



توسعه مدل مکانی ریزدانه به منظور چینش بهینه کاربری‌های شهری بر مبنای الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه تجمعی ذرات (MOPSO)

زهره معصومی*^۱، محمدسعدی مسگری^۲

۱. استادیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان
۲. دانشیار گروه سیستم اطلاعات مکانی، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی و قطب علمی فناوری اطلاعات مکانی

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۱۲/۱۸

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۷/۳۰

چکیده

افزایش نیاز به زمین و محدودیت عرضه آن، نحوه استفاده از زمین را به چالشی اساسی در عرصه برنامه‌ریزی شهری تبدیل کرده است. در این میان، چینش مناسب و بهینه کاربری‌ها در کنار یکدیگر از چالش‌های اصلی برنامه‌ریزی کاربری اراضی شهری به‌شمار می‌آید. هدف اصلی پژوهش حاضر، به‌کارگیری الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه تجمعی ذرات (MOPSO) به منظور دستیابی به چینش بهینه کاربری‌های شهری در سطح ریزدانه است. در تدوین مدل پیشنهادی، از سامانه اطلاعات مکانی (GIS) به‌عنوان مولد گزینه‌ها و سناریوهای مکانی بررسی شده استفاده گردید. به این منظور پارامترهای روش به‌کار گرفته شده با کاربرد مورد نظر سازگار شدند و گزینه‌های تصمیم‌سازی بر مبنای توابع هدف و شروط مسئله ایجاد گردید. سپس با نمایش جواب‌های بهینه و تفاوت میان آنها، به کاربر امکان تصمیم‌گیری داده شد. این مدل در یک محدوده از منطقه هفت تهران اجرا شد و نتایج آن به‌دست آمد، که نشان‌دهنده تکرارپذیری و ثبات روش به‌کار گرفته شده است. در چینش کاربری‌ها در سطح ریزدانه با توجه به تعدد قطعات و تنوع کاربری‌ها و نیاز به برآورده کردن هم‌زمان چند هدف گاه ناسازگار با هم، استفاده از MOPSO می‌تواند تا حد زیادی پیچیدگی‌های مربوط به انتخاب و ارزیابی گزینه‌های تصمیم‌گیری را حل کند. ریزدانه‌بودن مدل ارائه شده، حالت دینامیک آن در پشتیبانی از تصمیم‌گیری مکانی، و ایجاد حالت‌های گوناگون از چینش کاربری‌ها برای تصمیم‌گیری براساس توابع هدف، از نوآوری‌های پژوهش حاضر است.

کلیدواژه‌ها: چینش بهینه کاربری شهری، سیستم اطلاعات مکانی، الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه تجمعی ذرات (MOPSO)، تصمیم‌گیری چندهدفه.

۱- مقدمه

در زمینه مدیریت کاربری‌های شهری و تصمیم‌سازی در مورد چینش بهینه کاربری‌ها در کنار یکدیگر کارهای متنوعی انجام شده است. در برخی از مطالعات، از روش‌های وزن‌دهی پیش از حل برای چینش کاربری‌ها با به‌کارگیری توابع هدف مسئله استفاده شده است. در این روش‌ها مسئله چندهدفه با استفاده از وزنی که به توابع هدف داده می‌شود به مسئله‌ای تک‌هدفه تبدیل و سپس حل می‌شود (Colson & Bruyn, 1989). از جمله تحقیقاتی که در آنها از روش مذکور استفاده شده است می‌توان به مواردی که در پی می‌آیند اشاره کرد. هدف تحقیقی که جیانگ کوان^۱ (۲۰۰۷) انجام داد، بهینه‌کردن کاربری زمین‌های شهری با توجه به ترافیک و هزینه در شبکه حمل‌ونقل بود. در این تحقیق با استفاده از آنالیز حساسیت کاربری، به بهینه‌سازی ترافیک در شبکه و هزینه سفر پرداخته شد و واحد مکانی، ناحیه^۲ بود. مواه و کاناروگلو^۳ (۲۰۰۹) نیز در این زمینه تحقیق مشابهی انجام دادند که در آن از برنامه‌ریزی خطی برای حل مسئله بهینه‌سازی استفاده شد و توابع هدف به‌صورت تفصیلی‌تر آمدند.

در برخی از مدل‌های توسعه‌یافته نیز از روش‌های بهینه‌سازی چندهدفه مدرن مانند الگوریتم‌های چندهدفه تکاملی، هوش مصنوعی و مانند اینها استفاده شد، که از جمله می‌توان به مواردی که در پی می‌آیند اشاره کرد. در تحقیق شیفاف^۴ و همکاران (۲۰۱۱) هدف، بهینه‌سازی تخصیص کاربری در هر زمین با در نظر گرفتن توابع هدف بیشینه مناسب زمین با کاربری و کمینه هزینه تغییر شکل قطعات زمین است. روش بهینه‌سازی به‌کاررفته در پژوهش مذکور، PSO^۵ تک‌هدفه در سطح قطعات شهری است، که در آن توابع

برنامه‌ریزی کاربری اراضی شهری، ساماندهی مکانی و فضایی فعالیت‌ها و عملکردهای شهری براساس خواسته‌های جامعه شهری است و هسته اصلی برنامه‌ریزی شهری را تشکیل می‌دهد (سعیدی‌نیا، ۱۳۸۲). در برنامه‌ریزی شهری روش‌های مختلفی مطرح شده است که هر کدام به فراخور زمان و مکان اجرا، دستخوش تغییراتی شده و به‌سمت بهبود و هماهنگ‌سازی با شرایط جدید سوق داده شده‌اند یا در اثر عدم‌مطابقت با نیازهای جامعه شهرنشین حذف شده‌اند (Kivell, 1993). مشکلات بیشتر این طرح‌ها تطابق‌نداشتن با نیازهای متغیر شهروندان، در نظر نگرفتن حالت دینامیک شهر و صلبيت آنها بوده است (مشهودی، ۱۳۸۶). ارائه روشی که با استفاده از آن بتوان به تصمیم‌سازی در چینش بهینه کاربری‌های شهری، با توجه به نیازهای متغیر شهروندان در طول زمان پرداخت همواره نزد تصمیم‌گیرندگان مسائل شهری اهمیت فراوانی داشته است. مدل‌سازی فضایی چینش بهینه کاربری‌ها را می‌توان از دو دیدگاه مختلف بررسی کرد (پورمحمدی، ۱۳۸۸):

- معیارهای کمی: این ارزیابی براساس مقایسه سرانه‌های موجود کاربری‌ها با استانداردهای مرتبط یا از طریق بررسی نیازهای فعلی و آتی منطقه مورد مطالعه به‌فراصورت می‌گیرد.
- معیارهای کیفی: در معیارهای کیفی سه عنصر سازگاری، وابستگی و مناسبت بررسی می‌شوند (پورمحمدی، ۱۳۸۸). کاربری‌هایی که در یک منطقه استقرار می‌یابند، نباید موجب مزاحمت و مانع اجرای فعالیت‌های یکدیگر شوند و این مسئله معیاری برای سازگاری کاربری‌هاست. وابستگی به مفهوم نیاز یک کاربری به فعالیت یا فعالیت‌های دیگر کاربری‌هاست و میزان برآورده‌شدن این نیاز معیاری است برای مناسب‌بودن چیدمان. مناسبت به مفهوم سازگاری بین کاربری و محل استقرار آن است.

1. Jiang Qian
2. Zone
3. Moah and Kanaroglou
4. Shiffa
5. Particle Swarm Optimization

توجه به معیارهای کمی و کیفی فضایی و با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه^۷ (MOPSO) در سطح پلاک‌های شهری است. این الگوریتم به دلیل پیچیدگی محاسباتی کمتر در مقایسه با برخی الگوریتم‌های چندهدفه مانند الگوریتم ژنتیک چندهدفه (CGA)، استفاده از مزایای هوش تجمعی در این الگوریتم (Engelbrecht, 2006)، و پیاده‌سازی آسان‌تر اپراتورها در مقایسه با الگوریتم‌های چندهدفه تکاملی متداول مانند NSGA-II (Coello Coello & Lamont, 2004) انتخاب شد. در اینجا کوشش می‌شود با توجه به اولویت‌های تصمیم‌گیرندگان، چینش بهینه متناظر امکان نمایش داشته باشد تا تصمیم‌گیرندگان بتوانند با تعریف یا تغییر اولویت‌ها، سناریوهای مورد نظر را مشاهده کنند. در پژوهش حاضر فرض بر این است که شکل قطعات زمین ثابت است و تغییر نمی‌کند.

۲- مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی تحقیق حاضر، ناحیه ۱ منطقه ۷ تهران است، که در این بخش نحوه آماده‌سازی داده‌های آن شرح داده شده است. در پژوهش حاضر، روش MOPSO پیشنهادشده کوئلو کوئلو و لامونت^۸ (۲۰۰۴) در حل مسئله بهینه‌سازی چندهدفه چینش کاربری‌های اراضی به کار گرفته شد. در ادامه، نحوه آماده‌سازی داده‌ها در تحقیق حاضر و عملکرد روش پیشنهادی شرح داده شده است.

۲-۱- آماده‌سازی داده‌ها

در این بخش به مراحل آماده‌سازی داده‌ها در تحقیق به منظور ورود به مدل پرداخته شده است.

هدف پیش از ورود به مسئله وزن‌دهی شده‌اند و به همین دلیل انعطاف‌پذیری جواب‌ها پایین آمده است. هدف پژوهشی که فنگ و لین^۱ (۱۹۹۹) انجام دادند، ایجاد گزینه‌های مختلف برای مدیریت کاربری‌های شهری با استفاده از الگوریتم ژنتیک چندهدفه^۲ (CGA) بود. از محدودیت‌های این تحقیق می‌توان به پوشش‌ندادن تمامی عوامل در چینش کاربری‌ها و استفاده از واحد مکانی ناحیه اشاره کرد. بالینگ^۳ و همکاران (۱۹۹۹) از الگوریتم ژنتیک چندهدفه ابتکاری برای بهینه‌سازی سه تابع هدف کمینه‌کردن ترافیک، کمینه‌کردن هزینه‌های جابه‌جایی و کمینه‌کردن تغییر کاربری استفاده کردند. در این الگوریتم، بهینه‌سازی به صورت هم‌زمان انجام نشد و به صورت مرحله‌ای روی هریک از توابع هدف به اجرا درآمد و بهترین‌های آن تابع وارد بهینه‌سازی در تابع هدف بعدی گردید. همین مسئله سبب می‌شود که برخی از جواب‌های بهینه در پردازش‌ها در نظر گرفته نشوند. در پژوهش دیگری سمبولونی^۴ (۲۰۰۴) از روش بهینه‌سازی شبیه‌سازی تبرید^۵ برای بهینه‌سازی امکانات مورد نیاز مناطق مسکونی و تجاری استفاده کرد. در آن تحقیق، مدل‌سازی به صورت دینامیک صورت گرفت و با تغییر هر کاربری، کاربری‌های مورد نیاز و تأسیسات شهری با توجه به سازگاری همسایگی‌های مجاور تأمین می‌شد. بیشترین تأکید پژوهش مذکور بر تمرکز یا کمبود امکانات در سطح شهر و توزیع بهینه آن بود و توجه چندانی به المان‌های کمی و کیفی نشد. در پژوهش دیگری که لیگمان زبلینسکا^۶ و همکاران (۲۰۰۸) انجام دادند از مدل بهینه‌سازی چندهدفه برای کمینه‌کردن مزاحمت کاربری‌ها و تراکم ساختمان‌ها به صورت هم‌زمان استفاده شد. الگوریتم به کار گرفته‌شده در پژوهش مذکور، الگوریتمی تلفیقی با مبنای آماری در تولید جواب‌های مختلف است و هدف آن بیشتر پیشنهاد کاربری در مورد مناطق توسعه‌نیافته شهر بود. هدف اصلی پژوهش حاضر، ارائه روشی برای به دست آوردن چینش بهینه کاربری اراضی شهری با

1. Feng & Lin
2. Cumulative Genetic Algorithm
3. Balling
4. Semboloni
5. Simulated Annealing Method
6. Ligmann Zielinska
7. Multi-Objective Particle Swarm Optimization
8. Coello Coello & Lamont

۲-۱-۱- تعریف متغیرهای تصمیم

در ادامه، تعریف و چگونگی ورود متغیرهای تصمیم به مدل به عنوان معیارهای کمی و کیفی شرح داده شده است.

الف) معیارهای کیفی

همان طور که ذکر شد، سه معیار کیفی سازگاری، وابستگی و مناسبت به منظور چینش بهینه کاربری‌ها در این مدل در نظر گرفته شد. لازم است نحوه برخورد با هریک از این معیارها پیش از ورود به مدل مشخص شود.

• سازگاری

در پژوهش حاضر به منظور تعریف سازگاری میان کاربری‌های گوناگون در سطح ریزدانه، از ماتریس سازگاری میان کاربری‌های مختلف استفاده شد. از آنجا که ماتریس‌های سازگاری تعریف شده در منابع و استانداردهای موجود براساس نواحی شهری بودند، از مدل دلفی براساس نظر کارشناسان و منابع موجود برای استخراج ماتریس در سطح ریزدانه استفاده شد. روش دلفی فرایندی ساختاریافته برای جمع‌آوری و طبقه‌بندی دانش موجود نزد گروهی از کارشناسان و خبرگان است، که از طریق توزیع پرسشنامه‌هایی بین این افراد و بازخورد کنترل شده پاسخ‌ها و نظرهای دریافتی صورت می‌گیرد (Adler & Ziglio, 1996; Skulmoski et al., 2007). با توجه به نظر کارشناسان، سازگاری در پنج کلاس زیر تقسیم‌بندی شد و ماتریس سازگاری بر این مبنا به دست آمد.

– کاملاً سازگار؛ یعنی هر دو کاربری خصوصیات مشترکی دارند و فعالیت آنها بر یکدیگر منطبق است و همجواری آنها باعث افزایش قابلیت استفاده و سودمندی یکدیگر می‌شود.

– نسبتاً سازگار؛ در این حالت همجواری کاربری‌ها به میزان کمی باعث افزایش قابلیت استفاده و سودمندی یکدیگر می‌شود.

– نسبتاً ناسازگار؛ یعنی میزان ناسازگاری بین دو

کاربری از سازگاری آنها بیشتر باشد. در این حالت همجواری کاربری‌ها باعث کاهش قابلیت استفاده و سودمندی یکدیگر می‌شود.

– کاملاً ناسازگار؛ یعنی مشخصات دو کاربری هیچ‌گونه همخوانی با یکدیگر ندارند و در تقابل با یکدیگرند.

– بی تفاوت؛ در این حالت همجواری کاربری‌ها خنثی و بی‌اثر است.

در ادامه، از آنجا که الگوریتم مورد نظر برای حل مسئله با مقادیر عددی کار می‌کند، مقادیر کیفی به دست آمده از روش دلفی با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی^۱ (AHP) به مقادیر عددی تبدیل شدند. به منظور مقایسه صحیح کلاس‌های پنج‌گانه سازگاری از مقایسه زوجی در AHP استفاده شد (Taleai et al., 2007). وزن‌های استخراج شده در جدول ۱ و در قسمت نتایج آمده‌اند.

• وابستگی

برای ورود وابستگی به مدل – مطابق آنچه در سازگاری دیده شد – پس از استخراج ماتریس وابستگی با استفاده از روش دلفی در پنج سطح کیفی وابستگی بالا^۲ (HD)، وابستگی متوسط^۳ (MD)، وابستگی پایین^۴ (LD)، نسبتاً مستقل^۵ (MD) و کاملاً مستقل^۶ (HD) و به کارگیری AHP، وزن‌های مورد نیاز برای سطوح وابستگی استخراج شدند. ماتریس وابستگی به دست آمده از این روش در جدول ۲ آمده است.

• مناسبت^۷

با توجه به منابع و استانداردهای موجود، مؤلفه‌هایی که در پی می‌آیند در مورد هر قطعه به منظور به دست آوردن مناسبت قطعه با کاربری بررسی شدند:

1. Analytical Hierarchy Process
2. High Dependency
3. Medium Dependency
4. Low Dependency
5. Medium Independency
6. High Independency
7. Suitability

ب) معیارهای کمی

تأمین سرانه‌ها از موضوعات مهم در برنامه‌ریزی شهری است. در پژوهش حاضر، سرانه‌های مطلوب هر کاربری در منطقه مطالعاتی به‌عنوان معیار کمی وارد مدل شدند. به‌منظور اجرا ابتدا سرانه‌های موجود و مورد نیاز مربوط به هر کاربری در منطقه از منابع موجود و نظرهای کارشناسی استخراج و به‌عنوان شرط وارد مسئله شدند. به‌عبارت دیگر، جواب‌هایی پذیرفتنی هستند که تا حد امکان این شرط را در مسئله تأمین کنند.

۲-۱-۲- آماده‌سازی داده‌های مکانی و توصیفی

منطقه مورد مطالعه به‌منظور ورود به مدل

نقشه‌های شهری ناحیه ۱ منطقه ۷ تهران با مقیاس ۱:۲۰۰۰ به‌عنوان داده مکانی نمونه وارد مدل شدند. از ویژگی‌های درخور توجه در این منطقه، وجود کاربری‌های متنوع در سطوح مختلف مدیریت شهری است. داده‌های اصلی توصیفی مورد نیاز برای ارتباط با پایگاه داده‌های مکانی در پژوهش حاضر به‌شرح زیرند:

- اطلاعات جمعیتی به‌تفکیک سن افراد: این اطلاعات حاصل سرشماری ۱۳۸۵ کل کشور در مرکز آمار ایران و پیمایش‌های انجام‌شده در شرکت‌های مشاور به‌منظور تخمین جمعیت فعلی منطقه مورد مطالعه است.

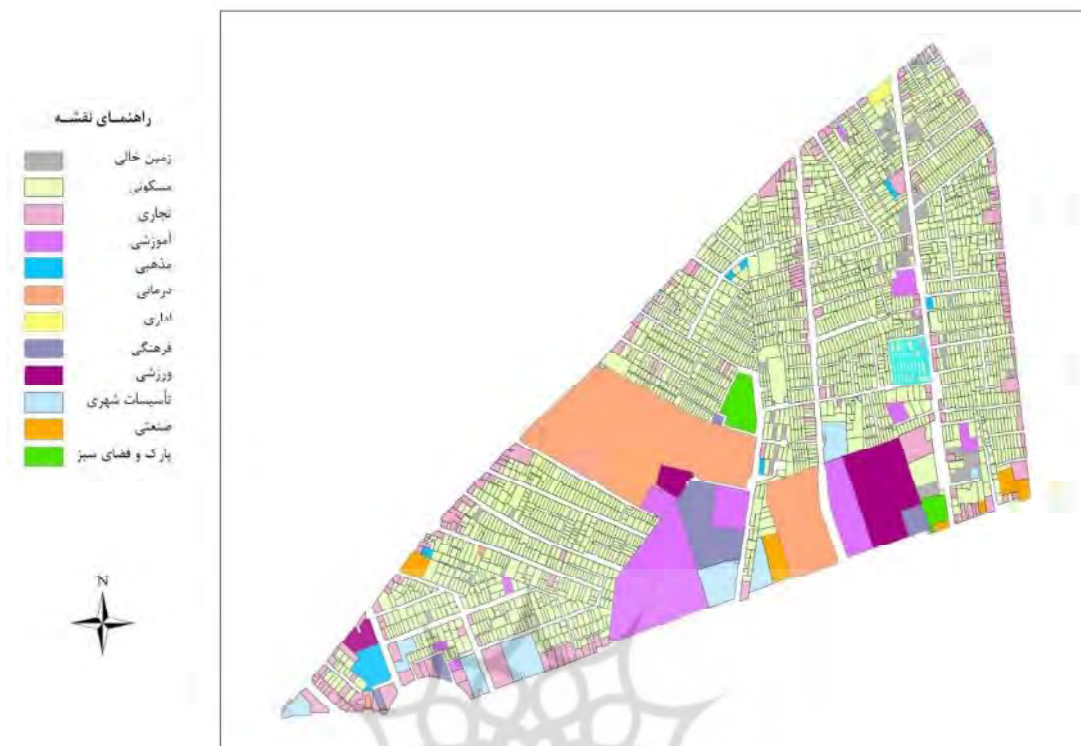
اطلاعات کاربری اراضی شهری: شامل کاربری عمده هر پلاک ساختمانی است. این اطلاعات در مقیاس ۱:۲۰۰۰ از مراجع ذی‌صلاح دریافت و در سطح کاربری‌های مدل موردنظر که کلاس‌های اصلی آن در شکل ۱ آمده است، طبقه‌بندی شدند. شکل ۱ محدوده مطالعاتی تحقیق را نشان می‌دهد، که در آن به‌منظور ساده‌سازی، کلاس‌های کاربری‌های اصلی نمایش داده شده و از نمایش زیرکلاس‌ها صرف‌نظر شده است. به‌عنوان مثال زیرکلاس‌های مسکونی کم‌تراکم، مسکونی تراکم متوسط و مسکونی بالا در یک کلاس اصلی مسکونی نمایش داده شده‌اند.

مساحت (A)، دسترسی (AC)، تعداد بره‌های هر قطعه (Ed)، شیب (S)، آلودگی صوتی (VP)، آلودگی هوا (AP)، سختی تغییر (R)، و نسبت اختلاف اضلاع (DE). برای به‌دست‌آوردن مناسب هر قطعه ابتدا برای هر مؤلفه، سطوح کیفی با توجه به نظر کارشناسان و با استفاده از مدل دلفی استخراج و سپس این مقادیر کیفی با استفاده از AHP زوجی ساختاریافته به مقادیر کمی تبدیل شدند. درنهایت با استفاده از وزنی که به المان‌ها داده شد، مناسب کلی هر قطعه زمین برای هر کاربری با استفاده از رابطه (۱) به‌دست آمد. وزن هر مؤلفه در رابطه (۱)، با توجه به نظرسنجی از کارشناسان شهرسازی و شرکت‌های مهندسی مشاور و جمع‌بندی نظر آنان استخراج شد. به‌منظور ساده‌سازی محاسبات، تمامی وزن‌ها در پایان در بازه ۰ و ۱ به‌گونه‌ای استاندارد شدند که درنهایت مجموع همه آنها برابر ۱ باشد.

$$S_{j,Ci} = w_1 A_{j,Ci} + w_2 AC_{j,Ci} + w_3 Ed_{j,Ci} + w_4 S_{j,Ci} + w_5 VP_{j,Ci} + w_6 AP_{j,Ci} + w_7 R_{j,Ci} + w_8 DE_{j,Ci} \quad (1)$$

که در آن $S_{j,Ci}$ مناسب کلی قطعه j با کلاس کاربری Ci ، و مقادیر w_1 تا w_8 به‌ترتیب به‌صورت ۰/۲۰، ۰/۲۰، ۰/۰۵، ۰/۱۰، ۰/۱۵، ۰/۱۵، ۰/۱۰، ۰/۰۵، ۰/۲۰ گرفته شده‌اند.

برای مثال به‌منظور به‌دست‌آوردن مقادیر کمی برای فاکتور مساحت، ابتدا مساحت قطعات در چهار کلاس کاملاً مناسب، نسبتاً مناسب، نسبتاً نامناسب و کاملاً نامناسب برای هر کاربری تقسیم‌بندی شدند، سپس این سطوح چهارگانه کیفی با استفاده از AHP زوجی ساختاریافته کمی شدند و به‌ترتیب مقادیر ۰/۴۷، ۰/۲۹، ۰/۱۷ و ۰/۰۷ برای آنها به‌دست آمد. در ادامه برای هر مؤلفه در رابطه (۱) این مراحل طی شد و در پایان مجموع وزن دار کل مؤلفه‌ها محاسبه گردید و به‌عنوان مناسب نهایی قطعه برای کاربری مورد نظر در نظر گرفته شد.



شکل ۱. منطقه مطالعاتی و دسته‌بندی قطعات براساس کاربری‌های اصلی آنها

تعداد کل زیرکلاس‌ها در پژوهش حاضر، ۳۴ کلاس بود. داده‌های مورد نیاز پس از دریافت، ابتدا در محیط نرم‌افزارهای GIS ویرایش شدند و همه خطاهای موجود در آنها حذف گردید، سپس تمامی اطلاعات توصیفی مورد نیاز به آنها نسبت داده شد.

بنابراین معمولاً یک جواب برای مسئله وجود ندارد بلکه مجموعه‌ای از جواب‌ها به نام جبهه جواب بهینه^۱ یا جواب‌های غالب^۲ به دست می‌آید (Deb et al., 2002) و تصمیم‌گیرنده پس از حل مسئله می‌تواند جواب مورد نظر را از جبهه جواب با توجه به اولویت‌های خود انتخاب کند (Coello Coello et al., 2007). بنابراین در حالت چندهدفه مسئله دیگر برمبنای اولویت‌های داده‌شده اولیه حل نمی‌شود بلکه پس از حل چندهدفه، تصمیم‌گیرنده قادر خواهد بود اولویت‌های خود را معرفی و نتایج را مشاهده کند و به مقایسه آنها بپردازد. بنابراین به‌رغم وجود محاسبات پیچیده‌تر در روش‌های حل چندهدفه، انعطاف‌پذیری این روش‌ها به مراتب بالاتر است.

شکل ۲ یک جبهه جواب بهینه را درحالتی که

در این بخش نحوه سازگاری و به‌کارگیری الگوریتم MOPSO در مسئله مورد نظر و تعریف ساختار پاسخ، توابع هدف و قیود برای حل مسئله توضیح داده شده است. ابتدا به‌منظور روشن‌تر شدن مطلب بهینه‌سازی چندهدفه، روش کار MOPSO و تفاوت ماهوی آن با حالت تک‌هدفه به‌صورت مختصر توضیح داده می‌شود.

۲-۲- روش تحقیق

هدف مسائل بهینه‌سازی چندهدفه، بهینه‌کردن هم‌زمان چند تابع هدف (در حضور یا بدون حضور شروط) بدون اولویت‌دهی اولیه به آنهاست (Veldhuizen & Lamont, 1999; Hillier &

1. Pareto-Front
2. Non-Dominated

c_2 ضرایب یادگیری هستند. r_1 و r_2 باعث می‌شوند که نوعی گوناگونی در جواب‌ها به وجود بیاید و جست‌وجوی کامل‌تری روی فضا انجام پذیرد. c_1 ضریب یادگیری مربوط به تجربه‌های فردی هر ذره و در مقابل، c_2 ضریب یادگیری مربوط به تجربه‌های کل جمع است (Poli et al., 2007; Shi and Eberhart, 1998). این حرکت تا زمان رسیدن به شرط توقف الگوریتم ادامه خواهد داشت.

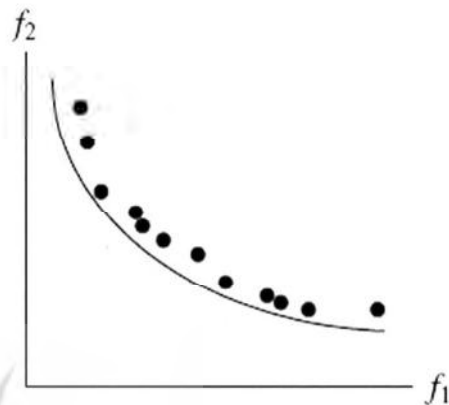
در حالت چندهدفه یعنی MOPSO، روش انتخاب سردسته برای حرکت بعدی دارای اهمیت است زیرا همان‌طور که ذکر شد در یک تکرار به جای یک جواب، مجموعه‌ای از جواب‌های بهینه وجود دارد. در اینجا از روش پیشنهادی کوئلو کوئلو و لامونت (۲۰۰۴) به دلیل پیچیدگی محاسباتی کمتر و همگرایی سریع‌تر (Reyes-Sierra & Coello Coello, 2006) استفاده شد. در این روش ابتدا جمعیت اولیه ایجاد و مقدار توابع هدف برای هر ذره محاسبه شد. در ادامه، جواب‌های غالب در یک آرشیو خارجی نگهداری شدند. در فضای جواب ایجاد شده و در آرشیو جواب‌های غالب، فوق‌مکعب‌هایی (به ابعاد فضای جواب) تولید شد. در شکل ۳ نمونه‌ای از فضای جست‌وجوی دوبعدی و نحوه تقسیم آن به فوق‌مکعب‌ها آمده است. در فضای جست‌وجوی دوبعدی فوق‌مکعب‌ها به مربع تبدیل می‌شوند، سپس تا پایان تعداد تکرارها یا رسیدن به شرط پایانی الگوریتم، سرعت هر ذره در بعد d از رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

رابطه (۳)

$$v_d^{new} = w.v_d^{old} + c_1.r_1(pbest_d - x_d) + c_2.r_2(rep(h)_d - x_d)$$

که در آن تمامی پارامترها مانند رابطه (۱) است با این تفاوت که $rep(h)$ مقداری است که از آرشیو گرفته می‌شود. با فرض m_i به عنوان تعداد اعضای موجود در یک خانه، β به عنوان ضریبی برای کنترل مقدار

مسئله دارای دو تابع هدف است، نشان می‌دهد. با حل مسئله به این صورت می‌توان اولویت‌های برنامه‌ریزی را به عنوان ورودی از تصمیم‌گیرنده دریافت کرد و نتیجه را به وی نمایش داد و ابزاری حامی تصمیم‌گیری ایجاد کرد.



f_1 and f_2 are to be minimized

شکل ۲. جبهه جواب بهینه در حالت دوهدفه با توابع هدف f_1 و f_2

الگوریتم بهینه‌سازی تجمع ذرات، زیرمجموعه‌ای از الگوریتم‌های هوش تجمعی در حالت تک‌هدفه است. این الگوریتم از جمعیتی از نقاط استفاده می‌کند که به منظور یافتن راه‌حل بهینه در فضای جست‌وجو در حال حرکت‌اند و ذره نامیده می‌شوند. هر ذره دارای یک بردار سرعت است که به وسیله تغییرات آن به جست‌وجوی فضا می‌پردازد. بهترین موقعیت ذره در کل فضا $Gbest(t)$ و بهترین موقعیت ذره در تجربه‌های قبلی حرکت $Pbest(t)$ در حافظه نگهداری می‌شود. با این توضیحات، معادله حرکت ذرات برای هر بعد d در فضا چنین است (Clerc, 2006):

$$v_d^{new} = w.v_d^{old} + c_1.r_1(pbest_d - x_d) + c_2.r_2(Gbest_d - x_d)$$

$$x_d^{new} = x_d^{old} + v_d^{new}$$

که در آن، v_d^{old} و x_d^{old} به ترتیب سرعت قبلی و موقعیت قبلی ذره در بعد d ، v_d^{new} و x_d^{new} سرعت جدید و موقعیت جدید ذره در همان بعد، w وزن اینرسی که معمولاً دو در نظر گرفته می‌شود، r_1 و r_2 اعدادی تصادفی در بازه $[0,1]$ با توزیع یکنواخت، و c_1 و

ساختمانی بر یکدیگر تابعی از فاصله آنهاست یعنی تأثیر در فواصل نزدیک تر بیشتر و در فواصل دور کمتر است. سازگاری در این مسئله به صورت رابطه (۵) تعریف شد.

رابطه (۵)

$$Comp_{ij} = f_1(d_{ij}, C_i, C_j) = f_1(d_{ij}, Comp_{cicj})$$

که در آن، $Comp_{ij}$ نشانگر سازگاری تعریف شده در مسئله، d_{ij} فاصله مرکز ثقل دو بلوک ساختمانی i, j و $Comp_{cicj}$ سازگاری دو کلاس کاربری C_i و C_j در ماتریس سازگاری است.

به منظور وارد کردن فاصله در تابع هدف سازگاری برای هر دو کلاس کاربری C_i و C_j یک تابع از فاصله d_{ij} تحت عنوان $\alpha^1_{C_i, C_j}(d)$ تعریف شد. شکل کلی این تابع در رابطه (۶) آمده است.

رابطه (۶)

$$\alpha^1_{C_i, C_j}(d_{ij}) = \begin{cases} 1 & d_{ij} \leq d_{ij}^{\min} \\ \left(\frac{d_{ij}^{\max} - d_{ij}}{d_{ij}^{\max} - d_{ij}^{\min}}\right)^\beta & d_{ij}^{\min} \leq d_{ij} \leq d_{ij}^{\max} \\ 0 & d_{ij} \geq d_{ij}^{\max} \end{cases}$$

که در آن، d_{ij}^{\min} فاصله مرکز ثقل دو قطعه، شعاع نفوذ هر قطعه که با توجه به کاربری قطعه و از استانداردهای شعاع نفوذ خدمات شهری استخراج شده، و β ضریبی است که میزان تأثیر فاصله را در تابع هدف مشخص می کند. در پژوهش حاضر برای سادگی محاسبات، $\beta=1$ در نظر گرفته شد. در نهایت تابع هدف سازگاری به صورت رابطه (۷) تعریف شد که هدف پیشنهادی آن است.

رابطه (۷)

$$f_1(d_{ij}, Comp_{cicj}) = Comp_{cicj} \times \alpha^1_{C_i, C_j}(d_{ij})$$

بنابراین نخستین تابع هدف مسئله یعنی F_1 به صورت رابطه (۸) تعریف شد.

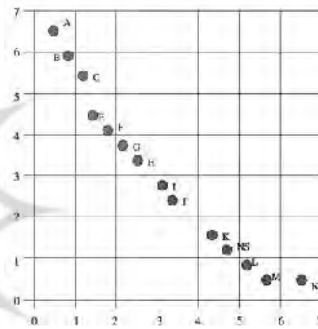
رابطه (۸)

$$F_1 : \text{Maximize} \sum_{i \neq j} f_1(d_{ij}, Comp_{C_i C_j})$$

اختلافات در احتمال و k به عنوان تعداد کل خانه‌ها، چرخه گردان احتمال رابطه (۴) به منظور انتخاب خانه با اندیس h اعمال می شود. در واقع در اینجا هدف انتخاب خانه با تعداد ذره کمتر به منظور بهبودبخشیدن به تراکم جبهه جواب بهینه است که براساس P_i انجام می شود.

$$P_i = \frac{e^{-\beta m_i}}{e^{-\beta m_1} + e^{-\beta m_2} + \dots + e^{-\beta m_k}}$$

پس از انتخاب خانه h یکی از اعضای خانه به صورت تصادفی به عنوان رهبر تکرار بعد انتخاب و موقعیت جدید ذرات محاسبه می شود. الگوریتم تا رسیدن به شرط توقف تکرار می شود.



شکل ۳. مثالی از فوق مکعب‌های تولید شده در فضای دوبعدی توابع هدف

منبع: Coello Coello & Lamont, 2004

۲-۱- بیان ریاضی توابع هدف مسئله

در پژوهش حاضر چهار تابع هدف برای حل مسئله در نظر گرفته شد که عبارت‌اند از پیشنهادی سازی سازگاری، پیشنهادی سازی وابستگی، پیشنهادی سازی مناسبیت و پیشنهادی سازی همگونی کاربری‌های مجاور. در ادامه تعریف هر کدام و چگونگی عملکرد آنها در مدل تشریح می شود.

الف) تابع هدف سازگاری

در بخش‌های قبل نحوه استخراج ماتریس سازگاری توضیح داده شد. از آنجاکه تأثیر کاربری دو بلوک

توسعه مدل مکانی ریزدانه به منظور چینش بهینه کاربری‌های شهری برمبنای الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه ...

```
Begin  
Initialize  
For i=1 to n  
For k=1 to m  
If  $C_{Nk}=C_{pi}$   
Compactness=Compactness+1  
End if  
End  
Compactness= Compactness/k  
End
```

شکل ۴. شبه‌کد مربوط به تعریف تابع هدف هم‌سانی همسایه‌ها

در شکل ۴، n تعداد بلوک‌های ساختمانی، m تعداد همسایه‌های بلوک ساختمانی P_i ، C_{pi} کلاس کاربری بلوک مفروض، C_{Nk} کلاس کاربری همسایه بلوک و Compactness شمارنده است. بنابراین تابع هدف چهارم به صورت رابطه (۱۲) تعریف شد.

رابطه (۱۲)

$$F_4 : \text{maximize } \sum \text{Compactness}$$

۲-۲-۲-۲-۲-۲ شروط مسئله

در پژوهش حاضر، سرانه هر کلاس کاربری با شرط آمده در رابطه (۱۳) وارد مسئله شد.

$$P_{c,\min} \leq P_c \leq P_{c,\max} \quad \text{رابطه (۱۳)}$$

که در آن، P_c سرانه کاربری کلاس C ، $P_{c,\min}$ کمینه سرانه کاربری کلاس C ، و $P_{c,\max}$ بیشینه سرانه کاربری کلاس C است. به منظور برقراری تعادل در اختصاص سرانه‌ها در مسئله از سازوکاری اصلاحی استفاده گردید. همان‌طور که گفته شد، رابطه (۱۰) در مورد هریک از کلاس‌های کاربری در هر چینش می‌بایست برقرار باشد. بنابراین تخطی از سرانه ممکن است در دو حالت کمتر از سرانه مورد نیاز و بیشتر از سرانه مورد نیاز رخ دهد. اگر مقدار سرانه هر کلاس در چینش را با P_{C_i} و سرانه کمینه و بیشینه را به ترتیب با $P_{\min C_i}$ و $P_{\max C_i}$ نمایش دهیم، در دو حالت غیر مجاز، میزان تخطی به صورت روابط (۱۴) و (۱۵) تعریف می‌شود.

ب) تابع هدف وابستگی

تابع وابستگی نیز مانند تابع سازگاری براساس فاصله تعریف شد. این تابع طبق رابطه (۹) تعریف شده است.

رابطه (۹)

$$f_2(d_{ij}, \text{Dep}_{cij}) = \text{Dep}_{cij} \times \alpha^2_{C_i, C_j}(d_{ij})$$

که در آن، $f_2(d_{ij}, \text{Dep}_{cij})$ تابع وابستگی، Dep_{cij} درایه مربوط به دو کلاس C_i و C_j در ماتریس وابستگی، و $\alpha^2_{C_i, C_j}(d_{ij})$ تابع فاصله مربوط به وابستگی است. در نهایت، تابع هدف وابستگی به صورت رابطه (۱۰) تعریف شد.

رابطه (۱۰)

$$F_2 : \text{Maximize } \sum_{i \neq j} f_2(d_{ij}, \text{Dep}_{cij})$$

ج) تابع هدف مناسبت

تابع هدف مناسبت کاربری زمین به صورت رابطه (۱۱) تعریف شد.

رابطه (۱۱)

$$F_3 : \text{Maximize } \sum_i S_{j, C_i}$$

که در آن، S_{j, C_i} مناسبت کلاس کاربری C_i و بلوک ساختمانی j است که در رابطه (۱) شرح داده شد.

د) تابع هدف همگونی کاربری‌های مجاور

در برخی کاربری‌ها - مانند کاربری‌های مسکونی- لازم است کاربری‌های هم‌سان با یکدیگر همسایه باشند. برای این منظور، تابع هدفی در مسئله با نام هم‌سانی کاربری‌های مجاور^۱ تعریف شد. برای محاسبه همگونی کاربری‌های مجاور، ابتدا همسایه‌های هر بلوک ساختمانی در برنامه مشخص و سپس هم‌سانی آنها بررسی شد. شمارنده‌ای نیز در تابع مذکور تعریف گردید که در صورت یکسان بودن کاربری‌های مجاور در چینش، یک واحد به آن اضافه می‌شود. تابع هدف به صورت بیشینه کردن این شمارنده در نظر گرفته شد. شکل ۴ شبه‌کد محاسبه تابع هدف همگونی کاربری‌های مجاور را نشان می‌دهد.

تخطی به صورت عاملی کاهنده در توابع هدف اعمال شد. بدین ترتیب در هر چینی که تخطی وجود داشته باشد، ضریبی کاهشی در توابع هدف اعمال می‌گردد و مقدار آن را کاهش می‌دهد؛ در نتیجه الگوریتم به دنبال جواب‌هایی می‌گردد که مقادیر توابع هدف در آنها بهتر باشد. مقدار تخطی کل به دست آمده به صورت رابطه (۱۸) در توابع هدف اعمال شد.

$$\hat{F} = \frac{F}{1+\bar{V}} \quad \text{رابطه (۱۸)}$$

که در آن، \hat{F} مقدار تابع هدف پس از اعمال جریمه و F مقدار تابع هدف به دست آمده است.

۲-۲-۳- ترجمه مسئله به ساختار مورد نیاز در MOPSO در این بخش به بیان ترجمه مسئله مورد نظر به فضای کاری الگوریتم MOPSO پرداخته شده است.

الف) تعریف ذره و حرکت آن در MOPSO به کاررفته در مدل

در پژوهش حاضر، هر ذره در مدل به صورت m خانه تعریف شد که محتویات خانه‌ها کاربری متناظر با زمین، و m تعداد کل قطعه‌های ساختمانی موجود در منطقه مطالعاتی است. بنابراین ساختار پاسخ به شکل هر ذره است که هر خانه آن نشان‌دهنده یک قطعه ساختمانی است و پاسخ کلاس کاربری نسبت داده شده به خانه است. اگر n تعداد قطعه‌های موجود در منطقه، P_n مجموعه کل قطعه‌های ساختمانی و C_i مجموعه کلاس کاربری‌ها باشد، ساختار پاسخ به صورت شکل ۵ خواهد بود.

رابطه (۱۴)

$$\rightarrow v_i = \begin{cases} 1 - \frac{P_{C_i}}{P_{\min C_i}} & P_{C_i} < P_{\min C_i} \\ 0 & P_{C_i} > P_{\max C_i}, P_{C_i} \leq P_{\min C_i} \end{cases}$$

رابطه (۱۵)

$$\rightarrow v'_i = \begin{cases} \frac{P_{C_i}}{P_{\max C_i}} - 1 & P_{C_i} > P_{\max C_i} \\ 0 & P_{C_i} \leq P_{\max C_i}, P_{C_i} \geq P_{\min C_i} \end{cases}$$

که در آنها، v'_i, v_i میزان اصلاح مورد نظر است و با تعریف کسرهای فوق مقادیر در بازه ۰ و ۱ نرمال‌سازی شدند. بنابراین میانگین تخطی‌ها به صورت رابطه (۱۶) محاسبه شدند.

$$\begin{cases} \bar{v} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i \\ \bar{v}' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v'_i \end{cases} \quad \text{رابطه (۱۶)}$$

که در آن، n تعداد کلاس‌های کاربری است که در این مسئله ۳۴ کلاس است و \bar{v}, \bar{v}' اندازه میانگین تخطی‌های مثبت و منفی موجود در چینش مفروض‌اند. مقدار تخطی کل یعنی \bar{V} را می‌توان با استفاده از میانگین وزن‌دار به دست آورد، که این مقدار در رابطه (۱۷) نشان داده شده است.

رابطه (۱۷)

$$\bar{V} = \frac{w_1 \bar{v} + w_2 \bar{v}'}{w_1 + w_2}$$

که در آن، w_1, w_2 مقادیر وزن‌های مورد نظر برای تخطی‌های مثبت و منفی هستند. با در نظر گرفتن این وزن‌ها می‌توان در صورت نیاز وزن تخطی‌ها را تغییر داد، مثلاً به تخطی مثبت وزن بالایی داد تا حد مجاز سرانه‌ها با اهمیت بیشتری وارد مدل شود. از آنجاکه هدف این مسئله پیشینه کردن توابع هدف است، میزان

C_1	C_2	C_3	C_{n-1}	C_n
-------	-------	-------	------	-----------	-------

شکل ۵. ساختار یک ذره به عنوان پاسخ در مسئله

که در آن، f نگاهت مبدل فضای پیوسته به فضای گسسته، x_i عدد حقیقی میان ۰ و ۱، و C_i نشان‌دهنده کلاس کاربری مفروض i است.
برای تعریف این نگاهت بمفروضات رابطه (۲۰) در نظر گرفته شد.

$$0 \leq x_i < \frac{1}{n} \rightarrow C_i = 1$$

$$\frac{1}{n} \leq x_i < \frac{2}{n} \rightarrow C_i = 2$$

$$\frac{k}{n} \leq x_i < \frac{k+1}{n} \rightarrow C_i = k+1$$

$$\frac{n-1}{n} \leq x_i < \frac{n}{n} \rightarrow C_i = n$$

در نتیجه تابع نگاهت به صورت رابطه (۲۱) تعریف شد.

رابطه (۲۱)

$$k \leq nx_i < k+1 \Rightarrow [nx_i + 1] = k+1 \Rightarrow$$

$$C_i = \min([nx_i + 1], n)$$

که در آن، x_i و C_i مطابق رابطه (۱۹) و n تعداد کلاس‌های کاربری تحقیق و k یک کلاس مفروض از این کلاس‌های کاربری است.

در شکل ۶ چگونگی تصویرکردن قسمتی از این دو فضا در یکدیگر به نمایش درآمده است. با استفاده از تابع f ، فضای پیوسته میان ۰ و ۱ در MOPSO به فضای گسسته مربوط به کد کاربری‌ها تبدیل شد.

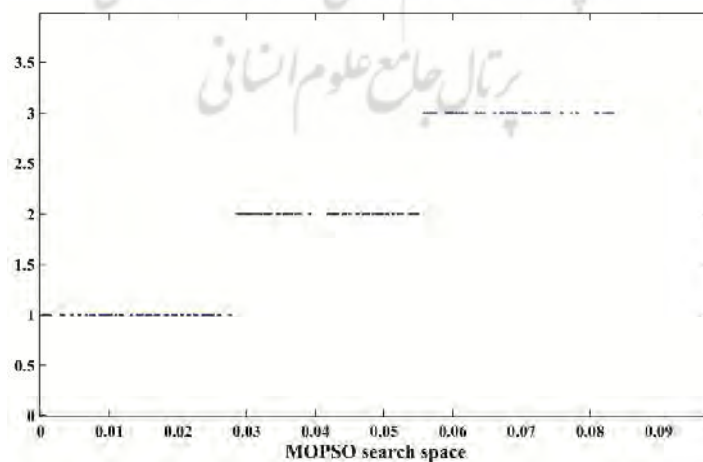
با این توضیحات، معادله حرکت ذرات برای هر بعد d در فضا یعنی چهار بعد به تعداد تابع هدف با استفاده از رابطه (۳) به دست آمد. که در آن، w برابر ۲، c_1 و c_2 هر کدام برابر ۲، و r_1 و r_2 به صورت اعداد تصادفی با توزیع یکنواخت میان ۰ و ۱ تعریف شدند. حرکت ذره تا زمان رسیدن به شرط توقف الگوریتم، که رسیدن به تعداد مشخص ۵۰۰ تکرار بود، ادامه داشت.

ب) فضای مسئله و نگاهت آن در فضای

جست‌وجوی MOPSO

فضای مسئله، فضایی گسسته است و PSO قابلیت کار با فضاهای پیوسته را دارد و با اعداد حقیقی میان ۰ و ۱ کار می‌کند. برای تبدیل فضای مسئله به فضای PSO لازم است تبدیلاتی میان دو فضا انجام شود. فضای گسسته مسئله در واقع می‌بایست بر فضای حقیقی و پیوسته PSO تصویر شود. در فضای گسسته هر سلول مربوط به کلاس کاربری C_i است، در حالی که در فضای پیوسته X ، x_i محتوای خانه نام است که عددی حقیقی میان ۰ و ۱ و $x_i \in [0,1]$ است. بنابراین، نگاهتی لازم است تا با استفاده از آن بتوان اعداد پیوسته PSO را به اعداد گسسته مربوط به کدهای کاربری‌های موجود تصویر کرد. بدین ترتیب، طبق رابطه (۱۹) خواهیم داشت:

$$\exists f | \forall x_i \in X, C_i = f(x_i) \quad \text{رابطه (۱۹)}$$



شکل ۶. قسمتی از تابع نگاهت فضای جست‌وجوی MOPSO در فضای مسئله

۳- نتایج و بحث

در پژوهش حاضر ابتدا متغیرهای تصمیم به شکل معیارهای کمی یعنی سرانه‌ها و معیارهای کیفی یعنی سازگاری، وابستگی و مناسبت مشخص شدند. برای ورود معیارهای کیفی به مدل، کمی‌سازی آنها ضروری است. به این منظور در استخراج مقادیر کمی برای سازگاری و وابستگی ابتدا با استفاده از مدل دلفی، مقادیر به صورت کیفی از طرف کارشناسان مشخص شدند و سپس با استفاده از روش AHP زوجی ساختاریافته به صورت کمی (عددی) درآمدند. این مقادیر برای سازگاری در پنج سطح کیفی کاملاً سازگار، نسبتاً سازگار، بی تفاوت، نسبتاً ناسازگار و کاملاً ناسازگار به دست آمد. برای وابستگی نیز همین سطوح کیفی از مدل دلفی استخراج شده‌اند. برای کمی‌سازی مناسبت نیز همان‌طور که پیش‌تر گفته شد، برای هر مؤلفه جداگانه از روش AHP زوجی ساختاریافته به منظور کمی‌سازی استفاده شد و سپس مقدار کل مناسبت با استفاده از مجموع وزن‌دار مؤلفه‌ها به دست آمد.

به عنوان مثال جدول ۱ وزن‌های محاسبه شده از این روش را در تابع هدف سازگاری نشان می‌دهد. مشابه این وزن‌ها برای کمی‌کردن مقادیر در تابع هدف وابستگی نیز عمل شده است.

پس از کمی‌سازی مقادیر در ماتریس وابستگی و سازگاری همان‌طور که پیش‌تر توضیح داده شد،

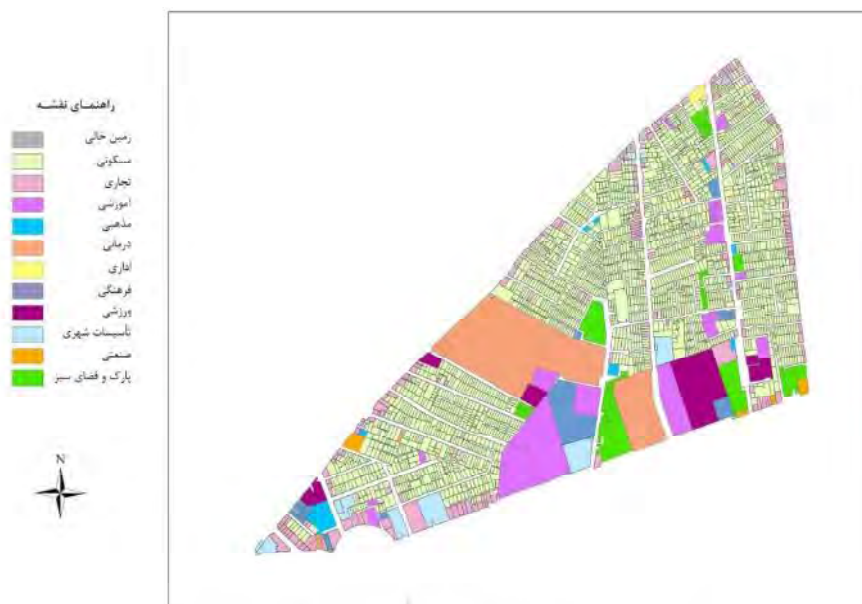
ماتریس‌های مرتبط استخراج شدند. به عنوان مثال، ماتریس وابستگی به صورت جدول ۲ استخراج شد. در نهایت، توابع هدف و قیود مسئله مدل‌سازی شدند و چینش بهینه کاربری‌های منطقه مورد مطالعه با تأکید بر تعیین کاربری زمین‌های خالی و پیشنهاد برای تغییر برخی از کاربری‌ها در منطقه با استفاده از مدل توسعه داده شده و روش MOPSO به دست آمد.

در مسائل پیچیده مشابه این مسئله، ایجاد جمعیت اولیه کاملاً تصادفی (یعنی روال کار عادی MOPSO) ممکن است باعث ایجاد جواب‌هایی با تفاوت زیاد نسبت به وضع موجود شود که از نظر اجرایی ناکارآمد است. به همین دلیل در پژوهش حاضر، جمعیت اولیه به صورت ترکیبی از جمعیت اولیه کاملاً تصادفی و جمعیت اولیه حاصل از تغییر وضعیت فعلی ایجاد شد. تغییرات ایجاد شده در جمعیت اولیه‌ای که از وضع موجود الگو می‌گیرد، ۳۰ درصد وضع موجود است.

شکل ۷ چینش بهینه به دست آمده در منطقه را با تعداد جمعیت اولیه و تعداد تکرار ۵۰۰ نشان می‌دهد. دلیل انتخاب تکرار ۵۰۰ و جمعیت اولیه ۵۰۰ این است که نتایج در تکرارهای بالاتر و جمعیت اولیه بیشتر، تغییر معناداری نداشته‌اند. این مسئله در قسمت مربوط به تست الگوریتم بیشتر تشریح شده است. در چینش نمایش داده شده در شکل ۷، چینش بهینه متناظر با بیشترین سازگاری در منطقه نمایش داده شده است.

جدول ۱. وزن‌های محاسبه شده برای مقادیر کیفی به دست آمده از مدل دلفی با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی زوجی ساختاریافته

سطح سازگاری	کاملاً سازگار	نسبتاً سازگار	نسبتاً ناسازگار	کاملاً ناسازگار	بی تفاوت	مقادیر وزن‌ها
کاملاً سازگار	۱	۲	۳	۵	۷	۰/۴۳
نسبتاً سازگار	۰/۵	۱	۲	۴	۶	۰/۲۸
نسبتاً ناسازگار	۰/۳۳	۰/۵	۱	۳	۵	۰/۱۸
کاملاً ناسازگار	۰/۲	۰/۲۵	۰/۳۳	۱	۳	۰/۰۸
بی تفاوت	۰/۱۴	۰/۱۷	۰/۲	۰/۳۳	۱	۰/۰۴



شکل ۷. نمایش زیرکلاس‌های کاربری در چینش به‌دست‌آمده از الگوریتم در ۵۰۰ تکرار با جمعیت اولیه ۵۰۰ در حالت بیشینه‌سازی‌ها

دیده می‌شود یکی از مهم‌ترین خروجی‌های تحقیق، جبهه‌ی جواب بهینه است که تصمیم‌گیرنده می‌تواند با استفاده از آن و مشخص کردن اولویت‌های تصمیم‌گیری، چینش متناظر را مشاهده کند. نتایج حاصل از الگوریتم در حالت‌های مختلف در بخش بعدی بررسی شده‌اند.

جدول ۳ مقدار توابع هدف، جبران کسری سرانه‌ها و تعداد تغییرات پیشنهادی الگوریتم را برای تغییر کاربری‌ها در هریک از حالت‌هایی که تابع هدف مفروض دارای مقدار بیشینه است، نشان می‌دهد. از آنجاکه تصمیم‌گیرندگان معمولاً به دنبال جواب‌های بهینه‌ای هستند که در آنها تمامی توابع هدف در حالت میانه باشند، در جدول ۳ مقادیر مربوط به پاسخ با حالت تعادلی توابع هدف نیز آمده است. مقایسه میزان تغییر هریک از توابع هدف در حالت‌های چینش (جدول ۳) با وضع موجود، در جدول ۴ آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نتایج حاصل از مدل در تمامی توابع هدف، بهبود مقادیر را در مقایسه با وضع موجود نشان می‌دهند. این بهبود برای تابع هدف مناسبت از تمامی توابع هدف دیگر بالاتر است.

در این شکل، متوسط سازگاری کاربری‌ها از متوسط سازگاری شرایط موجود بالاتر است. از نظر سرانه‌ها نیز حدود ۲۰ درصد از کمبود سرانه‌های منطقه تأمین شده است. مقدار جبران کسری سرانه در توابع هدف وابستگی، مناسبت و هم‌سانی کاربری‌های مجاور به ترتیب ۱۸/۹، ۱۹/۱ و ۱۶/۵ بوده است. تعداد تغییرات در چینش بهینه به‌دست‌آمده در این حالت ۷ درصد تعداد کل قطعات در وضع موجود است. در چینش‌های بهینه به‌دست‌آمده، بیشترین تعداد پیشنهادی برای تغییر، مربوط به کاربری‌های مسکونی و زمین‌های خالی است. این امر می‌تواند به دلیل در نظر گرفتن سختی تغییر پایین‌تر در این کاربری‌ها باشد.

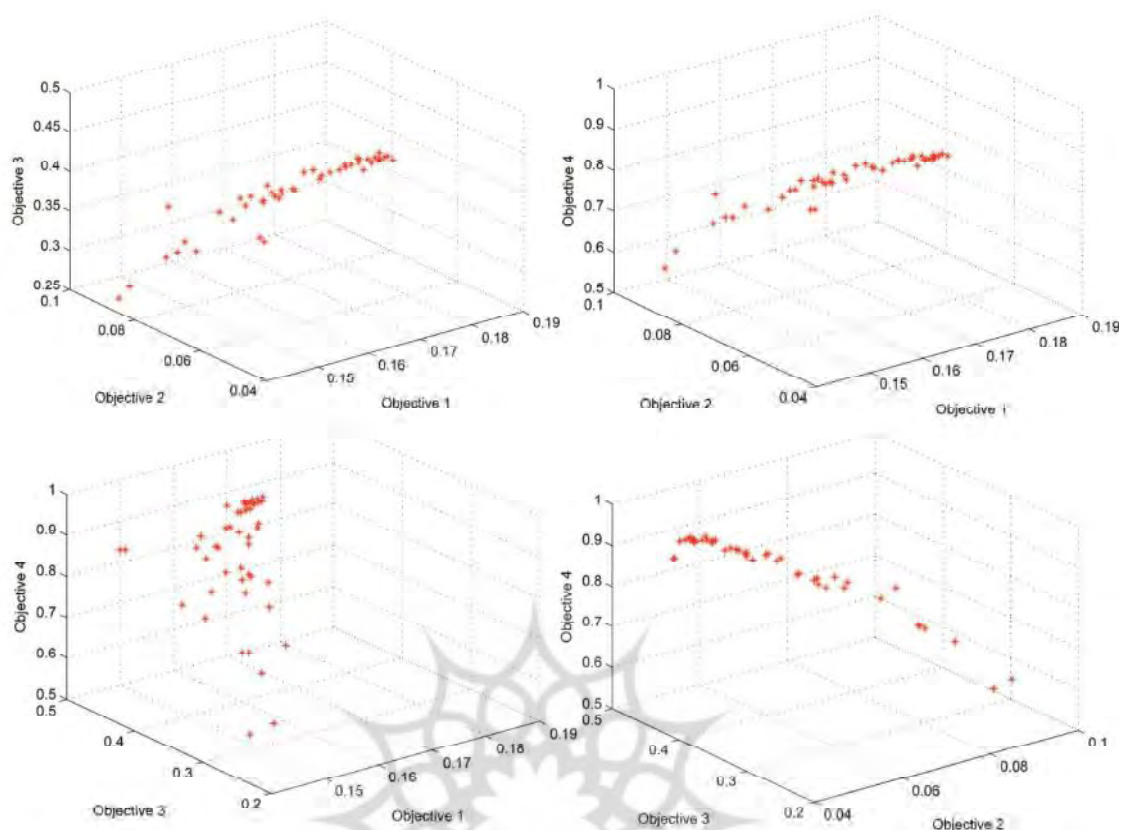
شکل ۸ جبهه‌های جواب بهینه سه‌بعدی متناظر با توابع هدف را با استفاده از روش MOPSO نشان می‌دهد. در اینجا نیز فضای چهاربعدی پاسخ‌های مسئله در فضای سه‌بعدی تصویر شده و نتایج نمایش داده شده‌اند. همان‌طور که پیش‌تر نیز توضیح داده شد، هر نقطه روی جبهه جواب بهینه شکل ۸ نشانگر یک چینش بهینه است و شکل ۷ چینش با بیشینه سازگاری را نشان می‌دهد. بنابراین همان‌طور که

زهرة معصومی و محمدسعیدی مسگری

جدول ۲. مترجمان و بسنگی استخراج شده در تحقیق

شماره	حاصل و نقل			پارک	مستحق	تزیینات شهری	تزیینات	فرهنگی	اداری	پیداکننده	منابعی	فرهنگی			تولاری	تاریخ	مستحق
	حاصل	نقل	پارک									مستحق	تزیینات شهری	تزیینات			
1	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
2	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
3	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
4	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
5	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
6	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
7	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
8	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
9	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
10	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
11	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
12	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
14	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
15	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
16	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
17	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
18	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
19	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
20	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
21	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
22	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
23	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
24	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
25	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
26	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
27	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
28	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
29	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
30	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
31	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
32	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13

توسعه مدل مکانی ریزدانه به منظور چینش بهینه کاربری های شهری بر مبنای الگوریتم بهینه سازی چندهدفه ...



شکل ۸. جبهه جواب های بدست آمده از الگوریتم با تعداد تکرار ۵۰۰ و جمعیت اولیه ۵۰۰. نقاط نمایش داده شده به صورت به علاوه، جبهه جواب بهینه را نشان می دهند.

جدول ۳. مقادیر توابع هدف برای حالت های پیشینه هریک از توابع در روش MOPSO

پاسخ با حالت تعادلی توابع هدف	پاسخ با مقدار بیشینه تابع هدف اول	پاسخ با مقدار بیشینه تابع هدف دوم	پاسخ با مقدار بیشینه تابع هدف سوم	پاسخ با مقدار بیشینه تابع هدف چهارم	پاسخ با مقدار بیشینه تابع هدف
۰/۱۵۲	۰/۱۷۵	۰/۱۳۵	۰/۱۷۵	۰/۰۹۸	مقدار تابع هدف اول
۰/۰۶۸	۰/۰۵۶	۰/۰۹۸	۰/۰۵۷	۰/۰۶۲	مقدار تابع هدف دوم
۰/۳۹۶	۰/۴۵۷	۰/۲۱۷	۰/۴۵۹	۰/۳۳۲	مقدار تابع هدف سوم
۰/۸۲۳	۰/۹۲۵	۰/۶۱۰	۰/۹۲۸	۰/۹۳۸	مقدار تابع هدف چهارم
۱۸/۶	۱۹/۱	۱۷/۷	۱۹/۴	۱۵/۴	جبران کسری سرانه ها
۱۱۲	۱۲۸	۱۱۷	۱۲۶	۱۱۴	تعداد تغییرات پیشنهادی الگوریتم

جدول ۴. مقایسه نتایج حاصل از بهینه‌سازی توابع هدف حاصل از الگوریتم MOPSO با وضعیت موجود

توابع هدف / مقدار توابع هدف	مقدار توابع هدف در وضعیت موجود	مقدار بیشینه هریک از توابع هدف پس از بهینه‌سازی با MOPSO	بهبود مقدار (درصد)
سازگاری	۰/۱۳۸۷	۰/۱۸۷۰	۲۵
وابستگی	۰/۰۵۶	۰/۰۹۵	۴۱
مناسبت	۰/۳۱۰	۰/۴۸۰	۳۵
هم‌سانی کاربری‌های مجاور	۰/۸۹۵	۰/۹۵۰	۸

جدول ۵. مقایسه دوبه‌دوی درصد هم‌پوشانی جواب‌ها در ۵ بار اجرای الگوریتم MOPSO

درصد هم‌پوشانی جواب‌ها	شماره اجرای مورد مقایسه	شماره اجرای مورد بررسی
۸۳	۲	
۷۶	۳	۱
۸۴	۴	
۷۵	۵	
۸۳	۳	۲
۷۵	۴	
۷۸	۵	
۷۱	۴	۳
۸۵	۵	
۸۳	۵	۴

۳-۱-۱- تست تکرارپذیری

در ادامه، نتایج مدل از دو جنبه مورد بحث و ارزیابی قرار خواهد گرفت. جنبه نخست مربوط به تست‌های متداول الگوریتم‌های بهینه‌سازی چندهدفه فراابتکاری است. جنبه دیگر، مقایسه نتایج مدل با نتایج حاصل از الگوریتم تک‌هدفه PSO و کارهای مشابه پژوهشگران دیگر است.

در ادامه، نتایج مدل از دو جنبه مورد بحث و ارزیابی قرار خواهد گرفت. جنبه نخست مربوط به تست‌های متداول الگوریتم‌های بهینه‌سازی چندهدفه فراابتکاری است. جنبه دیگر، مقایسه نتایج مدل با نتایج حاصل از الگوریتم تک‌هدفه PSO و کارهای مشابه پژوهشگران دیگر است.

۳-۱-۱- تست تکرارپذیری

در الگوریتم‌هایی که براساس احتمال عمل می‌کنند، جمعیت اولیه به صورت تصادفی انتخاب می‌شود؛ بنابراین ممکن است نتایج با اجراهای مختلف، متفاوت باشند. از این رو لازم است الگوریتم به دفعات مختلف با پارامترهای یکسان اجرا شود تا تغییرات در نتایج آشکار گردد (Saadatsresht et al., 2009). با تعریف دقیق تر توابع هدف و شرایط مسئله می‌توان این مشکل را تا حد زیادی برطرف کرد. برای انجام تست تکرارپذیری در پژوهش حاضر، الگوریتم ۵ بار با جمعیت اولیه ۵۰۰ و تعداد تکرار ۵۰۰ بار اجرا شده است. جدول ۵، هم‌پوشانی دوبه‌دوی هریک از اجراها را در این الگوریتم نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، درصد تکرارپذیری الگوریتم در ۵ بار اجرا در سطح پذیرفتنی قرار دارد.

در ادامه، نتایج مدل از دو جنبه مورد بحث و ارزیابی قرار خواهد گرفت. جنبه نخست مربوط به تست‌های متداول الگوریتم‌های بهینه‌سازی چندهدفه فراابتکاری است. جنبه دیگر، مقایسه نتایج مدل با نتایج حاصل از الگوریتم تک‌هدفه PSO و کارهای مشابه پژوهشگران دیگر است.

۳-۱- بررسی مدل از نظر تست‌های متداول

الگوریتم‌های فراابتکاری

از آنجاکه در الگوریتم‌های فراابتکاری، بهینه‌سازی نتایج به شرایط اجرای الگوریتم و تنظیم پارامترهای اجرایی آن وابسته است، در این قسمت به بررسی نتایج اجرای الگوریتم در شرایط گوناگون پرداخته شده است.

۳-۱-۲- تأثیر تعداد جمعیت اولیه بر پاسخ‌ها و

زمان اجرا

از آنجاکه پارامترهایی همچون تعداد تکرار و تعداد جمعیت اولیه نقشی مهم در خروجی الگوریتم دارند، لازم است با تغییر این المان‌ها تغییر جواب نهایی بررسی شود. در این آزمون، تأثیر تعداد جمعیت اولیه و تعداد تکرار بر پاسخ‌ها بررسی می‌شود. معمولاً در این آزمون، جمعیت اولیه و تعداد تکرار الگوریتم طوری انتخاب می‌شود که حاصل ضرب تعداد تکرار در جمعیت اولیه ثابت باشد. این مقدار تابع تکاملی^۱ نامیده می‌شود (Saadateseresh et al., 2009). در آزمون پارامترهای اولیه الگوریتم در اینجا مقدار ثابت ۲۵۰۰۰۰ برای تابع تکاملی در نظر گرفته شد. جدول ۶ نتایج حاصل از این آزمون را برای حالتی نشان می‌دهد که تابع هدف سازگاری دارای مقدار بیشینه است. همان‌طور که در جدول دیده می‌شود، در اینجا نیز مقادیر توابع هدف با افزایش جمعیت اولیه بهبود می‌یابند، ولی این امر مستلزم صرف زمان بیشتری است. به عبارت دیگر، با افزایش جمعیت اولیه زمان اجرای الگوریتم به شدت تحت تأثیر قرار می‌گیرد. بنابراین، تصمیم‌گیرنده می‌تواند با صرف زمان بیشتر به نتایج بهتری برسد.

۳-۱-۳- تست همگرایی الگوریتم

در تست همگرایی الگوریتم، تغییر مقادیر بیشینه توابع هدف در تکرارهای مختلف بررسی می‌شود. شکل ۹

تغییر مقادیر هر یک از چهار تابع هدف را در هر ۵۰ تکرار تا تکرار ۵۰۰ نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۹ دیده می‌شود، مقادیر بیشینه هر چهار تابع هدف با افزایش تکرارها بهبود می‌یابند. همچنین حدوداً پس از تکرار ۴۵۰ تغییر، معناداری در توابع هدف صورت نمی‌گیرد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که الگوریتم حدوداً در تکرار ۴۵۰ به هم‌گرایی لازم می‌رسد. در پژوهش حاضر به منظور کسب اطمینان به نتایج، تعداد تکرار ۵۰۰ به کار رفته است.

۳-۲- ارزیابی مدل و مقایسه آن با PSO تک‌هدفه

برای آزمون روش به کار گرفته شده، نتایج به دست آمده از روش MOPSO با روش PSO تک‌هدفه بررسی شدند. به این ترتیب که ابتدا به هر یک از توابع هدف، وزنی مطابق جدول ۷ داده شد و سپس با استفاده از تلفیق توابع هدف به صورت رابطه (۲۲) مسئله به صورت تک‌هدفه حل شد. وزن‌های داده شده با نظرسنجی از کارشناسان ذی‌ربط استخراج شدند.

رابطه (۲۲)

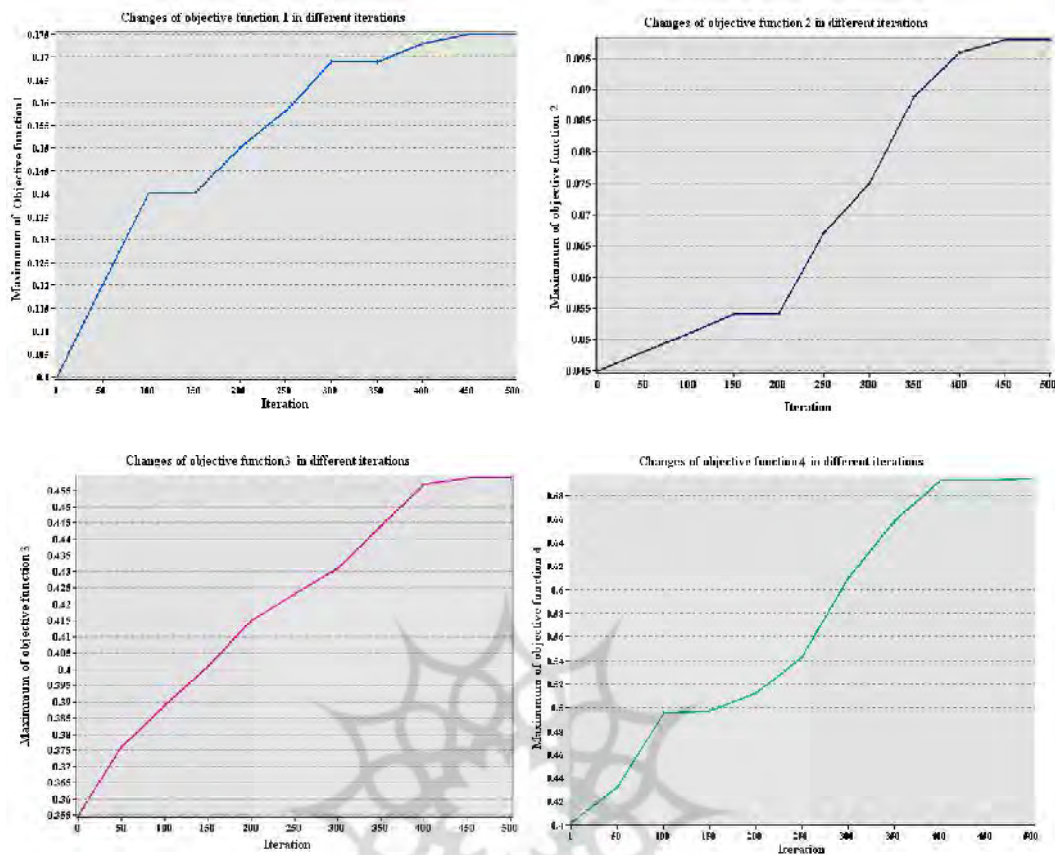
$$\text{Cost Function} = \sum_{i=1}^{n\text{Objective function}} W_i F_i$$

که در آن، W_i وزن‌های استخراج شده است که در جدول ۷ آمده‌اند، F_i توابع هدف مسئله، Cost Function تابع هزینه و nObjective Function تعداد توابع هدف مسئله است.

جدول ۶. نتایج حاصل از تست پارامترهای اولیه الگوریتم MOPSO برای حالتی که تابع هدف سازگاری بیشینه است

تابع هدف چهارم	تابع هدف سوم	تابع هدف دوم	تابع هدف اول	تکرار	جمعیت اولیه
۰/۸۶۳	۰/۳۵۴	۰/۰۴۱	۰/۱۶۳	۲۵۰۰	۱۰۰
۰/۹۱۲	۰/۴۰۳	۰/۰۴۸	۰/۱۷۰	۱۰۰۰	۲۵۰
۰/۹۲۵	۰/۴۵۷	۰/۰۵۶	۰/۱۷۵	۵۰۰	۵۰۰
۰/۹۲۱	۰/۴۶۰	۰/۰۵۸	۰/۱۷۸	۲۵۰	۱۰۰۰

^۱. Function Evolution



شکل ۹. تغییر مقادیر بیشینه هر یک از چهار تابع هدف در هر ۵۰ تکرار در الگوریتم MOPSO

جدول ۷. وزن‌های اختصاص داده شده به توابع هدف برای حل مسئله به صورت تک‌هدفه

تابع هدف	توضیح	وزن (درصد)
F ₁	سازگاری	۳۵
F ₂	وابستگی	۱۵
F ₃	مناسبت	۳۰
F ₄	همگونی کاربری‌های مجاور	۲۰

جدول ۸. مقادیر به دست آمده برای توابع هدف در دو حالت تک‌هدفه و چندهدفه برای حالت بیشینه سازگاری

حالت تک‌هدفه		حالت چندهدفه	
تابع هدف	مقدار به دست آمده	تابع هدف	مقدار به دست آمده
F ₁	۰/۱۶۲	F ₁	۰/۱۷۵
F ₂	۰/۰۹۵	F ₂	۰/۰۵۶
F ₃	۰/۴۲۰	F ₃	۰/۴۵۷
F ₄	۰/۷۰۱	F ₄	۰/۹۲۵

مقایسه آن با PSO تک‌هدفه در این تحقیق دیده شد). این مسئله انعطاف‌پذیری جواب‌ها را پایین می‌آورد و اولویت‌های تصمیم‌گیرنده پس از حل مسئله تغییرپذیر نیست. این در حالی است که در پژوهش حاضر تمامی توابع هدف بدون اولویت‌دهی وارد فرایند بهینه‌سازی شده و وزن‌دهی روی توابع هدف انجام نشده است، به همین دلیل انعطاف‌پذیری مدل در تصمیم‌گیری وجود دارد. همچنین تمامی توابع هدف با مقیاس یکسان بهینه شده‌اند. البته در پژوهش مذکور نیز مشابه این تحقیق واحد مکانی به صورت قطعات شهری در نظر گرفته شده است، که خود منجر به پیچیده‌شدن ساختار مسئله می‌شود.

در برخی مطالعات دیگر به منظور ساده‌سازی پیچیدگی‌های مسئله چینش بهینه کاربری‌های شهری، از واحد مکانی ناحیه استفاده شده است؛ مانند تحقیقات فنگ و لین^۱ (۱۹۹۹) و بالینگ^۲ و همکاران (۱۹۹۹). روش‌های به کار برده شده در تحقیقات مذکور به مراتب نخبه‌گرایی کمتری در مقایسه با MOPSO دارند. نخبه‌گرایی، قدرت انتقال بهترین‌های یک نسل به نسل بعدی و تأکید الگوریتم بر این جمعیت است (Deb et al., 2002)، که سبب نزدیک‌تر شدن هرچه بیشتر جواب‌ها به بهینه واقعی و حفظ جواب‌های برتر در نسل‌های مختلف می‌شود. در روش‌های به کار رفته در دو پژوهش مذکور، بهینه‌سازی به صورت هم‌زمان انجام نشده، بلکه الگوریتم ژنتیک به صورت مرحله‌ای روی هریک از توابع هدف اجرا شده است و تأکیدی بر انتخاب بهترین جمعیت از نظر تمامی توابع هدف و انتقال این جمعیت به نسل بعد وجود ندارد. به طور کلی، توابع هدف تعریف‌شده در پژوهش حاضر کامل‌تر از تحقیقات ذکر شده است. در مطالعات مذکور، جبهه جواب به صورت اندرکنش مشابه آنچه در این تحقیق به عنوان خروجی تولید شده است، وجود ندارد. با توجه

پس از حل مسئله به صورت تک‌هدفه، از آنجا که بالاترین وزن به سازگاری داده شده است، نتایج با نتایج حاصل از حل مسئله در حالت چندهدفه با بیشینه سازگاری مقایسه شد. جدول ۸ نتایج استخراج‌شده از این دو حالت را در جمعیت اولیه ۵۰۰ و تعداد تکرار ۵۰۰ نشان می‌دهد.

همان‌طور که در جدول ۸ ملاحظه می‌شود، در حالت چندهدفه سه تابع هدف دارای مقادیر بیشتری هستند، که می‌تواند به دلیل در نظر گرفتن هم‌زمان توابع هدف در این حالت باشد. در واقع پیش از حل مسئله اولیویتی مانند وزن (مانند آنچه در حالت تک‌هدفه وجود دارد) تعریف نشده است که جواب‌ها به آن مقید شوند. در حالت تک‌هدفه دیگر جبهه جوابی وجود ندارد که به تصمیم‌گیرندگان قدرت انعطاف در تصمیم‌گیری‌ها را بدهد.

در مقایسه نتایج دو روش به کار رفته می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- نتایج بالاترین وزن در حالت تک‌هدفه با زمانی که وزن سازگاری ۳۵ درصد است، تفاوت دارد. بنابراین در حالت تک‌هدفه نتایج به شدت به وزن اولیه داده شده وابسته است.
- نتایج حل مسئله در حالت چندهدفه تأکید بیشتری بر بیشینه‌بودن سازگاری دارد.
- تعداد تغییرات پیشنهادی در حالت تک‌هدفه ۳۰۲ مورد و در حالت چندهدفه در بیشترین حالت با بیشینه سازگاری ۱۲۸ مورد است. این مسئله می‌تواند به دلیل دادن وزن کمتر به تابع هدف مناسب در حالت تک‌هدفه باشد، زیرا سختی تغییر از جمله مواردی است که در بطن این تابع هدف گنجانده شده است.

همان‌طور که ذکر شد در تحقیقی که شیفا و دیگران (۲۰۱۱) انجام دادند، روش بهینه‌سازی PSO تک‌هدفه در سطح قطعات شهری استفاده شده است. در روش به کار گرفته شده، توابع هدف پیش از ورود به مسئله وزن‌دهی شدند (مشابه آنچه در قسمت ارزیابی مدل و

1. Feng & Lin

2. Balling

وزنی به آنها تعلق گیرد تا یک تابع هدف تلفیقی تولید شود و نتایج کاملاً وابسته به این وزن‌هاست. با توجه به معیارهای مسئله مطرح در این پژوهش، مدل‌سازی فضایی چینش بهینه کاربری‌ها یک مسئله تصمیم‌گیری چندهدفه است و نتایج حاصل نشان می‌دهند که GIS می‌تواند به صورت مناسب با MOPSO تلفیق شود و در بهینه‌سازی چینش کاربری‌ها به کار رود. همچنین MOPSO قادر است پیچیدگی‌های موجود در مسئله یعنی وجود حالت‌های مختلف چینش، بالابودن تعداد توابع هدف، و نیاز به حل هم‌زمان توابع هدف را به طور مناسبی مدل کند. مدل ارائه شده بر مبنای روش بهینه‌سازی چندهدفه MOPSO فقط به جواب‌های بهینه نزدیک می‌شود. رسیدن به جواب‌های کاملاً بهینه در حالتی که مسئله پیچیدگی‌های زیادی دارد، تقریباً غیرممکن است.

در حالت کلی می‌توان گفت مدل طراحی شده توانایی مناسبی در یافتن جواب‌های بده‌بستان در دنیای پیچیده حالت‌های مختلف چینش کاربری‌ها را دارد. ولی در نهایت این جواب‌ها، سناریوهای راهنمایی هستند که در اختیار تصمیم‌گیرنده قرار می‌گیرند و در نهایت تصمیم‌گیرنده است که از این جواب‌ها با توجه به اولویت‌های خود در برنامه‌ریزی استفاده می‌کند. ارزیابی‌های انجام شده نشان می‌دهند که الگوریتم حاضر با مشخصات به کاررفته ثبات مناسبی از نظر تکرارپذیری و پارامترهای اولیه دارد.

۵- منابع

- پورمحمدی، م.، ۱۳۸۸، برنامه‌ریزی کاربری اراضی شهری، انتشارات دانشگاه تهران (سمت)، تهران.
- سعیدی‌نیا، ا.، ۱۳۸۲، برنامه‌ریزی کاربری اراضی شهری، مرکز تحقیقات برنامه‌ریزی اراضی شهری، تهران.
- مشهودی، س.، ۱۳۸۶، مبانی طرح‌های سیال شهری، انتشارات شرکت پردازش و برنامه‌ریزی شهری (وابسته به شهرداری)، تهران.

به اینکه در مطالعه حاضر، هر جواب روی جبهه جواب بهینه یک چینش کاربری‌ها را نمایش می‌دهد، تصمیم‌گیرنده می‌تواند با انتخاب هر جواب بهینه در جبهه جواب، نقشه مربوط به چینش بهینه کاربری‌ها را ببیند. در مطالعه لیگمان زیلینسکا (۲۰۰۸) نیز مشابه پژوهش حاضر در چینش بهینه، بیشترین تعداد پیشنهادی برای تغییر مربوط به کاربری مسکونی و زمین‌های خالی است. این مسئله به دلیل فراوانی بالای کاربری مسکونی و در نظر گرفتن سختی تغییر پایین تر در این کاربری است. در هر حال، روش به کار برده شده در تحقیق مذکور ابتکاری است که نخبه‌گرایی آن اثبات نشده است. یکی از نقاط ضعف این مدل نیز مشابه مطالعات گفته شده، مستربودن برخی پارامترهای مهم مؤثر در چینش کاربری‌ها - از جمله پارامترهای اجتماعی و اقتصادی - در مدل است. در پژوهش حاضر، از کارشناسان درخواست شده است در تدوین ماتریس‌های وابستگی و سازگاری این دو پارامتر را در نظر داشته باشند. اگر این پارامترها به صورت مستقل و مستقیم وارد مدل شوند، دقت مدل به مراتب بالاتر خواهد بود.

۴- نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر با استفاده از الگوریتم MOPSO، چینش‌های بهینه کاربری‌ها در کنار یکدیگر بر اساس توابع هدف سازگاری، وابستگی، تناسب و همگونی کاربری‌های مجاور به دست آمد. استفاده از MOPSO در این مسئله منجر به بهینه‌سازی هم‌زمان توابع هدف بدون وزن‌دهی اولیه در سطح پلاک‌های شهری شد، که انعطاف‌پذیری بیشتر در حمایت از تصمیم‌گیری را به دنبال داشت. یکی از مزایای مهم روش‌های بهینه‌سازی چندهدفه برخلاف روش‌های تک‌هدفه، این است که مدیران را قادر به انتخاب یک راه‌حل از میان چندین راه‌حل بهینه می‌کند. با استفاده از این مدل مدیر می‌تواند با مشخص کردن اولویت‌ها، نتایج را ببیند و بهترین تصمیم را اتخاذ کند؛ در صورتی که در حالت تک‌هدفه بایستی پیش از ورود توابع هدف به مدل،

- Adler, M. & Ziglio, E., 1996, **Gazing into the Oracle: The Delphi method and its application to social policy and public health**, Jessica Kingsley Publishers, London.
- Balling, R., Taber, J., Brown, M. & Day, K., 1999, **Multiobjective Urban Planning Using Genetic Algorithm**, Journal of Urban Planning and Development, 125(2), PP. 86-99.
- Coello Coello, C.A. & Lamont, G.B., eds., 2004, **Application of Multi-objective Evolutionary Algorithms**, World Scientific Publishing Co., Singapore.
- Colson, G. & Bruyn, C., 1989, **Models and Methods in Multiple Objectives Decision Making**, Mathematics and Computer Models, 12, PP. 1201-1211.
- Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S. & Meyarivan, T., 2002, **A Fast and Elitist Multiobjective Genetic Algorithm: NSGA-II**, IEEE Transactions on Evolutionary Computing, 6(2), PP. 181-197.
- Engelbrecht, A.P., 2006, **Fundamentals of Computational Swarm Intelligence**, USA: John Wiley and Sons.
- Feng, C.M. and Lin, J.J., 1999, **Using a Genetic Algorithm to Generate Alternative Sketch Maps for Urban Planning**, Computers Environment and Urban Systems, 23, PP. 91-108.
- Jiang Qian, Y., 2007, **Continuous Optimization Method for Integrated Land Use/Transport Models**, Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 7(3), PP. 64-72.
- Kivell, P., 1993, **Land and the City: Patterns and Processes of Urban Change**, Routledge, New York.
- Ligmann Zielinska, A., Church, R.L. & Jankowski, P., 2008, **Spatial Optimization as a Generative Technique for Sustainable Multiobjective Land use Allocation**, International Journal of Geographical Information Science, 22(6), PP. 601-622.
- Moah, H. & Kanaroglou, P., 2009, **A Tool for Evaluating Urban Sustainability via Integrated Transportation and Land Use Simulation Models**, Urban Environment, 3, PP. 28-46.
- Saadatseresht M., Mansourian A. & Taleai M., 2009, **Evacuation Planning using Multiobjective Evolutionary Optimization Approach**, European Journal of Operational Research, 198, PP. 305-314.
- Semboloni, F., 2004, **Optimization and Control of the Urban Spatial Dynamics**, Complexus (Social Modeling), 5(2), PP. 204-216.
- Shiffa, M.A., Jianhua, H.E., Feng, L.I.U., 2011, **Land-use Spatial Optimization based on PSO Algorithm**, Geo-spatial Information Science, 14, PP. 54-61.
- Skulmoski, J.G., Hartman, F.T., Krahn, J., 2007, **The Delphi Method for Graduate Research**, Journal of Information Technology Education, 6, PP. 1-21.
- Taleai, M., Sharifi, A., Sliuzas, R., Mesgari, M., 2007, **Evaluating the Compatibility of Multi-functional and Intensive Urban Land Uses**, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 9, PP. 375-391.