The 2nd National Conference on Geospatial Information Technology (NCGIT)

K.N.Toosi University of Technology
Faculty of Geomatics Engineering

18 January 2017

دومین کنفرانس ملی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی نقشه‌برداری
۲۹ دی ماه ۱۳۹۵

بهینه‌سازی تخصیص کاربری اراضی شهری با استفاده از الگوریتم NSGA-II و شاخص‌های مکانی

رضا صفرزاده[1*]، محمد کریمی[2]، ساناز علائی مقدم[3]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم های اطلاعات مکانی-دانشکده مهندسی نقشه برداری-دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی
۲- استادیار گروه سیستم های اطلاعات مکانی-دانشکده مهندسی نقشه برداری-دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی
۳- دانشجوی دکتری سیستم های اطلاعات مکانی-دانشکده مهندسی نقشه برداری-دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی

چکیده :

برنامه ریزی کاربری اراضی در روند توسعه شهری معمولاً یکی از هسته های اصلی مدیریت شهری می‌باشد که مسئله ای بسیار پیچیده و مستلزم در نظر گرفتن عوامل متعددی است. روش‌های بهینه‌سازی چندهدفه برای حل این قبیل مسائل از کاربرد و تناسب بالایی برخوردار هستند. ما بین تعداد بسیار زیاد نقشه‌های تولید شده با استفاده از روش‌های چندهدفه، برنامه ریزان علاقه مند به انتخاب نقشه‌ای هستند که نزدیک به الگوی توسعه شهر می‌باشد. استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری این امکان را فراهم می آورد مجموعه‌ای از راه‌حل‌های بهینه پیش روی برنامه ریز قرار گیرد و با استفاده شاخص‌های مکانی می‌توان الگوی توسعه شهر را استخراج کرده و با توجه به وضعیت توسعه شهر از میان جواب‌های موجود نزدیک‌ترین جواب به روند توسعه شهر را در اختیار برنامه ریزان قرار داد. در این تحقیق از الگورتیم ژنتیک با رتبه بندی نامغلوب جهت به دست آوردن جبهه جواب بهینه استفاده شد و سپس با محاسبه مقادیر کمی شاخص‌های مکانی مورد نظر در نقشه کاربری اراضی سال ۱۳۹۰ شهر تهران و مقایسه سناریوهای حاصل از الگوریتم، بهترین سناریو که بیشترین شباهت به نقشه وضع موجود را دارا بود استخراج گردید.

واژه‌های کلیدی : برنامه ریزی کاربری اراضی شهری، شاخص‌های مکانی، NSGA-II، بهینه سازی مکانی چندهدفه، GIS

نویسنده مکاتبه کننده : رضا صفرزاده
آدرس پستی : تهران - خیابان ولیعصر – تقاطع میرداماد – روبروی ساختمان اسکان – دانشکده ژئودزی و ژئوماتیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدی طوسی
تلفن :
آدرس پست الکترونیک : Rsafarzadeh@mail.kntu.ac.ir

۱- مقدمه

الگوی کاربری اراضی دائماً در حال تغییر می‌باشد تا بتواند پاسخگوی فعالیت‌های روزافزون و نیازهای جوامع انسانی باشد. بنابراین مدیریت کاربری اراضی مستلزم ارزیابی دقیق و درست پتانسیل اراضی در خصوص خدمات مورد نیاز جامعه است. از این رو اولویت بندی کاربری اراضی باید بر اساس ارزیابی مناسب از همه‌ی استفاده‌های ممکن هر واحد زمین باشد[۱]. فرایند تخصیص کاربری را میتوان در یک نگاه کلی تعامل بین تناسب سرزمین (عرضه) و مساحت مورد نیاز کاربری‌ها (تقاضا) در شرایط حاکم بر منطقه مورد مطالعه عنوان کرد .میزان تناسب برای کاربری‌های مختلف عموماً از طریق مقایسه ویژگیهای محیطی، اقتصادی و اجتماعی مورد نیاز کاربری‌ها با ویژگیهای سرزمین در سطح بزرگ مقیاس (پلی گون یا سلول) تعیین می‌گردد .از طرف دیگر مساحت مورد نیاز کاربری‌ها معمولاً در سطح کوچک مقیاس (واحدهای مدیریتی) با توجه به روندها و سناریوهای مختلف تعیین می‌گردد[۲].

این مسائل اغلب مستلزم این است که چندین هدف که بعضاً با یکدیگر در تضاد می‌باشند (مانند اهداف محیطی و اقتصادی) به طور هم زمان در نظر گرفته شوند[۳]. بنابراین می‌توان تخصیص کاربری را به‌صورت یک مسئله بهینه‌سازی چندهدفه عنوان کرد. حل مسائل به صورت چندهدفه به طور کلی بسیار پیچیده تر از حل مسائل تک هدفه می‌باشد. از این رو بسیاری از محققان روش‌هایی را برای تبدیل مسئله ی چندهدفه به تک هدفه ارائه کرده‌اند و برای حل مسئله به صورت تک هدفه نیز برخی محققان از روش‌های کلاسیک مانند برنامه ریزی خطی[1] استفاده کرده‌اند[۴]. مشکل اصلی این روش‌ها وابستگی شدید آن‌ها به وزن‌های تخصیص داده شده به اهداف و معیار ها قبل از حل مسئله می‌باشد. علاوه بر این تصمیم گیران ترجیح میدهند از میان چندین جواب موجود بسته به شرایط و نیازهایشان قدرت انتخاب داشته باشند.

در بسیاری تحقیقات دیگر برای حل مسائل بهینه‌سازی چندهدفه مدل‌هایی بر مبنای جبهه پرتو[2] ارائه گردیدند[۵، ۶]. جواب‌های پرتو معمولاً مستقل از اهمیت نسبی اهداف هستند که این امر استفاده از ین مدل‌ها را برای حل مسائل پیچیده مانند تخصیص کاربری اراضی مناسب را بسیار مناسب ساخته است. تحقیقات زیادی در زمینه تخصیص کاربری اراضی با استفاده از مدل‌های پرتو صورت گرفته است. به عنوان مثال Cao و همکاران [۶] در تحقیق خود با استفاده از الگوریتم ژنتیک با رتبه بندی نا مغلوب و با در نظر گرفتن سه هدف کمینه سازی تغییر کاربری‌ها، بیشینه سازی دسترسی و بیشینه سازی کاربری‌های مجاور، اقدام به پیشنهاد سناریوهای چینش بهینه کاربری‌های اراضی شهری نمود. در ایران همچنین علائی و همکاران در تحقیق خود سناریوهای بهینه‌ی تخصیص کاربری اراضی شهر شیراز را با استفاده از الگوریتم ژنتیک نا مغلوب نقطه مرجع و با در نظر گرفتن اهدافی چون بیشینه سازی سازگاری، بیشینه سازی دسترسی و تناسب زمین و کمینه سازی تغییرات کاربری‌ها، ارائه کردند[۵].

در مباحث توسعه شهری روش‌های مختلفی برای ارزیابی روند توسعه شهری و مدل‌های مکانی شهری وجود دارد، در این میان بوم شناسی سیمای سرزمین[3] یکی از جوان ترین شاخه‌های علم بوم شناسی می‌باشد و در دهه اخیر به عنوان علمی منحصر به فرد، پویا و جامع در تجزیه و تحلیل الگوی توسعه شهری گسترش یافته است[۷]. به دنبال توسعه سامانه‌های اطلاعات مکانی و در دسترس قرار گرفتن تصاویر ماهواره‌ای، پیشرفت‌های زیادی در کمی ساختن محیط زیست از نظر شاخص‌های مکانی صورت گرفته است[۸]. تا کنون تعداد زیادی از این شاخص‌ها ارائه شده است که می‌توان به تحقیقات [۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲] اشاره کرد. در زمینه بررسی تغییرات کاربری و پوشش سرزمین ناشی از توسعه شهری، مطالعاتی در جهان صورت گرفته است. به عنوان مثال Herold و همکاران در سال ۲۰۰۵ به بررسی نقش

[1] Linear Programming
[2] Pareto Front
[3] Landscape Ecology

شاخص‌های مکانی در تجزیه و تحلیل و مدل‌سازی تغییر کاربری شهری سانتا باربارا پرداختند و از ترکیب سنجش از دور و شاخص‌های مکانی به عنوان رویکردی نوین و مناسب در مدل‌سازی توسعه شهری نام برده‌اند[۱۳]. همچنین در مطالعه‌ای که توسط Wu و همکاران در سال ۲۰۱۱ در مورد کمی سازی الگوی رشد شهری دو کلان شهر فینیکس و لاس‌وگاس امریکا انجام شد، نشان داده که در اثر توسعه شهری، سیمای سرزمین ساختاری قطعه قطعه و بسیار پیچیده به خود گرفته است. این مطالعه نشان داد که تجزیه و تحلیل شاخص‌های مکانی نه تنها برای کمی سازی الگوی توسعه شهری، بلکه برای ارزیابی الگوهای مکانی شهری نیز مناسب می‌باشد[۱۴].

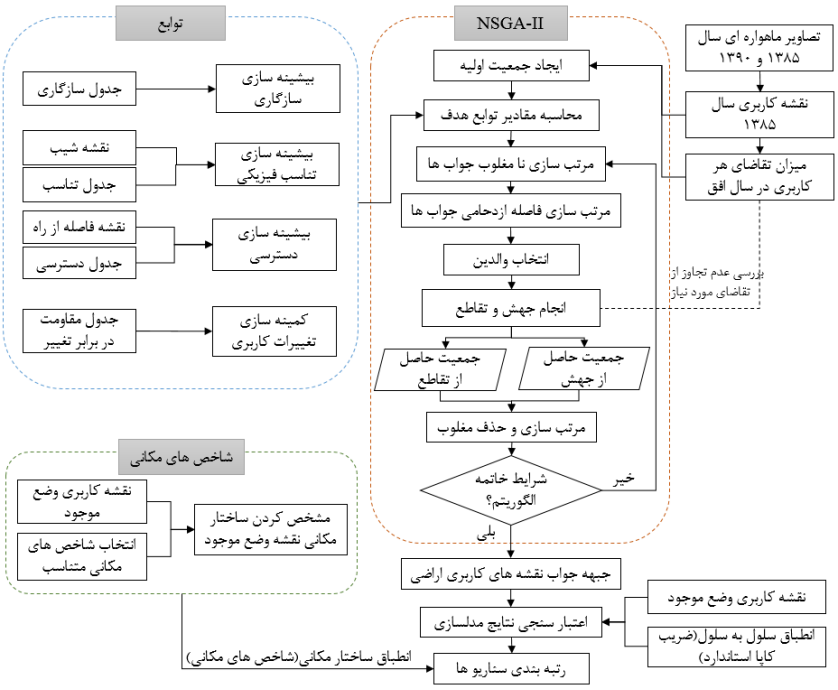
با توجه به ویژگی‌های الگوریتم ژنتیک با رتبه بندی نا مغلوب و متداول بودن آن در زمینه تخصیص کاربری اراضی، در این تحقیق از این الگوریتم جهت انجام تخصیص کاربری‌ها استفاده شده است و برای پیروی از الگوی توسعه شهر و به دست آوردن شبیه ترین سناریو به الگوی کنونی شهر، پس از بدست آوردن مقادیر کمی شاخص های مکانی منتخب، سناریویی که بیشترین تطبیق با الگوی توسعه شهر را از نظر شاخص های مکانی مورد نظر دارا بود ارائه گردید. مراحل کلی انجام تحقیق در شکل (۱) مشاهده می‌شود.

۲- مواد و روش‌ها

در این بخش مفاهیم تئوری بهینه‌سازی تکاملی چندهدفه و مبانی کلی الگوریتم NSGA_II و همچنین مفاهیم مربوط به شاخص‌های مکانی به طور اجمالی مرور می‌شود.

۲-۱- بهینه سازی تکاملی چندهدفه

در حالت کلی روش‌های مواجهه با مسائل چندهدفه بهینه‌سازی به دو دسته‌ی اصلی وزن دهی قبل از حل[1] و وزن دهی بعد از حل[2] تقسیم می‌شوند[۱۵, ۱۶]. در روش‌های وزن دهی قبل از حل، تصمیم‌گیری در مورد ترجیحات توابع هدف،



شکل۱: مراحل انجام تحقیق

[1] Prior Articulation of Preference
[2] Posterior Articulation of Preference

قبل از جست‌وجوی فضای جواب ارائه می‌شود. در این حالت معمولاً وزن‌ها توسط کارشناسان این زمینه تعریف می‌شود. از جمله‌ی این روش‌ها می‌توان به مجموع وزن‌دار[1]، روش‌های وزنی متریک[2]، برنامه ریزی آرمانی[3] و ... اشاره کرد. در این روش‌ها جواب خروجی وابسته به وزن‌های ورودی است [۱۷]. به علاوه در این روش‌ها برای به دست آوردن مجموعه‌ای از جواب‌ها لازم است الگوریتم به دفعات حل شود و در هر بار اجرا بایستی جواب‌های جدید به دست بیاید[۱۸].

در مقابل، در روش‌های بعد از حل ابتدا جست و جو در فضای جواب صورت گرفته و سپس در مورد اولویت‌ها تصمیم‌گیری می‌شود. در روش‌های تکاملی در حقیقت مسئله کاملاً به صورت چندهدفه حل شده و دیگر تنها یک جواب بهینه وجود ندارد بلکه جواب، مجموعه‌ای از نقاط است که می‌تواند یک سطح، منحنی و غیره باشد که منحنی جواب‌های بده بستان[4] و یا جواب‌های مؤثر[5] نامیده می‌شود[۶]. جواب مؤثر یا جواب غالب (نا مغلوب[6]) یکی از مفاهیم پایه‌ای در مسائل چندهدفه است. که با فرض M تابع هدف به‌صورت زیر تعریف می‌شود[۱]؛ جواب x_1 بر جواب x_2 غالب است اگر دو شرط زیر برقرار باشد:

- جواب x_1 در هیچ یک از اهداف بدتر از x_2 نباشد.
- جواب x_1 دست کم در یک هدف اکیداً بهتر از جواب x_2 باشد.

در حل مسائل بهینه سازی چندهدفه، روش‌ها و الگوریتم‌های متفاوتی ارائه شده‌اند. در صورتی که فضای جست و جو فضای بزرگی باشد و یا حجم محاسبات بالا رود، الگوریتم‌های فرا ابتکاری جواب‌های قابل قبولی پیدا می‌کنند[۱۹]. الگوریتم ژنتیک به عنوان یکی از الگوریتم‌های فرا ابتکاری و تکاملی برای حل این‌گونه مسائل بسیار مناسب است زیرا توانایی کار با مجموعه‌ای از جواب‌های متفاوت به عنوان جمعیت اولیه را دارد[۲۰].

۲-۲- مبانی الگوریتم NSGA-II

NSGA_II که نسخه‌ی بهبود یافته‌ی NSGA است، اولین بار در سال ۲۰۰۰ توسط دب و همکاران توسعه داده شده است[۱۸]. تعریف فاصله ازدحامی، استفاده از عملگر انتخاب و نخبه‌گرایی از ویژگی‌های عمده‌ی این الگوریتم می‌باشد[۵].

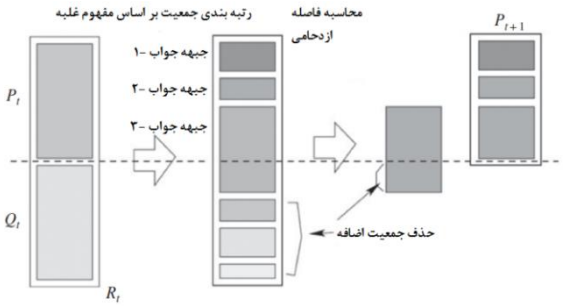
مراحل کاری و الگوریتم کلی روش NSGA- II به شرح زیر است[۱۵]:

- ایجاد جمعیت اولیه: جمعیت اولیه به صورت تصادفی ایجاد می‌شود.
- محاسبه معیارهای برازندگی: مقادیر توابع هدف برای تک تک افراد جمعیت محاسبه می‌شود.
- مرتب کردن جمعیت: جمعیت بر اساس شرط‌های غلبه کردن مرتب سازی می‌شود.
- انتخاب: به محض مرتب شدن جمعیت اولیه بر اساس شرط غلبه کردن، مقدار فاصله‌ی ازدحامی محاسبه خواهد شد و انتخاب از میان جمعیت اولیه آغاز می‌شود، این انتخاب بر اساس دو المان صورت می‌گیرد؛

[1] Weighted Sum
[2] Weighted Metrics Methods
[3] Goal Programming
[4] Trade-off
[5] Effective Solution-Pareto-Optimal Front
[6] Non-Dominated

- رتبه‌ی جمعیت: جمعیت‌ها در رتبه‌های پایین تر اتخاذ می‌شوند (جواب‌های بهتر در رتبه‌های پایین تر از نظر عددی قرار دارند).
- محاسبه فاصله ازدحامی: با فرض اینکه p و q دو عضو یک رتبه باشند، عضوی انتخاب می‌شود که فاصله ازدحامی بیشتری دارد. لازم به ذکر است، اولویت انتخاب با رتبه و سپس بر اساس فاصله ازدحامی است.

- انجام تقاطع و جهش برای تولید فرزندان جدید: این کار معمولاً با استفاده از روش انتخاب دودویی انجام می‌گیرد.
- تلفیق: جمعیت اولیه و جمعیت به دست آمده از تقاطع و جهش با یکدیگر تلفیق می‌شوند.
- جایگزینی: در این مرحله جمعیت والدین با بهترین اعضای جمعیت تلفیق شده در مراحل قبل جایگزین می‌شوند. این فرآیند به طور خلاصه در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲: نحوه‌ی مرتب کردن جمعیت در الگوریتم NSGA-II (Deb,2001)

۲-۳- شاخص‌های مکانی

یکی از مبانی اصلی تحقیقات جغرافیایی، تحلیل ساختارها و الگوهای مکانی می‌باشد. ویژگی‌های مکانی همچون موقعیت، فاصله، جهت، همسایگی، الگو و ... در مسائل مکانی به عنوان مفاهیم اصلی مکانی و در تحقیقات مختلف از جنبه‌های گوناگون مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

در این تحقیق این مفاهیم و تحلیل ساختارها و الگوهای مکانی از منظر شاخص‌های مکانی نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد. شاخص‌های مکانی اغلب در مباحث مربوط به اکولوژی سیمای سرزمین مورد استفاده قرار گرفته‌اند که در آنجا با نام های شاخص‌های سیمای سرزمین شناخته می‌شوند. اما در سال‌های اخیر توجه بسیاری از محققان به استفاده از تکنیک‌های به کار گیری شاخص‌های مکانی در تحلیل ساختار مناطق شهری معطوف گشته است زیرا این امر کمک شایانی به آشکار سازی مؤلفه‌های مکانی در ساختارهای شهری و همچنین الگوی رشد قطعات شهری خواهد کرد[۱۳, ۲۱, ۲۲].

شاخص‌های مکانی اولین بار در اواخر دهه ۱۹۸۰ بر اساس نظریه تئوری اطلاعات ارائه شدند[۱۳]. این شاخص‌ها را می‌توان به دو دسته مختلف تقسیم نمود. دسته‌ای از شاخص‌ها، ترکیب سیمای سرزمین[1]، که بیانگر توصیفی از سیمای سرزمین هستند (مانند نوع و تعداد قطعه‌های موجود در محدوده مورد نظر) و دسته دیگری از شاخص‌ها، شکل سیمای سرزمین[2]، که چیدمان مکانی قطعه‌ها را نسبت یکدیگر تحلیل می‌نمایند و در واقع نظم مکانی سیمای سرزمین را در نظر می‌گیرند (مانند شاخص شکل قطعات و میانگین فاصله از نزدیکترین قطعه همسایه).

[1] Landscape Composition Metrics
[2] Landscape Configuration Metrics

شاخص‌های سیمای سرزمین در سه سطح کل سیمای سرزمین[1]، کلاس‌های کاربری[2] و قطعه‌های[3] موجود در محدوده قابل اندازه‌گیری هستند[۲۲].

بالغ بر ۱۰۰ شاخص مکانی تا کنون در تحقیقات مختلف برای بررسی الگوی توسعه شهری از جنبه‌های مختلف ارائه شده است[۲۳]، در این میان بسیاری از محققان در نتایج خود گزارش کرده‌اند تعداد کمی از این شاخص‌ها مقادیر منحصر به فرد ارائه می‌کنند و بقیه به یکدیگر وابسته می‌باشند. بنابر این محاسبه‌ی تمامی این شاخص‌ها ضروری نمی‌باشد[۲۴]. بیشترین شاخص‌هایی که تا کنون در مطالعات توسعه شهری مورد استفاده قرار گرفته‌اند شاخص‌های در سطح کلاس[4] می‌باشند[۲۴]. درصد سیمای سرزمین[5][۱۳, ۱۴]، متوسط اندازه هر قطعه[6][۲۵]، تعداد قطعات[7][۲۶]، شاخص بزرگترین قطعه[8][۲۷]، میانگین فاصله نزدیک‌ترین همسایه[9][۲۸] و شاخص تراکم[10][۲۷] از پرکاربرد ترین شاخص‌های مکانی در مطالعات توسعه شهری می‌باشند که توضیحات مربوط به هر یک از این متریک‌ها در جدول (۲) آمده است.

۳- پیاده‌سازی و آزمون عملی

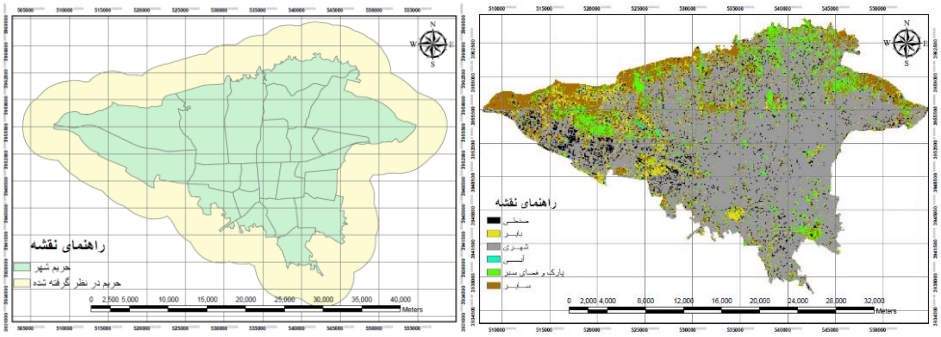
در این بخش هدف ارائه نقشه کاربری اراضی پیشنهادی به منظور بهینه سازی چهار هدف بیشینه سازی سازگاری کاربری‌های مجاور، بیشینه سازی مناسب بودن زمین برای کاربری مورد نظر، بیشینه سازی دسترسی به راه‌ها و کمینه سازی مقاومت در برابر تغییر کاربری و با در نظر گرفتن شرط تأمین تقاضای مورد نیاز برای هر کاربری در محدوده تخصیص با استفاده از الگوریتم NSGA_II می‌باشد. پس از توقف الگوریتم، جمعیتی از نقشه‌های کاربری اراضی شهر، که بیشترین تناسب را میان اهداف بیان شده بر قرار کرده‌اند به عنوان خروجی تولید می‌شود. سپس در بین جواب‌های تولید شده چهار سناریو که هر یک مربوط به بیشینه شده یک تابع هدف می‌باشند به عنوان نمونه در نظر گرفته می‌شوند و به منظور یافتن نزدیک‌ترین سناریو به الگوی وضع موجود شهر، محاسبات مربوط به هر یک از شاخص‌های مکانی مشخص شده روی نقشه‌های سناریو و نقشه وضع موجود انجام شده و اختلاف آن‌ها محاسبه می‌گردد و در نهایت نزدیک‌ترین سناریو به الگوی وضع موجود شهر تهران استخراج می‌گردد.

۳-۱- منطقه مورد مطالعه

شهر تهران، بزرگترین شهر و پایتخت ایران و مرکز استان تهران است. مساحت این شهر ۷۳۰ کیلومتر مربع است و از نظر جغرافیایی در ۵۱ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۳ دقیقه طول خاوری و ۳۵ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۴۴ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است و ارتفاع کنونی آن از سطح دریا در حدود ۹۰۰ تا ۱۸۰۰ متر است. بر اساس آخرین سرشماری عمومی نفوس و مسکن در آبان ماه ۱۳۹۰ جمعیت استان تهران برابر با ۱۲.۱۸۳.۳۹۱ نفر می‌باشد (۵۰/۴٪ مرد و ۴۹/۶٪ زن)، که در مقایسه با سرشماری عمومی نفوس و مسکن آبان ۱۳۸۵ متوسط رشد سالانه جمعیت معادل ۱/۴۴ درصد بوده است. در این تحقیق محدوده‌ی مورد مطالعه شهر تهران به‌منظور بهینه‌سازی تخصیص کاربری اراضی شهر با توجه به گسترش جمعیت در نظر گرفته شده است.

---

[1] Landscape Metrics
[2] Class Metrics
[3] Patch Metrics
[4] Class Area
[5] Percentage of landscape
[6] Mean Patch Size
[7] Number of Patches
[8] Largest Patch index
[9] Mean Euclidean Nearest Neighborhood
[10] Aggregation Index



(ب) (الف)

شکل ۳: (الف):منطقه مورد مطالعه (شهر تهران) و (ب): حریم در نظر گرفته شده جهت انجام تخصیص

۳-۲- توابع هدف

با توجه به مطالب ارائه شده در بخش ۲، در این تحقیق چهار هدف به منظور برنامه ریزی کاربری‌ها در نظر گرفته شده است. در ادامه هر یک از اهداف و تعریف ریاضی آن‌ها بیان می‌گردد.

۳-۲-۱- سازگاری[1] کاربری‌ها مجاور:

هر کاربری دارای سطحی از کاربری با همسایگان خود می‌باشد. در واقع سازگاری به معنی نداشتن اثر منفی کاربری‌های مجاور بر روی یکدیگر است. معمولاً سازگاری توسط ماتریسی بین کاربری‌ها تعریف می‌شود، ماتریس سازگاری در این تحقیق با استفاده از ضرایب تعیین شده در تحقیقات قبلی و نظر کارشناسان تعیین شده است[۵, ۶, ۲۹].

جدول ۱: ماتریس سازگاری میان کاربری‌ها

	صنعتی	بایر	مسکونی	آبی	پارک و فضای سبز	سایر
صنعتی	۱	۰.۷۴	۰.۴۱	۰.۴۷	۰.۶۸	۰.۷۴
بایر		۱	۰.۴۷	۰.۴۱	۰.۷۴	۱
مسکونی			۱	۰.۸۸	۰.۸۸	۰.۴۷
آب				۱	۰.۸۸	۰.۷۴
پارک و فضای سبز					۱	۰.۷۴
سایر						۱

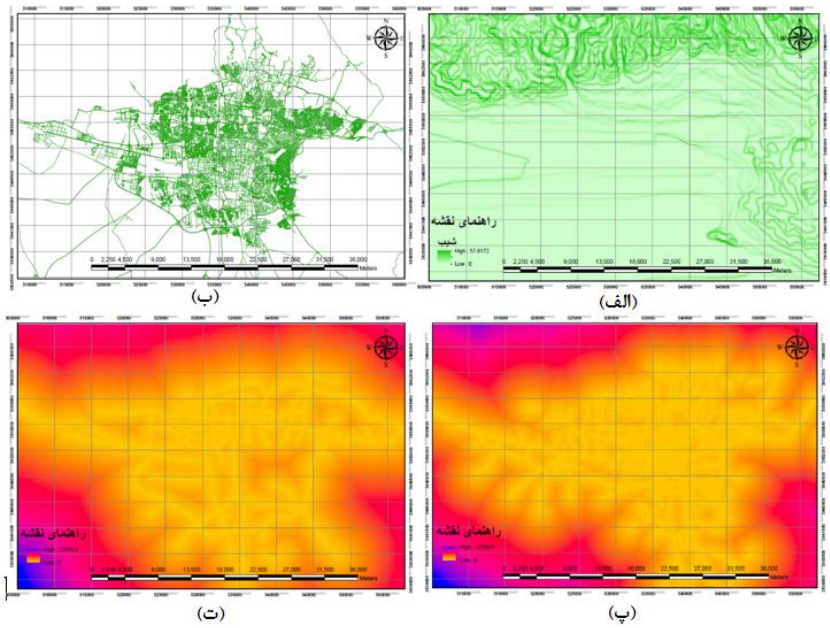
۳-۲-۲- تناسب فیزیکی[2] سرزمین:

یکی دیگر از عوامل مؤثر در تخصیص کاربری، تناسب زمین از نظر فاکتورهایی مانند ارتفاع، جنس، شیب، آب و هوا، برای کاربری مورد نظر است[۲]. در این تحقیق فاکتور شیب، همانند شکل ۳، به منظور تعیین تناسب زمین برای کاربری در نظر گرفته شده است و به منظور تعریف تناسب فیزیکی زمین برای کاربری‌های مختلف همانند ضرایب ماتریس سازگاری، از تحقیقات پیشین و نظر کارشناسان کمک گرفته شد.

[1] Compatibility
[2] Physical Suitability

۳-۲-۳- دسترسی پذیری[1]

یکی دیگر از اهداف مهم در بهینه سازی کاربری اراضی، در نظر گرفتن دسترسی کاربری‌های مختلف به معابر می‌باشد، هم به این دلیل که بر عملکرد کلی شهر تأثیر مثبت خواهد گذاشت و هم به دلیل اینکه بسیاری از مشکلات شهری مانند ترافیک و آلودگی‌ها با برقراری دسترسی متناسب برای کاربری‌های مختلف می‌تواند کاهش چشمگیری داشته باشد[۶]. بدین منظور در این تحقیق نقشه‌ی فاصله از راه‌های درجه ۱ و درجه ۲ شهر تهران مطابق آنچه در شکل (۴)-پ و ت مشاهده می‌شود استخراج شد و با کمک گرفتن از نظر کارشناسان و تحقیقات پیشین وزن‌های مربوط به نزدیکی هر یک کاربری‌ها به راه‌ها مشخص گردید.



شکل ۴: نقشه‌های فاکتور شهر تهران (الف): شیب، (ب): معابر، (پ): فاصله از راه‌های درجه ۲ و (ت): فاصله از راه‌های درجه ۱

۳-۲-۴- مقاومت در برابر تغییر

از سوی دیگر، کمینه سازی تغییرات کاربری‌های مهم مانند کاربری شهری و صنعتی موجب کاهش هزینه‌های مربوط به تخریب این اماکن و در نتیجه فواید اقتصادی را برای پایتخت در پیش خواهد داشت[۶]. از سوی دیگر به منظور حفاظت از محیط زیست نیز لازم است تا برخی کاربری‌ها مانند فضای سبز و دریاچه‌ها تا حد امکان دست نخورده باقی بمانند. به منظور برقراری تعادل میان این اهداف لازم است تا هزینه‌ی تغییرات میان کاربری‌ها نیز با توجه به نظر کارشناسان مد نظر قرار گیرد و در مسئله وارد شود.

۳-۳-محدودیت‌ها

در مسائل تخصیص کاربری اراضی شهری محدودیت‌ها و شرایطی نیز وجود دارد که باید در نظر گرفته شود، محدودیت‌هایی چون مناطقی که تغییر در آن‌ها ممنوع است مانند مناطق حفاظت شده و کاربری‌های آبی موجود در سطح شهر، و یا در نظر گرفتن مقدار افزایش تقاضا که متناسب با داده‌های افزایش جمعیتی از سال‌های قبل به دست می‌آید[۶]. در این تحقیق برای محاسبه‌ی تقاضا از نسبت بین تعداد پیکسل‌های هر کاربری به کل پیکسل‌های محدوده در سال ۱۳۸۵ استفاده شده است. با در نظر گرفتن محدوده شهر در سال ۱۳۹۰ میزان تقاضای هر کاربری در سال ۱۳۹۰، با نرخ به دست آمده از سال ۱۳۸۵ محاسبه می‌گردد. میزان تقاضا

[1] Accessibility

به عنوان یک قید وارد الگوریتم می‌گردد و جمعیت اولیه با توجه به میزان تقاضا شکل می‌گیرد، همچنین در مراحل تقاطع و جهش نیز فیلتری در نظر گرفته شده است که اگر کروموزوم والد یا کروموزوم جهش یافته میزان حداقل‌های تقاضا را دارا نباشد عمل تقاطع یا جهش دوباره و روی کروموزوم‌های دیگری صورت پذیرد. دیگر محدودیت‌های در نظر گرفته شده در الگوریتم محدوده‌ی مجاز تخصیص می‌باشد که در این تحقیق شعاع به طول ۴ کیلومتر از نقشه‌ی حریم شهر تهران در سال ۹۰ مطابق شکل(۲)-ب، در نظر گرفته شده است.

۳-۴- انتخاب شاخص‌های مکانی

انتخاب شاخص‌های مکانی در این تحقیق نیز بر اساس کارهای صورت گرفته بر روی مدل سازی تغییرات شهری با استفاده از شاخص‌های مکانی در گذشته می‌باشد. درصد سیمای سرزمین، متوسط اندازه هر قطعه، تعداد قطعات، شاخص بزرگترین قطعه، میانگین فاصله نزدیک ترین همسایه و شاخص تراکم از پرکاربرد ترین شاخص‌های مکانی در مطالعات توسعه شهری می‌باشند. در این تحقیق نیز این شاخص‌ها برای بیان کمی الگوی شهری مناسب ارزیابی شده‌اند. توضیحات مربوط به هر یک از شاخص‌ها در جدول (۲) آمده است.

جدول ۲: شاخص‌های مکانی استفاده شده در تحقیق

فرمول	توضیحات	علامت اختصاری	شاخص
$MPS = \frac{\sum_{j=1}^{n} a_{ij}}{n_i}\left(\frac{1}{10,000}\right)$	عبارت است از مجموع مساحت کل قطعات مربوط به کلاس کاربری مورد نظر، تقسیم بر تعداد قطعات موجود از همان کلاس کاربری، تقسیم بر ۱۰.۰۰۰ برای تبدیل به واحد هکتار	AREA_MN	متوسط اندازه قطعات
$NP = n_i$	عبارت است از تعداد قطعات موجود از کلاس کاربری مورد نظر	NP	تعداد قطعات
$P_i = \frac{\sum_{j=1}^{n} a_{ij}}{A}(100)$ patch type.	عبارت است از مجموع مساحت تمام قطعات از کلاس کاربری مورد نظر، تقسیم بر کل مساحت محدوده مورد مطالعه و تبدیل به درصد. در واقع نسبت مساحت موجود از هر کاربری به کل کاربری‌ها می‌باشد.	PLAND	درصد سیمای سرزمین
$ENN = h_{ij}$	میانگین فاصله‌ی قطعات کلاس کاربری مورد نظر از نزدیک‌ترین قطعه‌ی مجاور از نوع همان کلاس کاربری	ENN_MN	میانگین فاصله از نزدیک‌ترین همسایه
$LPI = \frac{\max(a_{ij})}{A}(100)$	مساحت بزرگترین قطعه‌ی موجود در منطقه مورد مطالعه تقسیم بر مساحت کل محدوده مورد مطالعه	LPI	شاخص بزرگترین قطعه
$AI = \left[\frac{g_{ii}}{\max \to g_{ii}}\right](100)$	تعداد همسایگی‌های یکسان درون هر قطعه از کلاس کاربری مورد نظر	AI	شاخص تراکم

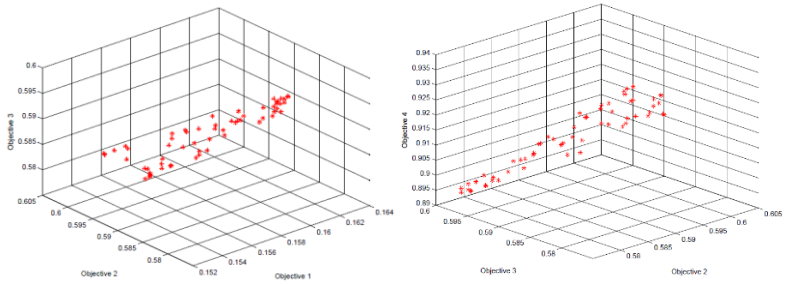
۴- نتایج پیاده‌سازی و ارزیابی

در این تحقیق، واحد زمین پیکسل‌های به ابعاد ۱۰۰ متر در نظر گرفته شده است و کاربری‌ها در ۶ دسته‌ی صنعتی، مسکونی، پارک و فضای سبز، آبی، بایر و سایر کاربری‌ها در نظر گرفته شد. کدگذاری ارائه شده در این تحقیق به صورت گسسته بوده و هر کروموزوم معرف یک نقشه‌ی کاربری می‌باشد. در واقع ژن‌ها اعداد ۱ تا ۶ هستند که

هر عدد معرف یک کاربری می‌باشد. بنابراین یک کروموزوم متشکل از یک فضای دوبعدی از ژن‌ها می‌باشد که موقعیت هر ژن نشان‌دهنده‌ی یک واحد مکانی از منطقه است و ارزش آن بیانگر کاربری تخصیص یافته به آن واحد می‌باشد. در نتیجه جمعیت اولیه و جبهه جواب خروجی در این تحقیق مجموعه‌ای از نقشه‌های کاربری شهر تهران می‌باشد. جهت تشکیل هر کروموزوم از جمعیت اولیه، ابتدا کلیه پیکسل‌های دارای کاربری بایر در محدوده‌ی مجاز، به علاوه‌ی ۲۵ درصد از پیکسل‌های دارای کاربری غیر از بایر که به صورت تصادفی انتخاب گردیده‌اند، شناسایی و سپس به طور تصادفی کاربری‌های جدید به آن‌ها تعلق می‌گیرد که تقاضای مورد نیاز را برآورده سازد.

برای تهیه‌ی نقشه‌های فاکتور و نمایش سناریوها از نرم‌افزار ArcGIS 10 استفاده شد و مدل در نرم‌افزار Matlab 2015 اجرا گردید. محاسبه مقادیر کمی مربوط به شاخص‌های مکانی نیز توسط نرم‌افزار FragStats 4.2 صورت گرفت. تعداد جمعیت اولیه ۶۰ و محدودیت تعداد تکرار ۱۰۰۰ تکرار تعیین گردید. نمودار راه‌حل‌ها در تکرار ۱۰۰۰-ام در شکل (۵) در فضای سه بعدی بین اهداف نمایش داده‌شده است.

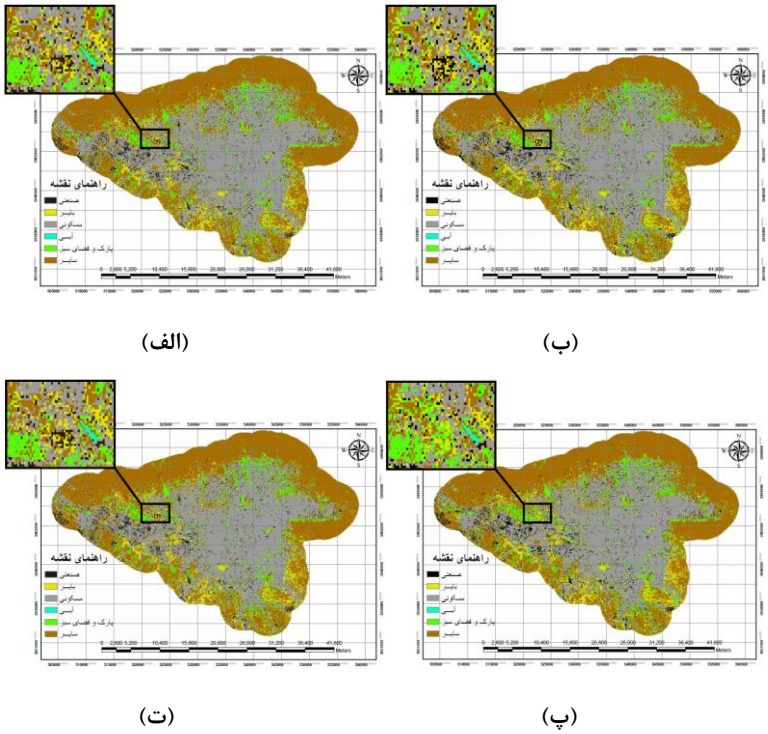
هر یک از راه‌حل‌ها یک نقشه کاربری برای شهر تهران می‌باشد. به عنوان نمونه نقشه کاربری اراضی شهر تهران به ازای ماکزیمم شدن هر یک از چهار تابع هدف به عنوان چهار سناریوی پیش رو در نظر گرفته شدند و نقشه‌ی هرکدام در شکل (۶) نمایش داده‌شده است. برای مثال نقشه شکل (۶)-الف نقشه‌ای است که در تکرار آخر دارای بیشینه‌ی مقدار تابع هدف سازگاری می‌باشد. به منظور ارزیابی نتایج هرکدام از نقشه‌های کاربری شکل (۶) با نقشه کاربری وضع موجود مقایسه گردید و به منظور بررسی تشابه پیکسل به پیکسل نقشه‌ها، ضریب کاپای استاندارد برای محاسبه گردید که در جدول (۳) آورده شده است و همان‌طور که مشاهده می‌شود هر چهار سناریو دقت مطلوبی دارند.



(ب) (الف)

شکل ۵: مجموعه راه‌حل‌ها در فضای سه بعدی بین اهداف در تکرار ۱۰۰۰-ام، الف: تناسب زمین، دسترسی و سختی تغییر و ب: سازگاری، تناسب زمین و دسترسی

از طرفی علاوه بر محاسبه‌ی ضریب کاپا در بررسی تشابه سناریوها با نقشه موجود، در این تحقیق با در نظر گرفتن ویژگی‌های سیمای سرزمین منطقه مورد مطالعه برای به دست آوردن بهترین جواب متناسب با الگوی رشد شهر تهران، سناریوهای مشخص شده در شکل (۶) از منظر شاخص‌های مکانی گفته شده در قسمت‌های قبلی نیز با نقشه‌ی وضع موجود شهر تهران مقایسه گردیدند که حاصل این نتایج در جدول (۳) آورده شده است. بررسی‌ها در سطح کلاس‌های کاربری و بر روی کاربری‌های شهری، صنعتی و فضای سبز که بیشترین تغییرات را داشته‌اند انجام گرفت. کاربری‌های آبی و سایر به علت شرایط و محدودیت‌های در نظر گرفته شده هنگام اجرای الگوریتم تغییرات بسیار اندکی داشتند و تفاوت چندانی با نقشه وضع موجود در آن‌ها وجود نداشت.



شکل ۶: نقشه شبیه سازی کاربری اراضی شهر تهران به ازای ماکزیمم شدن تابع هدف (الف): سازگاری (ب): تناسب فیزیکی (پ): دسترسی و (ت): مینیمم شدن مقاومت در برابر تغییر در الگوریتم NSGA-II

همان‌گونه که از جدول مشخص است، سناریوی اول که بیشینه سازی سازگاری میان کاربری‌ها می‌باشد در بررسی‌های شاخص‌های مکانی نیز موفق‌تر از سناریوهای دیگر بوده است به خصوص در تخصیص پیکسل‌های با کاربری مسکونی کمترین اختلاف را با واقعیت داشته است و می‌توان این نکته را دریافت که در روند تخصیص کاربری اراضی، سازگاری میان کاربری‌های مجاور اهمیت نسبی بیشتری به دیگر اهداف داشته است و کاربری‌ها بیشتر تمایل به قرار گرفتن در موقعیت‌هایی داشته‌اند که سازگاری بیشتری با یکدیگر داشته‌اند. از طرفی مشاهده می‌شود سناریو مربوط به حداقل سازی تغییرات کاربری‌ها کمترین شباهت را به نقشه کاربری وضع موجود دارا می‌باشد، حاصل این بررسی نشان می‌دهد در روند توسعه شهر تهران تا کنون در نظر گرفتن هزینه‌ی تغییر کاربری‌ها جزو اولویت‌های پایین‌تری نسبت به سایر اهدافی چون سازگاری و تناسب فیزیکی بوده است و سناریویی که در آن کمترین تغییرات کاربری نسبت به گذشته صورت گرفته است بیشترین اختلاف را با الگوی توسعه شهر داشته است.

جدول ۳: مقادیر اختلاف کمی شاخص‌های مکانی سناریوها از نقشه‌ی وضع موجود (به درصد)

سناریو	تطابق با واقعیت (کاپا)	کاربری	AREA-MN	NP	PLAND	ENN-MN	LPI	AI
بیشینه شدن هدف سازگاری	۰.۹۲۱۸	صنعتی	٪۰.۳	٪-۰.۳	٪۰	٪-۰.۱	٪۰	-۰.۰۴ ٪
		مسکونی	٪-۷.۴	٪۷.۹	٪-۰.۱	٪۱.۱	٪۰.۰۵	٪-۰.۴
		پارک و فضای سبز	٪-۳.۵	٪۴.۱	٪۰.۵	٪-۱.۲	٪-۳.۳	٪-۱.۹
بیشینه شدن هدف تناسب زمین	۰.۸۹۴۴	صنعتی	٪۲.۷	٪۲.۷	٪۵.۴	٪-۱.۱	٪۰	٪۲.۵
		مسکونی	٪-۱۷.۱	٪۲۱.۶	٪۰.۷	٪۰.۱	٪-۰.۴	٪-۱
		پارک و فضای سبز	٪-۴.۷	٪۰.۷	٪-۴	٪۰.۹	٪-۴.۹	٪-۱.۲
بیشینه شدن هدف دسترسی	۰.۹۰۶۲	صنعتی	٪-۰.۷	٪۰.۶	٪-۰.۱	٪-۰.۵	٪۱.۳	٪-۱.۲
		مسکونی	٪-۱۰.۶	٪۱۰.۲	٪-۱.۴	٪۱.۶	٪-۱.۸	٪-۰.۳
		پارک و فضای سبز	٪-۱.۹	٪۹.۸	٪۷.۶	٪-۲.۷	٪۲.۷	٪-۳.۱
کمینه شدن تغییرات کاربری‌ها	۰.۸۸۹۸	صنعتی	٪-۱.۶	٪-۰.۱	٪-۱.۶	٪۰.۶	٪۰	٪-۲.۶
		مسکونی	٪-۲۰.۴	٪-۲۲.۱	٪۱.۹	٪-۲	٪۱	٪-۱.۳
		پارک و فضای سبز	٪-۴.۶	٪-۳.۲	٪-۷.۷	٪۳.۳	٪-۴.۹	٪-۰.۳

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این تحقیق تلاش شد بهینه سازی تخصیص کاربری اراضی شهری با در نظر گرفتن اهداف اشاره شده صورت گرفته و از میان جواب‌ها و با استفاده از شاخص‌های مکانی منتخب جواب‌هایی که اهداف کمی و کیفی مورد نظر را به بهترین نحو برآورده ساختند مشخص گردند. لذا این تحقیق، یک مسئله بهینه سازی چندهدفه می‌باشد که برای حل آن از الگوریتم NSGA-II استفاده گردید. جواب‌های ارائه شده توسط این الگوریتم برنامه ریز را قادر می‌سازد تا نقشه‌هایی که بیشترین مطلوبیت با معیارهای مورد نظر او را دارد انتخاب کند و تصمیم‌گیری ساده‌تری خواهد داشت. این موضوع نشان‌دهنده‌ی توانایی مدل برای ایجاد سناریوهای مختلف برنامه ریزی کاربری است. در این تحقیق سعی شده است اساسی‌ترین اهداف در تخصیص کاربری‌های شهری در نظر گرفته شود. چهار هدف بیشینه‌سازی سازگاری، بیشینه سازی تناسب فیزیکی زمین، بیشینه سازی دسترسی و کمینه سازی تغییرات کاربری‌ها مدل گردیدند و هر چهار هدف به طور هم‌زمان بهینه شده‌اند. در نهایت از میان جواب‌های موجود چهار سناریو مربوط به بیشینه شدن هرکدام از توابع هدف به عنوان چهار سناریو اصلی برای ارزیابی مدل تعیین گردیدند و با استخراج مقادیر کمی شاخص‌های مکانی از مدل و مقایسه با شاخص‌های مکانی استخراج شده از نقشه واقعیت موجود، از میان چهار سناریوی تعریف شده بهترین و متناسب ترین نقشه با شرایط وضع موجود شهر تهران انتخاب گردید.

توسعه شهری یک امر پیچیده و عوامل بسیار زیادی در این فرآیند هم از نظر زمانی هم از نظر مکانی تأثیرگذار هستند. استفاده از روش‌های فرا ابتکاری چندهدفه نیز مجموعه‌ای از جواب‌ها را در اختیار برنامه ریزان قرار می‌دهند تا از میان آن‌ها متناسب با شرایط بهترین جواب اتخاذ شود و معمولاً اهدافی که در نظر گرفته می‌شود فقط اهداف محیطی و اجتماعی می‌باشد و تناسب یک قطعه زمین برای کاربری خاص در نظر گرفته می‌شود و کمتر به الگوی توسعه شهر و روند پراکندگی قطعات شهری توجه می‌شود. بررسی‌های مربوط به شاخص‌های مکانی مشخص خواهد کرد از میان جواب‌های تولید شده کدام یک بیشترین و کدام یکی کمترین شباهت به الگوی توسعه شهر را دارا می‌باشند و به تصمیم گیران این امکان را می‌دهد با در نظر گرفتن اهداف مورد نظر خود و همچنین توجه به ساختار الگوی توسعه شهر بهترین جواب را از میان جواب‌ها انتخاب نمایند که این امر باعث برقراری تعادل میان برآورده شدن اهداف اجتماعی و زیست محیطی و همچنین الگوی توسعه منطقه‌ی مورد مطالعه خواهد شد.

مراجع

[1] Shaygan, M., et al., Spatial multi-objective optimization approach for land use allocation using NSGA-II. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2014. 7(3): p. 906-916.

[۲] توسعه یک سیستم حامی تصمیم گیری مکانی در مطالعات آمایش سرزمین .،کریمی, م. دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک. ۱۳۸۹, دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی.

[3] Masoomi, Z., M.S. Mesgari, and M. Hamrah, Allocation of urban land uses by Multi-Objective Particle Swarm Optimization algorithm. International Journal of Geographical Information Science, 2013. 27(3): p. 542-566.

[4] Maoh, H. and P. Kanaroglou, A tool for evaluating urban sustainability via integrated transportation and land use simulation models. Environnement Urbain/Urban Environment, 2009(Volume 3).

[5] Karimi, M. and M. Mohammadzadeh, Modeling of Urban Land Use Allocation Using Reference-Point-Nondominated Sorting Genetic Algorithm II. Journal of Geomatics Science and Technology, 2015. 4(4): p. 47-66.

[6] Cao, K., et al., Spatial multi-objective land use optimization: extensions to the non-dominated sorting genetic algorithm-II. International Journal of Geographical Information Science, 2011. 25(12): p. 1949-1969.

[7] Farina, A., Principles and methods in landscape ecology: towards a science of the landscape. Vol. 3. 2008: Springer Science & Business Media.

[8] McGarigal, K. and B.J. Marks, Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-351. US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 1995.

[9] Romme, W.H., Fire and landscape diversity in subalpine forests of Yellowstone National Park. Ecological Monographs, 1982. 52(2): p. 199-221.

[10] Turner, M.G., et al., Effects of changing spatial scale on the analysis of landscape pattern. Landscape ecology, 1989. 3(3-4): p. 153-162.

[11] Stauffer, D. and A. Aharony, Introduction to percolation theory. 1994: CRC press.

[12] Imbernon, J. and A. Branthomme, Characterization of landscape patterns of deforestation in tropical rain forests. International Journal of Remote Sensing, 2001. 22(9): p. 1753-1765.

[13] Herold, M., H. Couclelis, and K.C. Clarke, The role of spatial metrics in the analysis and modeling of urban land use change. Computers, Environment and Urban Systems, 2005. 29(4): p. 369-399.

[14] Wu, J., et al., Quantifying spatiotemporal patterns of urbanization: The case of the two fastest growing metropolitan regions in the United States. Ecological Complexity, 2011. 8(1): p. 1-8.

[15] Coello, C.C., G.B. Lamont, and D.A. Van Veldhuizen, Evolutionary algorithms for solving multi-objective problems. 2007: Springer Science & Business Media.

[16] Collette, Y. and P. Siarry, Multiobjective optimization: principles and case studies. 2013: Springer Science & Business Media.

[17] Coello, C.A.C. and G.B. Lamont, Applications of multi-objective evolutionary algorithms. Vol. 1. 2004: World Scientific.

[18] Deb, K., et al., A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. IEEE transactions on evolutionary computation, 2002. 6(2): p. 182-197.

[19] Z. Masoomi, A.M.S.M., Spatial modeling of urban land use change using NSGA-II algorithm and clustering of the Pareto-front for urban dynamic plans. Journal of Geomatics Science and Technology, 2015. 5(1): p. 139-157.

[20] Thu Bui, L., Multi-Objective Optimization in Computational Intelligence: Theory and Practice: Theory and Practice. 2008: IGI Global.

[21] Herold, M., J. Scepan, and K.C. Clarke, The use of remote sensing and landscape metrics to describe structures and changes in urban land uses. Environment and Planning A, 2002. 34(8): p. 1443-1458.

[22] Alberti, M. and P. Waddell, An integrated urban development and ecological simulation model. Integrated Assessment, 2000. 1(3): p. 215-227.

[23] McGarigal, K. and W.C. McComb, Relationships between landscape structure and breeding birds in the Oregon Coast Range. Ecological monographs, 1995. 65(3): p. 235-260.

[24] Jain, S., et al., Spatial metrics to analyse the impact of regional factors on pattern of urbanisation in Gurgaon, India. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 2011. 39(2): p. 203-212.

[25] Zhang, L., et al., RETRACTED: A GIS-based gradient analysis of urban landscape pattern of Shanghai metropolitan area, China. Landscape and Urban Planning, 2004. 69(1): p. 1-16.

[26] Seto, K.C. and M. Fragkias, Quantifying spatiotemporal patterns of urban land-use change in four cities of China with time series landscape metrics. Landscape ecology, 2005. 20(7): p. 871-888.

[27] Kong, F., et al., Simulating urban growth processes incorporating a potential model with spatial metrics. Ecological Indicators, 2012. 20: p. 82-91.

[28] McGarigal, K., et al., FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for categorical maps. 2002.

[29] Taleai, M., et al., Evaluating the compatibility of multi-functional and intensive urban land uses. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2007. 9(4): p. 375-391.