فواصل دور کمتر است. بنابراین در مدلسازی تأثیر تغییر کاربری‌ها در این تابع هدف نیز لازم است فاصله‌ی میان کاربری‌ها وارد محاسبات شود. با توجه به موارد ذکر شده، وابستگی

[1] High Dependancy
[2] Medium Dependancy
[3] Low Dependancy
[4] Medium Independant
[5] High Independant
[6] Analytical Hierarchical Process

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.29252/jgit.6.1.131]

کل مجموعه تابعی از فواصل میان کاربری‌ها و درجه‌ی وابستگی آنهاست. به عبارت دیگر این تابع به‌صورت رابطه (۶) تعریف می‌شود،

رابطه (۶)

$$DEP_{ij}=f_1(d_{ij},DEP_{cicj})= DEP_{cicj}\times\alpha^2_{Ci,Cj}(d_{ij})$$

که در آن DEP_{cicj} درایه‌ی مربوط به دو کلاس C_i و C_j کاربری در ماتریس وابستگی و $\alpha^2_{Ci,Cj}(d_{ij})$ تابع فاصله‌ی مربوط به وابستگی است که نحوه‌ی تعریف آن مشابه آنچه در تابع هدف سازگاری آمد، می‌باشد. در نهایت تابع هدف وابستگی به‌صورت رابطه (۷) تعریف شده است؛

رابطه (۷)

$$F_2 : Maximize(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(\frac{1}{n_i}\sum_{j=1}^{n_i}(Dep_{ij}))+\underset{ij}{Min}(Dep_{ij}))$$

که در آن n_i تعداد همسایه‌های قطعه‌ی i و n تعداد کل قطعات می‌باشد.

۳-۲-۳- تابع هدف مناسبت کاربری با زمین

منظور از این تابع هدف، مناسب بودن قطعه زمین برای استقرار یک کاربری مشخص در آن می‌باشد. بنابراین مناسبت می‌تواند وابسته به کاربرد با بسیاری از پارامترهای فیزیکی، اقتصادی و غیره مرتبط باشد [۲۶ و ۲۷]. آنچه در این تحقیق مد نظر قرار گرفته است بیشتر بر مبنای پارامترهای فیزیکی و مشخصات ظاهری قطعه زمین می‌باشد. بنابراین با مطالعه‌ی منابع و مستندات موجود و با استفاده از نظر متخصصان، تابع هدف مناسبت به‌صورت رابطه (۸) تعریف شده است.

رابطه (۸)

$$S_{j,Ci}=w_1A_{j,Ci}+w_2Ac_{j,\,Ci}+w_3Ed_{j,\,Ci}+w_4VP_{j,\,Ci}+w_5Ap_{j,\,Ci}+w_6R_{j,\,Ci}$$

که در آن $A_{j,Ci}$ مناسبت مساحت قطعه‌ی j برای کاربری i، $Ac_{j,\,Ci}$ دسترسی قطعه‌ی j برای کاربری i، $Ed_{j,\,Ci}$ مناسبت تعداد برهای قطعه‌ی j برای کاربری i، $VP_{j,\,Ci}$ مناسبت قطعه‌ی j برای کاربری i از لحاظ آلودگی صوتی، $AP_{j,\,Ci}$ مناسبت قطعه‌ی j برای کاربری i از لحاظ آلودگی هوا و $R_{j,\,Ci}$ سختی تغییر قطعه‌ی j به کاربری i می‌باشد.

w_1 تا w_6 نیز وزن‌هایی است که به هر المان داده شده است. این وزن‌ها برای هر کلاس کاربری، با توجه به نظرسنجی از کارشناسان شهرسازی و شرکت‌های مهندسین مشاور و جمع‌بندی نظرات آنان استخراج شده است. جدول (۲) این وزن‌ها را نشان می‌دهد. همچنین برای راحتی محاسبات تمامی وزن‌ها در پایان در بازه‌ی ۰ و ۱ طوری استاندارد شده‌اند که در نهایت مجموع همه‌ی آنها برابر ۱ باشد. به عبارت دیگر طبق رابطه (۹)؛

رابطه (۹)

$$\sum_{i=1}^{6}w_i=1$$

در نهایت تابع هدف سوم به‌صورت رابطه (۱۰) تعریف شده است.

رابطه (۱۰)

$$F_3 : Maximize(\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{n}S_{i,Ci}+Minimmum(S_{i,C_i}))$$

که در آن $S_{i,\,Ci}$ مناسبت کاربری C_i با قطعه‌ی i و n تعداد قطعات در چینش می‌باشد. همانطور که در رابطه (۹) ملاحظه می‌شود، در این تابع هدف نیز به‌منظور جلوگیری از به وجود آمدن حالت جبرانی در مجموع مناسبت‌ها جمله‌ی دوم به تابع هدف اضافه شده‌است.

جدول ۲: وزن‌دهی نهایی به المان‌های در نظر گرفته شده برای مناسبت در تحقیق با توجه به نظر کارشناسی

عامل در نظر گرفته شده	وزن
مساحت	٪۲۰
دسترسی	٪۲۰
تعداد برها	٪۱۲
آلودگی هوا	٪۱۷
آلودگی صوتی	٪۱۶
سختی تغییر	٪۱۵

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.29252/jgit.6.1.131]

۳-۲-۴- تابع هدف همسانی کاربری‌های مجاور[1]

در برخی از کاربری‌ها مانند کاربری‌های مسکونی همسانی کاربری‌های مجاور از اهمیت خاصی در برنامه‌ریزی شهری برخوردار است. به‌منظور تأمین یکسانی کاربری‌های مجاور در این تحقیق از یک شمارنده استفاده شده است؛ ابتدا همسایه‌های هر بلوک ساختمانی در برنامه مشخص می‌شود و سپس در صورت یکسان بودن کاربری‌های مجاور در چینش، یک واحد به شمارنده اضافه می‌شود. تابع هدف به صورت بیشینه کردن این شمارنده در نظر گرفته می‌شود. بنابراین تابع هدف چهارم به‌صورت رابطه (۱۱) تعریف شده است.

$$F_{41} = \max \sum Compactness \qquad \text{رابطه (۱۱)}$$

که در آن عبارت *Compactness* شمارنده‌ی مربوط به همسانی کاربری‌های مجاور است.

۳-۳- شرط مسئله

برخی از مسائل بهینه‌سازی دارای شرایطی هستند که مسئله بایستی در حضور آنها حل شود تا به جواب‌های قابل قبولی در فضای جستجو دست یافت. در این تحقیق شرط مسئله تأمین سرانه‌های کاربری‌ها در چینش‌های ارائه شده در نظر گرفته شده است. این شاخص توسط برنامه‌ریزان برای تعیین کمبود زمین قابل دسترس برای هر نوع کاربری استفاده می‌شود. معمولاً برنامه‌ریزان سرانه را برای انواع کاربری‌ها به ازای تعداد شهروندان ساکن در منطقه‌ی مورد مطالعه، محاسبه کرده و با مقایسه‌ی آن با مقادیر هدف ذکر شده در استاندارد حداقل خدمات، مشکلات و کمبودهای موجود در این خصوص را نمایش می‌دهند [۲۵]. به‌منظور استخراج سرانه‌های مورد نیاز هر کاربری، از مستندات و منابع موجود مانند آیین نامه‌ی سرانه‌ی تصویب شده در شورای عالی شهرسازی و معماری ایران در سال ۱۳۸۹، طرح جامع ساماندهی شهر تهران و در برخی موارد از نتایج حاصل از مدل دلفی استفاده شده است.

در روش‌های چندهدفه‌ی بهینه‌سازی به خصوص الگوریتم‌های چندهدفه‌ی تکاملی روش‌های متفاوتی برای برخورد با شرایط مسئله ذکر شده است [۱۷]. در اینجا از روش مبتنی بر تابع جریمه به علت سادگی و کارآیی روش استفاده شده است. در این روش یک عبارت جریمه، به جریمه کردن جواب‌های ناموجه می‌پردازد.

به‌منظور ورود سرانه به مدل، سرانه‌ی هر کلاس کاربری با شرط رابطه (۱۲) وارد مسئله می‌شوند.

$$P_{c,min} \le P_c \le P_{c,max} \qquad \text{رابطه (۱۲)}$$

در نهایت مقدار تخطی چینش از شرط مسئله محاسبه شده و به صورت تخطی به توابع هدف اعمال می‌شود. از آنجائی‌که در این مسئله هدف بیشینه کردن توابع هدف است، میزان تخطی بایستی به‌صورت یک عامل کاهنده به توابع هدف اعمال شود. یعنی در هر چینش که تخطی وجود داشته باشد، ضریبی کاهشی به توابع هدف اعمال می‌گردد و مقدار آن را کاهش می‌دهد در نتیجه الگوریتم به دنبال جواب‌هایی می‌گردد که توابع هدف در آنها مقادیر بهتری داشته باشد. مقدار تخطی کل به‌دست آمده به‌صورت رابطه (۱۳) به توابع هدف اعمال می‌شود.

$$\hat{F} = \frac{F}{1 + W\bar{V}} \qquad \text{رابطه (۱۳)}$$

۳-۴- حل مسئله با استفاده از الگوریتم MOEA/D

همانطور که در بخش دوم گفته شد، این الگوریتم بر اساس تجزیه‌ی مسئله‌ی چندهدفه به زیرمسئله‌های تک هدفه عمل می‌کند. ورودی‌های روش MOEA/D عبارتند از؛ N تعداد زیر مسئله، بردارهای وزن $\lambda^1, \lambda^2, ..., \lambda^N$ و همسایگی به تعداد T برای هر بردار وزن. در ذیل نحوه‌ی تعریف هر یک از این المان‌ها در مسئله آمده است.

[1] Compactness

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.29252/jgit.6.1.131]

۳-۴-۱- مقدار دهی اولیه

- در ابتدا مجموعه‌ی مربوط به جبهه‌ی جواب‌های بهینه تهی در نظر گرفته می‌شود ($EP=(\phi)$).
- بردار وزن‌ها تولید شده و فاصله‌ی میان هر دو بردار وزنی محاسبه می‌شود و سپس T همسایه‌ی نزدیکتر برای هر بردار به دست می‌آید.
- جمعیت اولیه به صورت تلفیقی از جمعیت اولیه‌ی کاملاً تصادفی و تغییر وضع موجود به اندازه‌ی ۳۰ درصد، تولید می‌شود.
- مقادیر آرمانی مسئله ی به صورت اولیه مشخص می‌شوند. در این مسئله بهترین مقادیر برای هر یک از توابع هدف به‌دست آمده و به‌عنوان مقادیر آرمانی ذخیره می‌شوند.

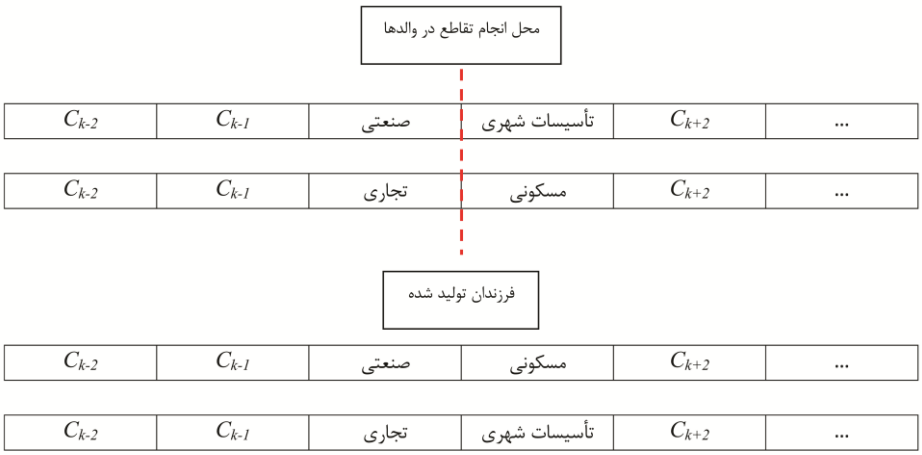
۳-۴-۲- به روز رسانی مقادیر

- تولید مجدد: دو اندکس k و l به صورت تصادفی از مجموعه‌ی همسایگی‌ها انتخاب شده و جواب جدید y از xk و xl با استفاده از اپراتورهای الگوریتم ژنتیک یعنی تقاطع و جهش به دست می‌آید. در این تحقیق برای سادگی محاسبات از تقاطع خطی تک نقطه‌ای استفاده شده است. علاقمندان برای مطالعه‌ی بیشتر در مورد روش‌های تقاطع می‌توانند به [۸] مراجعه نمایند. در صورتی‌که تقاطع به‌صورت کاملاً تصادفی انجام پذیرد، امکان دارد حالت پراکندگی در چینش‌های به‌دست آمده به‌وجود آید و یا به‌دلیل عدم در نظر گرفتن همسایگی، چینش‌ها مقدار مناسب توابع هدف را نداشته باشند. به‌عنوان مثال در شکل (۵) همانطور که ملاحظه می‌شود در دو والد انتخاب شده برای تقاطع، سازگاری قابل قبولی میان کاربری‌ها در نقطه‌ی تقاطع وجود دارد ولی در فرزندان تولید شده کاربری مسکونی در کنار کاربری صنعتی قرار داده شده است. در این حالت سازگاری در فرزند اول افت پیدا می‌کند. به منظور جلوگیری از این حالات در این تحقیق الگوریتم برای تعیین نقطه‌ی تقاطع، در دو والد انتخاب شده به دنبال قطعات مسکونی می‌گردد که در همسایگی حداقل دارای دو همسایه با کاربری مسکونی باشند (به‌دلیل حفظ همگونی کاربری‌های مجاور). سپس به‌صورت تصادفی، تقاطع را از موقعیت یکی از این نقاط انجام می‌دهد. لازم به ذکر است تمامی روابط همسایگی پیش از اجرای الگوریتم در پایگاه داده‌ی مکانی ذخیره شده و الگوریتم قادر به شناخت همسایگی‌های هر قطعه می‌باشد. همچنین در این حالت تقاطع، از آنجائیکه چینش از ناحیه‌ای شکسته می‌شود که نوع کاربری‌ها یکسان است تا حدودی شرایط سازگاری و وابستگی نیز حفظ می‌شود زیرا در چینش والد، این توابع هدف مد نظر بوده‌اند. میزان تقاطع در این تحقیق ۰/۹ در نظر گرفته شده است.

عملگر جهش نیز مسئول تولید مجدد ژن‌های گم‌شده و جلوگیری از کوچک شدن فضای جستجوی از طریق فراهم آوردن افراد تصادفی در همسایگی جمعیت می‌باشد. در این تحقیق به منظور رعایت مناسبت‌ها از روش خاصی از جهش استفاده شده است. در این روش درصدی از قطعات انتخاب شده و به صورت تصادفی کاربری آنها به یکی از کاربری‌هایی که قطعه برای آن مناسبت بالا و یا متوسط دارد، تبدیل می‌شود. این امر باعث می‌شود الگوریتم به قطعات، کاربری با مناسبت کم و نامناسب نسبت ندهد. همچنین میزان جهش ۰/۱ در نظر گرفته شده است.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.29252/jgit.6.1.131]



شکل ۵: یک مثال از تقاطع تصادفی بر روی والدها

- به روز رسانی مقادیر آرمانی: در صورت بهتر بودن جواب y، مقدار $f(y)$ جایگزین مقادیر قبلی می‌شود.
- به روز رسانی جبهه‌ی جواب‌های بهینه: مقادیر جبهه‌ی جواب بهینه و مجموعه‌ی EP به روز رسانی می‌شوند. یعنی از EP تمامی بردارهایی که $F(y)$ بر آنها غلبه می‌کند، حذف می‌شوند و در صورتی‌که $F(y)$ توسط هیچ یک از اعضای EP غلبه نشود وارد این مجموعه می‌شود.

۳-۴-۳- بررسی شرط خاتمه‌ی الگوریتم

در صورت محقق شدن شرایط خاتمه‌ی الگوریتم، الگوریتم متوقف شده و EP به‌عنوان خروجی ذخیره می‌شود. در غیر این‌صورت الگوریتم به مرحله‌ی به روز رسانی مقادیر باز می‌گردد.

شکل (۶) به بیان ساده، فلوچارت کلی روش انجام **MOEA/D** را در این تحقیق نشان می‌دهد.

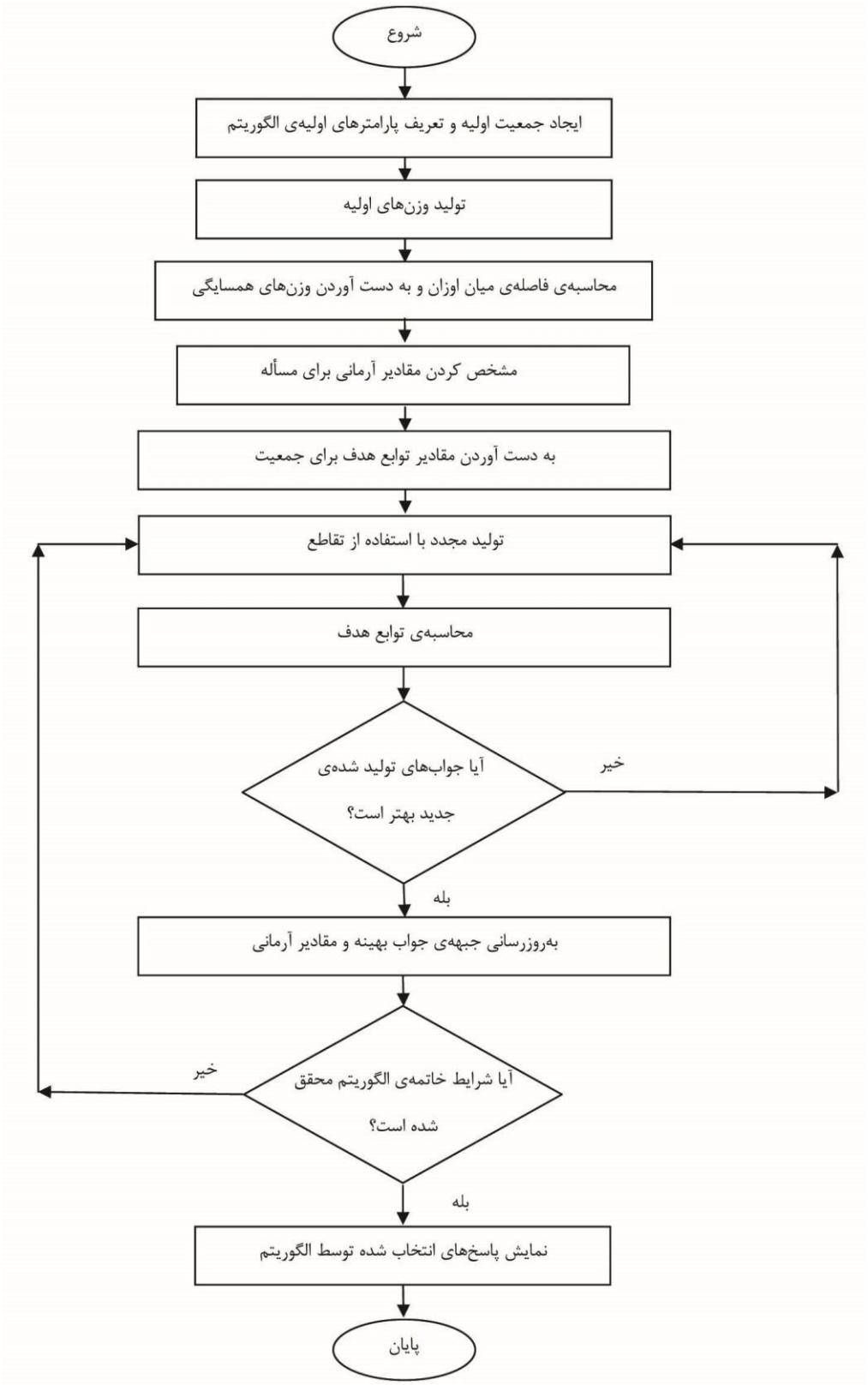
۴- نتایج حاصل از پیاده‌سازی مدل

در این قسمت به تشریح نتایج حاصل از مدلسازی اثر تغییر کاربری‌های شهری با استفاده از روش بهینه‌سازی چندهدفه‌ی MOEA/D پرداخته می‌شود.

طبق بررسی‌های انجام شده به‌منظور تدوین طرح تفضیلی در محله‌های انتخاب شده، کاربری تجاری محله با کمبود اساسی مواجه است. به این منظور به‌صورت فرضی و برای امتحان کارآیی مدل در یک منطقه از محدوده‌ی مطالعاتی تعدادی از زمین‌ها به این کاربری اختصاص داده شده است تا تأثیر تغییر آن‌ها بر چینش سایر کاربری‌ها بررسی شود. این منطقه در شکل (۷) با عنوان پارسل‌های تغییر یافته نمایش داده شده است. چینش بهینه‌ی کاربری‌های منطقه‌ی مورد مطالعه با تأکید بر تعیین کاربری زمین‌های خالی و پیشنهاد برای تغییر برخی از کاربری‌ها در منطقه با توجه به تغییرات پیش آمده و با استفاده از مدل توسعه داده شده به‌دست آمد. شکل (۷) چینش بهینه‌ی به‌دست آمده را بر اساس بیشینه‌ی هر یک از توابع هدف در منطقه، با تعداد جمعیت اولیه‌ی ۵۰۰ و تعداد تکرار ۵۰۰[1] نشان می‌دهد. گفتنی است در این شکل برای سهولت مقایسه، تنها کلاس‌های کاربری‌های اصلی آورده شده است. همچنین تمامی مقادیر مربوط به توابع هدف میان ۰ و ۱ استاندارد شده‌اند.

[1] انتخاب تکرار ۵۰۰ و جمعیت اولیه‌ی ۵۰۰ به این دلیل است که در تکرارهای بالاتر و جمعیت اولیه‌ی بالاتر نتایج تغییر معنی داری نداشته‌اند. این مسئله در قسمت مربوط به تست الگوریتم‌های مدرن بیشتر تشریح شده است.

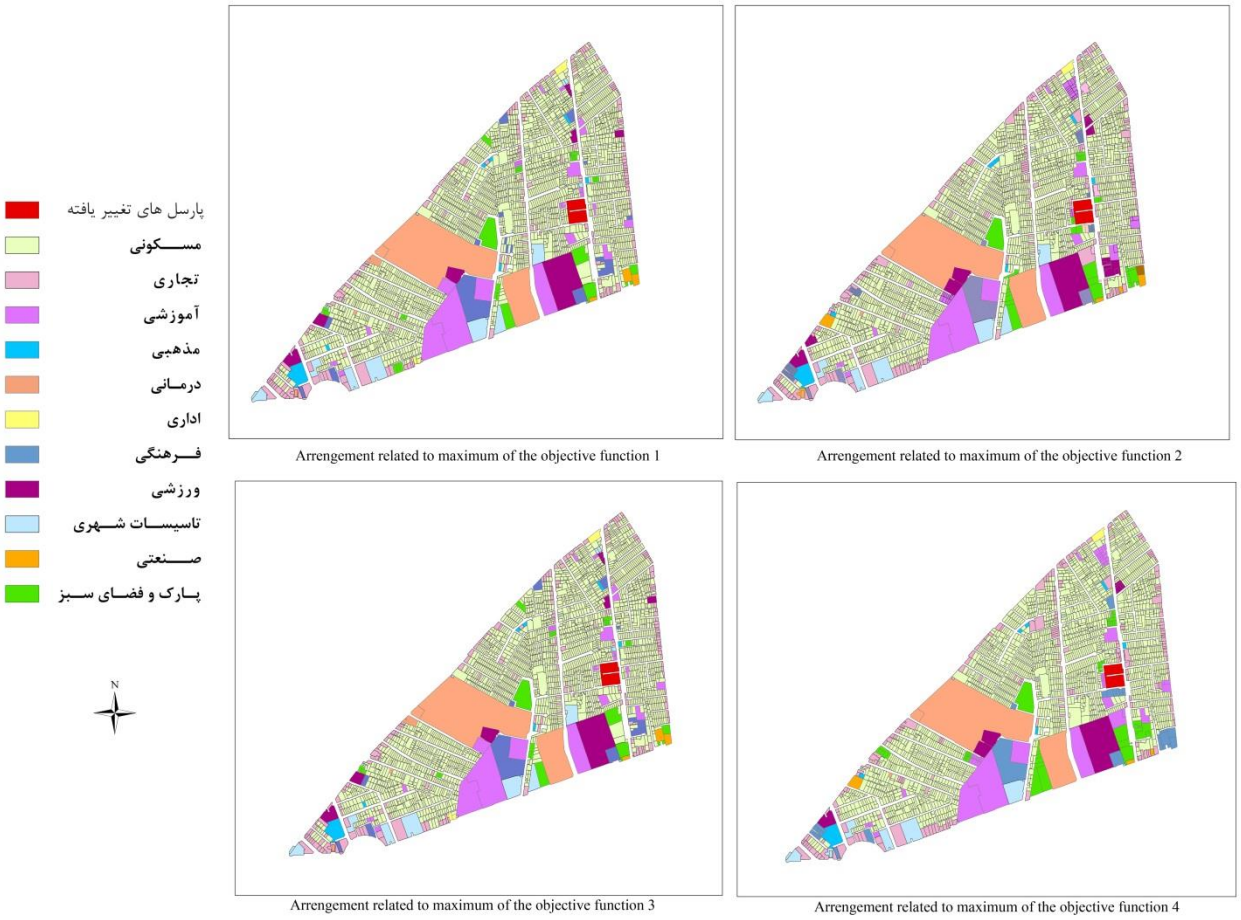
[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.29252/jgit.6.1.131]



شکل ۶: فلوچارت کلی روش انجام MOEA/D در تحقیق

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.29252/jgit.6.1.131]



شکل ۷: چینش بهینه‌ی به دست آمده بر اساس بیشینه‌ی هر یک از توابع هدف با استفاده از روش MOEA/D

شکل (۸) نیز جبهه‌های جواب بهینه‌ی دو بعدی متناظر با توابع هدف را با استفاده از روش MOEA/D نشان می‌دهد. مسئله‌ی مفروض دارای چهار تابع هدف است، بنابراین جبهه‌ی جواب کلی مسئله چهار بعدی است. از آنجائی‌که نمایش جبهه‌ی جواب چهار بعدی بسیار مشکل و در بسیاری از موارد غیر ممکن است، در تحقیق حاضر، این فضا در فضاهای دو بعدی تصویر شده و نتایج نمایش داده شده‌اند.

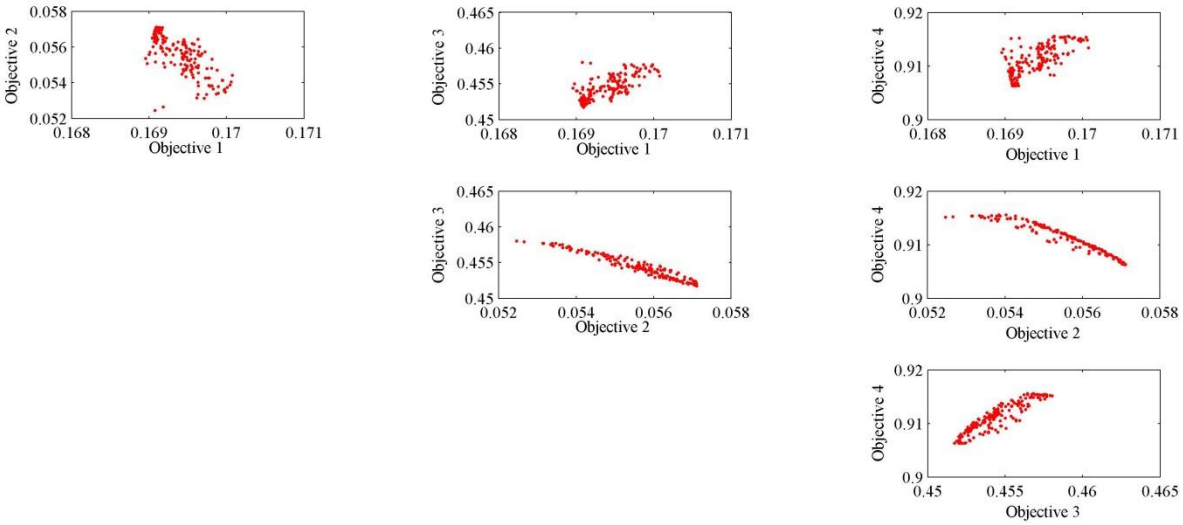
همانطور که قبلاً اشاره شد، هر یک از نقاط نمایش داده شده در شکل (۸) یک چینش را در فضای مسئله نشان می‌دهند. تصمیم‌گیرنده با توجه به اولویت‌های خود می‌تواند هر یک از نقاط را انتخاب کرده و چینش متناظر را ملاحظه نماید. بنابراین یکی از مهم‌ترین خروجی‌های تحقیق جبهه‌ی جواب بهینه است که با استفاده از آن تصمیم‌گیرنده می‌تواند با مشخص نمودن اولویت‌های تصمیم‌گیری، چینش متناظر را ملاحظه کند.

شکل (۹) نیز تعداد تغییرات کاربری پیشنهادی الگوریتم MOEA/D در حالت کلی و در داخل حوزه‌ی نفوذ کاربری تغییر داده شده برای هر یک از حالت‌هایی که توابع هدف بیشینه هستند را نشان می‌دهد.

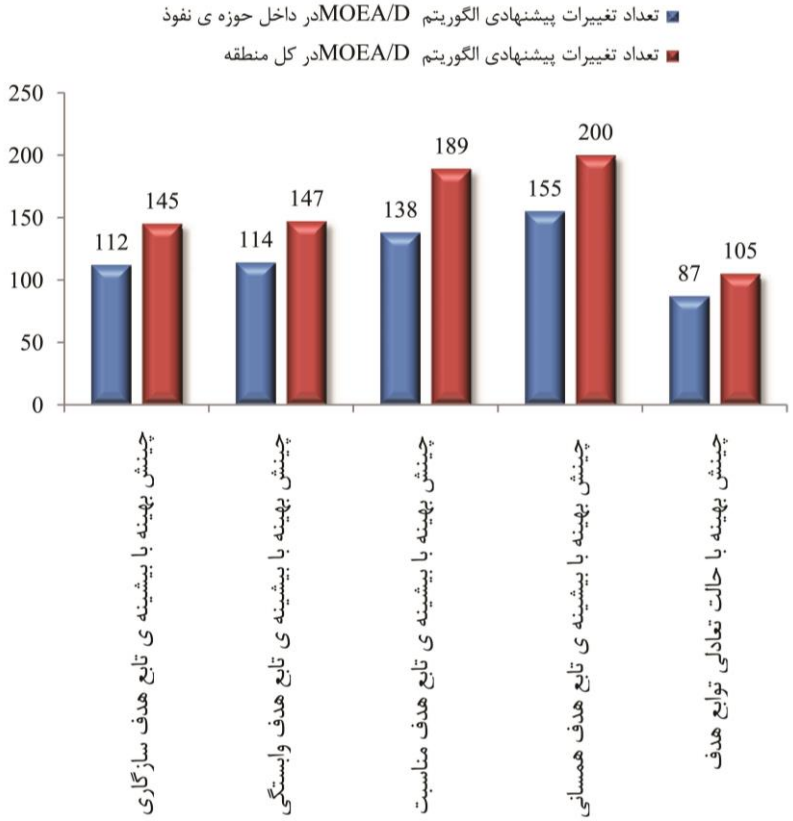
همانطور که در شکل (۹) ملاحظه می‌شود الگوریتم MOEA/D بیشترین تعداد تغییر را برای تابع هدف همسانی کاربری‌های مجاور پیشنهاد داده است. در حقیقت برای رسیدن به بیشینه‌ی این تابع هدف، تغییرات بیشتری در چینش وضعیت موجود با استفاده از این الگوریتم لازم است.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.29252/jgit.6.1.131]

از آنجائیکه بیشتر تصمیم‌گیرندگان ترجیح می‌دهند حالت تعادلی توابع هدف را ملاحظه نمایند، در شکل (۹) این نوع چینش نیز بررسی شده است. چینش بهینه‌ی متناظر با حالت تعادلی توابع هدف دارای کمترین تغییرات است.



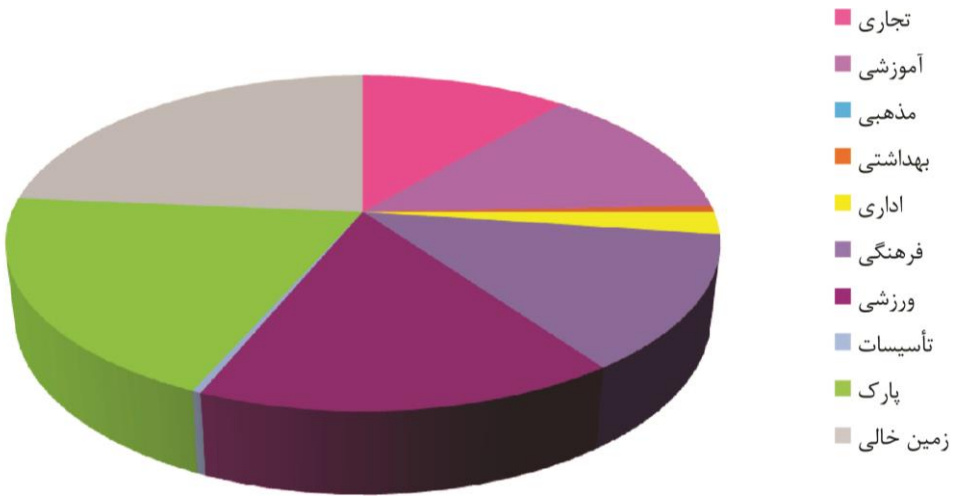
شکل ۸: تصویر فضای جواب چهار بعدی جبهه‌ی جواب بهینه‌ی به دست آمده از الگوریتم MOEA/D بر فضاهای دو بعدی (نقاط نمایش داده شده پاسخ‌های مسئله هستند و توابع هدف در محورهای دو بعدی مشخص شده‌اند.)



شکل ۹: تعداد تغییرات کاربری پیشنهادی الگوریتم MOEA/D در کل منطقه و در داخل حوزه‌ی نفوذ برای هر یک از حالت‌های بیشینه‌ی توابع هدف

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.29252/jgit.6.1.131]



شکل ۱۱: میزان تغییر نوع کاربری‌ها در چینش بهینه‌ی به‌دست آمده در پاسخ به تغییر کاربری به وجود آمده

شکل (۱۱)، وضعیت تغییر زیرکلاس‌های کاربری‌های اصلی از نظر مساحت اختصاص داده شده در مقایسه با وضعیت موجود در مورد چینش به‌دست آمده از الگوریتم MOEA/D برای حالت بیشینه‌ی سازگاری را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل ملاحظه می‌شود، بیشترین تغییر کاربری مربوط به زیرکلاس مسکونی کم تراکم و زمین‌های خالی است. این مسئله می‌تواند به دلیل جبران کمبودهای سرانه در منطقه بر روی این نوع کاربری باشد. از طرفی سختی تغییر پایین تعریف شده در این دو نوع کاربری دلیل دیگری بر این مسئله است. بنابراین المان سختی تغییر در تابع هدف مناسبت به وضوح در نتایج تأثیرگذار است.

۵- ارزیابی نتایج

در این قسمت نتایج از دو دیدگاه مورد بررسی قرار خواهند گرفت؛ در ابتدا با استفاده از آزمون‌های متداول الگوریتم‌های تکاملی چندهدفه به ارزیابی مدل پرداخته خواهد شد. سپس نتایج به دست آمده با نتایج الگوریتم NSGA-II که یک الگوریتم حل مسائل بهینه‌سازی چندهدفه بر مبنای الگوریتم ژنتیک است، مقایسه خواهد شد.

۵-۱- ارزیابی نتایج از دیدگاه آزمون‌های متداول الگوریتم‌های چندهدفه

از آنجائیکه در الگوریتم‌هایی که بر اساس احتمال عمل می‌کنند، جمعیت اولیه به‌صورت تصادفی انتخاب می‌شود، ممکن است نتایج با اجراهای مختلف، متفاوت باشد. بنابراین لازم است تست‌هایی بر روی این الگوریتم‌ها انجام شود تا تغییرات در نتایج ملاحظه شده و ثبات الگوریتم بررسی شود. البته لازم به ذکر است، با تعریف دقیق‌تر توابع هدف و شرایط مسئله و نیز پارامترهای اجرایی الگوریتم می‌توان تا حد زیادی این مسئله را کنترل کرد. از جمله‌ی این تست‌ها می‌توان به تست تکرارپذیری الگوریتم و تست همگرایی الگوریتم اشاره کرد [۱۴ و ۱۷] که در این بخش به بررسی نتایج حاصل از این تست‌ها پرداخته خواهد شد.

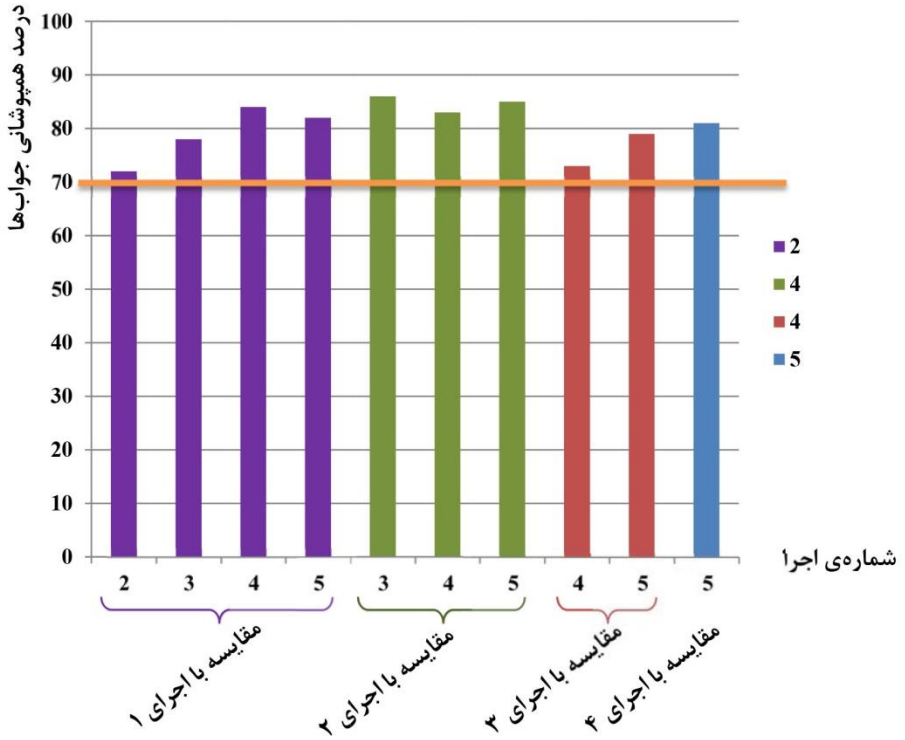
۵-۱-۱- تست تکرارپذیری الگوریتم

برای انجام تست تکرارپذیری، الگوریتم با جمعیت اولیه و تعداد تکرار یکسان چندین بار[1] اجرا می‌شود. در صورتیکه پارامترهای اجرایی الگوریتم به خوبی تعریف و تنظیم شده باشند، بایستی الگوریتم در اجراهای مختلف جواب‌های نسبتاً یکسانی تولید کند.

[1] run

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.29252/jgit.6.1.131]

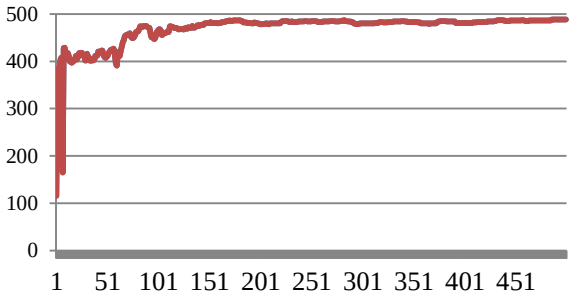
در صورتیکه حدود ۷۰ درصد جواب‌ها مشابه باشند الگوریتم تکرارپذیری قابل قبولی خواهد داشت [۱۷]. در این تحقیق الگوریتم به تعداد دفعات ۵ بار و با جمعیت اولیه ۵۰۰ و تعداد تکرار ۵۰۰ از این منظر، مورد آزمایش قرار گرفته است. شکل (۱۲) به‌منظور بررسی دقیق‌تر این مسئله تولید شده است که درصد همپوشانی دو به دوی هر یک از اجراها را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود، درصد تکرارپذیری الگوریتم در ۵ بار اجرا در سطح قابل قبولی (بالای ۷۰ درصد) قرار دارد.



شکل ۱۲: مقایسه‌ی دو به دوی درصد همپوشانی جواب‌ها در ۵ بار اجرای الگوریتم MOEA/D

۵-۱-۲- تست همگرایی الگوریتم

همگرایی الگوریتم می‌تواند از جنبه‌های مختلف مورد بررسی قرار گیرد. مهم‌ترین عاملی که نشاندهنده‌ی همگرایی الگوریتم است ثابت ماندن مقادیر توابع هدف و تعداد جواب‌های موجود در جبهه‌ی جواب بهینه می‌باشد [۱۷]. در تست همگرایی الگوریتم، تغییر بیشینه‌ی مقادیر توابع هدف و تغییرات در تعداد جواب‌های کلی در هر ۵۰ تکرار مورد بررسی قرار گرفته است. شکل (۱۳) تعداد جواب‌ها را از هر ۵۰ تکرار نشان می‌دهد.



شکل ۱۳: تغییر تعداد جواب در هر ۵۰ تکرار در الگوریتم MOEA/D

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.29252/jgit.6.1.131]

همانطور که در شکل (۱۳) دیده می‌شود، تعداد جواب‌ها در ابتدا متغیر است و سپس با افزایش تکرارها بهبود پیدا می‌کنند. همچنین حدوداً پس از تکرار ۳۰۰ تغییر معنی‌داری در آن مشاهده نمی‌شود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت الگوریتم در تکرار ۴۰۰ به همگرایی لازم می‌رسد ولی جهت حصول اطمینان به نتایج، تعداد تکرار ۵۰۰ در نتایج نهایی به‌کار رفته است.

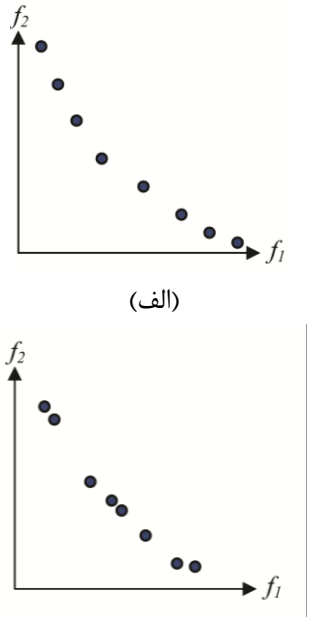
۵-۲- ارزیابی نتایج الگوریتم MOEA/D در مقایسه با الگوریتم NSGA-II

در این قسمت نتایج به دست آمده با الگوریتم MOEA/D با نتایج الگوریتم NSGA-II که با المان‌های زیر اجرا شده است، مقایسه خواهد شد. از آنجائیکه در اینجا هدف تنها مقایسه‌ی دو الگوریتم است در این قسمت به جزئیات روش اجرای NSGA-II پرداخته نمی‌شود. علاقمندان برای کسب اطلاعات در مورد نحوه اجرای کار NSGA-II می‌توانند به [۱۷] مراجعه نمایند. الگوریتم NSGA-II به کار رفته با اپراتورهای تقاطع و جهش و نیز جمعیت اولیه‌ی کاملاً یکسان با الگوریتم NSGA-II انجام شده است.

با توجه به بررسی منابع و مراجع موجود دو متریک مقایسه برای دو الگوریتم در این تحقیق در نظر گرفته شده است که عبارتند از متریک فاصله[1]، متریک پراکنش[2] و زمان اجرای الگوریتم [۱۷ و ۲۹]. در ذیل به بررسی جزئیات این متریک‌ها پرداخته می‌شود.

۵-۲-۱- متریک فاصله

با استفاده از این معیار می‌توان پراکندگی نقاط جبهه‌ی جواب‌های بهینه را مورد بررسی قرار داد. هر چه پراکندگی نقاط در فضای جواب بهتر باشد نتایج بهتر است. برای توضیح بیشتر در دو جبهه‌ی جواب نمایش داده شده در شکل (۱۴) جبهه‌ی جواب شکل (الف-۱۴) از نظر پراکندگی به مراتب بهتر از جبهه‌ی جواب شکل (ب-۱۴) است. زیرا در شکل (ب-۱۴) در برخی نقاط جواب‌ها به‌یکدیگر نزدیک هستند و تجمع دارند و در برخی مناطق فضای خالی میان جواب‌ها وجود دارد.



شکل ۱۴: متریک فاصله، شکل (الف) ۱۴ جبهه‌ی جواب بهینه با پراکندگی مناسب و همگن شکل (ب) ۱۴ جبهه‌ی جواب بهینه با پراکندگی نامناسب

به‌منظور نمایش ریاضی این متریک از انحراف معیار موجود در کمترین فواصل جواب‌ها استفاده می‌شود. به‌عبارت دیگر اگر d_i نشاندهنده‌ی کمترین فاصله‌ی نقطه‌ی i از سایر جواب‌ها باشد، متریک فاصله به‌صورت رابطه (۱۴)تعریف می‌شود [۳۰].

$$SM = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(d_i - \bar{d})^2} \qquad \text{رابطه (۱۴)}$$

که در آن، n تعداد نقاط جبهه‌ی جواب بهینه، d_i فاصله‌ی دو به دوی نقاط روی جبهه‌ی جواب و $\bar{d}$ میانگین d_i هاست. هر چه مقدار SM در رابطه (۱۴) کمتر باشد، نقاط روی جبهه‌ی جواب بهینه از پراکنش بهتری برخوردار هستند و به عبارت دیگر منظم‌تر هستند.

[1] Spacing Metric
[2] Diversity Metric

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.29252/jgit.6.1.131]

۵-۲-۲- متریک پراکندگی

این متریک شاخصی برای بررسی بازه‌ی جستجو شده توسط الگوریتم است. هر چه الگوریتم بازه‌ی بزرگتری را جستجو کرده و به جواب‌های بهینه‌ی متنوع‌تری رسیده باشد، عملکرد بهتری خواهد داشت [۱۷]. در صورتیکه برای هریک از توابع هدف، f^{max} و f^{min} به ترتیب نشانگر مقادیر بیشینه و کمینه باشد، Δf به‌صورت رابطه (۱۵) تعریف می‌شود [۲۹].

$$\Delta f_j = f_j^{\max} - f_j^{\min},\ j = 1,2,...,m \qquad \text{رابطه (۱۵)}$$

که در آن m تعداد توابع هدف است. همچنین بردار ΔF نیز به‌صورت رابطه (۱۶) تعریف می‌شود.

$$\Delta F = [\Delta f_1, \Delta f_2, ..., \Delta f_m] \qquad \text{رابطه (۱۶)}$$

در ادامه متریک پراکندگی با استفاده از رابطه (۱۷) محاسبه می‌شود.

$$D = \|\Delta F\| \qquad \text{رابطه (۱۷)}$$

در رابطه‌ی (۱۷) منظور از $\|\Delta F\|$ همان نرم دوم بردار F است. با توجه به رابطه‌ی فوق هر چه مقدار D بیشتر باشد، عملکرد الگوریتم بهتر بوده است زیرا در محدوده‌ی بزرگتری جواب‌های بهینه را به‌دست آورده است. جدول (۳) مقادیر این متریک‌ها را برای دو الگوریتم نشان می‌دهد.

جدول ۳: مقادیر متریک‌های فاصله، پراکندگی و زمان اجرای الگوریتم برای دو الگوریتم NSGA-II و MOEA/D

الگوریتم	متریک فاصله	متریک پراکندگی	زمان اجرای الگوریتم (به ثانیه)
NSGA-II	۰/۵۴۵۰۷	۰/۰۰۹۳۳۹۴	۴۷۹۵۴۸/۵۷۴۳
MOEA/D	۰/۵۶۷۳۴	۰/۰۴۳۲	۲۳۵۰۹۸/۰۹۱۶

همانطور که در جدول (۳) ملاحظه می‌شود، متریک فاصله که نمایشگر نظم در فاصله‌ی نقاط در جبهه‌ی جواب می‌باشد، در NSGA-II بهتر از MOEA/D عمل کرده است. این امر به دلیل استفاده‌ی NSGA-II از فاصله‌ی ازدحامی در انتخاب نقاط برتر برای ایجاد نسل‌های بعدی می‌باشد. اما در مورد متریک پراکندگی الگوریتم MOEA/D بهتر NSGA-II از می‌باشد. این امر می‌تواند به دلیل مکانیزم جستجوی MOEA/D بر اساس بردارهای وزن باشد. از نظر زمان اجرای الگوریتم، MOEA/D به مراتب بهتر عمل کرده است. این امر به دلیل پیچیدگی محاسباتی کمتر این الگوریتم و عدم استفاده‌ی مستقیم از مفهوم غلبگی در تعیین جواب‌ها می‌باشد.

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این تحقیق اثرات تغییر کاربری‌های شهری بر اساس المان‌های فیزیکی با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه‌ی MOEA/D مدلسازی شده است. برای نیل به هدف مذکور در ابتدا المان‌های کمی و کیفی موثر بر چینش بهینه‌ی کاربری‌ها در سطح شهر استخراج شده است. طبق بررسی‌های انجام شده، المان‌های کیفی شامل سازگاری، وابستگی و مناسبت و المان‌های کمی شامل سرانه‌های کاربری در منطقه بوده‌اند. بنابراین مسئله به صورت یک مسئله‌ی چندهدفه تعریف شده است. در ذیل به نتایج این تحقیق پرداخته شده است:

- با اینکه در تعریف تمامی اجزای مدل سعی بر آن بوده است تا نظر کارشناسان مورد توجه قرار گیرد ولی با این وجود به نظر می‌رسد اعمال نظرات کارشناسانه و تصمیم‌گیری نهایی برای تغییر سایر کاربری‌ها با توجه به تغییر به‌وجود آمده در منطقه ضروری است. در حقیقت نتایج حاصل از مدل سناریوهایی هستند که به تصمیم‌گیرندگان و سیاست گذاران امکان تصمیم‌گیری دقیق‌تر و بهتر را می‌دهند و

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.29252/jgit.6.1.131]

مدل طراحی شده یک مدل حامی برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری است.

- نحوه‌ی تعریف توابع هدف نقش بسیار مهم و کلیدی در نتایج به دست آمده از مدل دارد. هر چه توابع هدف دقیق‌تر و شامل جزئیات بیشتری از مسئله باشند، نتایج نیز دقیق‌تر خواهند بود. لازم به ذکر است تعریف توابع هدف پیچیده منجر به عدم همگرایی لازم و نتایج ضعیف‌تر خواهد بود. در حالت کلی همسو کردن و تعریف توابع هدف در یک مسئله جزء مهم‌ترین و زمان برترین قسمت‌های مدلسازی است که بایستی دقت زیادی در این مرحله داشت.
- الگوریتم‌های بهینه‌سازی چندهدفه‌ی مدرن معمولاً بر اساس جمعیت اولیه‌ی کاملاً تصادفی عمل . ولی در بسیاری از موارد استفاده از جمعیت اولیه‌ی کاملاً تصادفی موجب و عدم دستیابی به نتایج مناسب می‌شود. این مسئله به خصوص زمانی که مسئله‌ی مورد نظر پیچیده است و شامل توابع هدف زیادی نیز می‌باشد تأثیر بیشتری دارد. در این موارد معمولاً با آموزش، جمعیت اولیه را به‌سوی جمعیت اولیه‌ی دلخواه هدایت می‌کنند. به این نوع جمعیت اولیه، PBI[1] نیز گفته می‌شود. در این تحقیق تعریف PBI با استفاده از وضعیت موجود موجب همگرایی سریع‌تر و به‌دست آمدن نتایج منطقی‌تر گردید.

در این تحقیق سعی بر آن بوده است تا یک دید کلی از تأثیر تغییر کاربری‌ها در منطقه به‌دست آید. در صورتی‌که این مسئله به‌صورت جزئی‌تر و در همسایگی‌های کوچکتر بررسی شده و سپس وارد مدل کلی‌تر شود به تدقیق مدل کمک خواهد کرد. همچنین لازم است بیشتر به دینامیک بودن تغییرات کاربری‌ها در شهر توجه نمود.

[1] Problem-Based Initial population

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.29252/jgit.6.1.131]

مراجع

[1] Hausen, M. A. “Dynamic Urban Design: A Handbook for Creating Sustainable Communities Worldwide” iUniverse, USA, 2012.

[2] Shiffa, M., Jianhua, H., Feng, L., & Yan, Y. (2011). “Land-use spatial optimization based on PSO algorithm”, Geo-spatial Information Science 14, 54:61.

[3] Liu, X., Ou, J., Li, X., & Ai, B. “Combining system dynamics and hybrid particle swarm optimization for land use allocation”. Ecological Modelling, 257, 11-24, 2013.

[4] YaoLin, L., & JinJin, P. “A Fast Particle Swarm Optimization Algorithm for Land Use Allocation” Paper presented at the 12th International Conference on GeoComputation, Wuhan, China, 2013.

[5] Liu Y, Peng J, Jiao L, Liu Y, “PSOLA: A Heuristic Land-Use Allocation Model Using Patch- Level Operations and Knowledge-Informed Rules”, PLoS ONE 11(6), 21-42, 2016.

[6] Cao, K., Batty, M., Huang, B., Liu, Y., Yu, L. & Cheng, J., “Spatial multi-objective land use optimization: extensions to the non-dominated sorting genetic algorithm-II”, International Journal of Geographical Information Science, 1, 1-21, 2011.

[7] Zhang, Q., & Li, H., “MOEA/D: A Multiobjective Evolutionary Algorithm Based on Decomposition”. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 11(6), 712-731, 2007.

[8] Haque, A. and Asami, Y., Optimizing urban land use allocation for planners and real estate, developers, Computers, Environment and Urban Systems, Vol. 46, 57–69, 2014.

[9] Masoumi, Z., Mesgari, M.S., Hamrah, M., “Allocation of urban land uses by Multi-Objective Particle Swarm Optimization algorithm” International Journal of Geographical Information Science, Vol. 27(3), 1-25, 2013.

[10] Delaviz, Y., Shaygan, M., Karami, J., “Using NSGA-II in multi-objective urban land use optimization to decrease earthquake risk, Journal of Geomatic sciences and technology”, Vol.5, Issue, 3. 247-264, 2014.

[11] Mashhoudi, S., “Fundamentals of urban dynamic plans”, Urban Processing and Planning Co, Tehran, Iran, 2006.

[12] Pasione, M., “Urban Geography: A Global Perspective (3 rd ed.)”. New York: Routledge, 2009.

[13] Seifadini, F., “Fundamental of urban planning, Aeezh publication”, Tehran, Iran, 2008.

[14] Coello Coello, C. A., Lamount, G. B. and Veldhuizen, D. A. “Evolutionary algorithms for solving multi-objective problems”. 2nd ed. New York: Springer, 2007.

[15] Branke, J., Deb, K., Miettinen, K., & Slowiniski, R. “Multiobjective optimization: Interactive and Evolutionary Approache” Springer, 2008.

[16] Munier, N. “A Strategy for Using Multicriteria Analysis in Decision-Making: A Guide for Simple and Complex Environmental Projects (1st Edition ed.)”. Valencia, Spain: Springer, 2011.

[17] Deb, K. “Multi-Objective Optimization Using Evolutionary Algorithm” New York, John Wiley and Sons, 2001.

[18] Talbi, E. “Metaheuristics: from desgin to implementation”, New Jersey, John Wiley and Sons, 2009.

[19] Engelbrecht, A. P.“Computational Intelligence: An Introduction” England, John Wiley & Sons, 2007.

[20] Goldberg, D. E. & Richardson, J. Year. “Genetic algorithms with sharing for multimodal function optimization”. In: GREFENSTETTE, J. J., ed. 2nd

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.29252/jgit.6.1.131]

international Conference on Gas: Genetic Algorithms and Their Applications, 1987 Cambridge. Massachusetts Institute of Technology, 41-49.

[21] Peng, W., Zhang, Q., & Li, H. Comparison between MOEA/D and NSGA-II on the Multi-Objective Travelling Saleman Problem. In C. K. Goh, Y. S. Ong & K. C. Tan (Eds.), Multi-Objective Memetic Algorithms (Vol. Studies in Computational Intelligence, pp. 309-324). Berlin: Springer, 2009.

[22] Ishibuchi, H., Sakane, Y., Tsukamoto, N., & Nojima, Y. "Simultaneous use of different scalarizing functions in MOEA/D". Paper presented at the Proceedings of the 12th annual conference on Genetic and evolutionary computation, 2010.

[23] Zhang, H., Zeng , Y., Jin , X., Shu , B., Zhou, Y., Yang, X., " Simulating multi-objective land use optimization allocation usingMulti-agent system—A case study in Changsha", China, Ecological Modelling, Vol. 320, 334–347, 2016

[24] Poormohammadi, M., "Urban land use planning", Tehran university press, Tehran, Iran, 2008.

[25] Telei, M., Sharifi, A., Sliuzas, R. & Mesgari, M. "Evaluating the compatibility of multi-functional and intensive urban land uses." International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 9, 375-391, 2006.

[26] Koomen, E., Rietveld, P. and Nijs, T. "Modelling land-use change for spatial planning support." Annals in Regional Science, 42, 1-10, 2008.

[27] Lagore, J., "Site Analysis, A Contextual Approach to Sustainable Land Planning and Site Design" Second ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2008.

[28] Haupt, R. L. and Haupt, S. E." Practical Genetic Algorithms". 2nd ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2004.

[29] Bajestani, M. A., et al. "A multi-objective scatter search for a dynamic cell formation problem.", Operations Research, 36, 777-794, 2009.

[30] Zitzler, E., Deb, K. and Thiele, L. " Comparison of Multiobjective Evolutionary Algorithms: Empirical Results". Evolutionary Computation, 8(2), 173-195, 2002.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.29252/jgit.6.1.131]

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

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.6, No.1, Spring 2018

Multi-Objective land use planning and modeling its change using Multi-Objective Evolutionary Algorithm based on Decomposition algorithm

Zohreh Masoumi[*1], Mohammad Sadi Mesgari[2]

1- Assisstant professor in Department of Earth Sciences, Institute of Advanced Studies in Basic Sciences
2- Associate professor in Departement of Geomatics in Khajeh Nasir Toosi University of Technology

Abstract

Considering rigidity in General and Detail urban plans, modeling the effects of changes mathematically would be worth in such plans. Investigating the effects of urban land use changes in the arrangement of other land uses and designing criteria such as consistency, dependency, suitability and per capita demand, always is a multi-objective and NP-hard problem. Due to the variety of urban land uses and their complex relationships with each other, many possible arrangements of land uses can be suggested. In this study, the main target is obtaining the effects of changes in one or more land uses in the arrangement of the other land uses considering three objective functions and one criteria simultaneously. These objective functions include consistency, dependency and suitability. Moreover, per capita demand assume as criteria in this research. To do so, MOEA/D algorithm is applied. Results demonstrate that the solutions are acceptable in the test of meta-heuristic algorithms. Furthermore, the results of the algorithm shows more optimized answer than current status. It is notable to say that the run time of this algorithm is considerably lower than other MOEAs like NSGA-II. Besides, the search space of MOEA/D is more expanded than NSGA-II.

Key words: Land use change modeling, Decision support, MOEA/D, GIS

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 2026-11-13]

[DOI: 10.29252/jgit.6.1.131]