

# مدل سازی تخصیص کاربری های شهری با استفاده از الگوریتم ژنتیک مرتب سازی نامغلوب نقطه مرجع

ساناز علائی مقدم<sup>۱\*</sup>، محمد کریمی<sup>۲</sup>، علی محمدزاده<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری سیستم های اطلاعات مکانی - دانشکده مهندسی نقشه برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی  
s.alaei@mail.kntu.ac.ir

<sup>۲</sup> استادیار گروه سیستم های اطلاعات مکانی - دانشکده مهندسی نقشه برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی  
mkarimi@kntu.ac.ir

<sup>۳</sup> استادیار گروه فتوگرامتری و سنجش از دور - دانشکده مهندسی نقشه برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی  
a\_mohammadzadeh@kntu.ac.ir

(تاریخ دریافت خرداد ۱۳۹۳، تاریخ تصویب آذر ۱۳۹۳)

## چکیده

برنامه ریزی کاربری اراضی شهری جهت استفاده بهینه از فضای شهری و امکانات موجود، یکی از هسته های اصلی برنامه ریزی شهری می باشد که معمولاً به صورت یک مسئله چندهدفه تعریف می شود. مابین تعداد بیشمار نقشه چیدمان های ممکن کاربری، برنامه ریزان شهری علاقه مند به انتخاب نقشه ای هستند که نزدیک به چیدمان بهینه کاربری از دیدگاه مورد نظر باشد. الگوریتم های بهینه سازی چند هدفه نقطه مرجع این امکان را فراهم می سازند که مقادیر مطلوب برای اهداف مختلف به عنوان یک نقطه مرجع به الگوریتم معرفی گردد و مجموعه راه حل های بهینه نزدیک به نقاط مرجع، بدست آید.

در این تحقیق نحوه به کارگیری الگوریتم ژنتیک مرتب سازی نامغلوب نقطه مرجع به منظور برنامه ریزی کاربری اراضی شهری و میزان کارایی آن در این زمینه، مورد بررسی قرار گرفته و روشی برای کدگذاری کروموزوم ها در این راستا ارائه شده است. پیشینه سازی سازگاری کاربری های مجاور، تناسب فیزیکی زمین، دسترسی به راه ها و مراکز عمده اقتصادی و اجتماعی و کمینه سازی مقاومت در برابر تغییر کاربری به عنوان اهداف اصلی تعریف شدند. سپس مقادیر مطلوب توابع به عنوان نقطه مرجع وارد الگوریتم می شوند. برنامه ریزان قادر خواهند بود با توجه به اولویت های مورد نظر، یکی از نقشه های پیشنهادی برای کاربری اراضی را انتخاب نماید. نتایج مدلسازی تخصیص کاربری اراضی برای شهر شیراز در سال ۱۳۹۰، نشان می دهد که در مدل ارائه شده، تصمیم گیرنده قادر خواهد بود تصمیم بهتر و قابل اطمینان تری، نسبت به زمانی که با یک راه حل مواجه است، اتخاذ نماید. این موضوع نشان دهنده توانایی مدل برای شبیه سازی سناریوهای مختلف برنامه ریزی کاربری است.

**واژگان کلیدی:** برنامه ریزی کاربری شهری، GIS، R-NSGA-II، بهینه سازی چندهدفه مکانی، شیراز

\* نویسنده رابط

## ۱- مقدمه

رشد و گسترش روزافزون و مهارنشده کلان شهرها و در پی آن ساخت و سازهای بی رویه و بدون برنامه ریزی، ضرورت سازمان دهی فضایی و برنامه ریزی دقیق و جامع به منظور هدایت رشد شهری را بیش از پیش آشکار می سازد. هدف نهایی برنامه ریزی شهری و منطقه ای، دستیابی به توسعه پایدار در منطقه است. پایداری در بهینه سازی کاربری را می توان به عنوان تعادلی ما بین توسعه اقتصادی، حفاظت محیط زیست، بهره برداری کارآمد از منابع و عدالت اجتماعی دانست [۱].

برنامه ریزی کاربری اراضی علم تقسیم زمین و مکان برای کاربردها و مصارف مختلف زندگی می باشد؛ به عبارتی برنامه ریزی کاربری را می توان فرایند تخصیص فعالیت ها و یا کاربری های مختلف همانند کشاورزی، صنعت، مسکونی و تفریحی، به واحد مشخصی از زمین در یک ناحیه، تعریف کرد [۲]. فرایند تخصیص کاربری به وسیله تعیین مساحت مورد نیاز (تقاضا) و تناسب زمین (عرضه) و در نظر گرفتن شرایط حاکم بر منطقه مورد مطالعه انجام می گیرد [۳]. بسته به مقیاس مورد مطالعه و نوع منطقه، متغیرهای مختلفی وارد تصمیم گیری می گردد. در اغلب تحقیقات می توان این متغیرها را در پنج دسته تناسب فیزیکی زمین، دسترسی، همسایگی، دشواری تغییر و محدودیت ها جای داد. مطالعات گوناگونی در زمینه مدل سازی تخصیص کاربری بر مبنای متغیرهای فوق انجام گردیده است که غالباً بر پایه اتوماتای سلولی<sup>۱</sup> می باشند [۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹]. علاوه بر اتوماتای سلولی، از پرکاربردترین مدل های مورد استفاده در زمینه مدل سازی تغییر کاربری می توان به رگرسیون لجستیک مکانی [۱۰]، سیستم های عامل مینا [۱۱، ۱۲]، شبکه عصبی [۱۳، ۱۴، ۱۵] و وزن های نشانگر [۱۶] اشاره نمود.

اغلب مدل های فوق کاربری ها را بر پایه تاریخچه تغییرات کاربری منطقه، تخصیص می دهند. ادامه روند موجود در منطقه مشکلات مختلف محیطی در پی دارد [۱۷]. مدل های بهینه سازی، به دنبال تخصیص کاربری ها در جهت بهینه نمودن اهداف مختلف محیطی، بیولوژیکی، اقتصادی و غیره می باشند. در بحث تخصیص کاربری، اهداف مختلفی مطرح می گردند که اغلب برخی از

آنها با یکدیگر تضاد دارند. به عنوان نمونه غالباً اهدافی که در حوزه اقتصادی تعریف می شوند با اهدافی که در حوزه اکولوژیکی و زیست محیطی قرار می گیرند، در تضاد هستند [۱۸، ۱۹]. لذا می توان تخصیص کاربری را در حوزه مسائل بهینه سازی چند هدفه قرار داد. اشلاگر در سال ۱۹۶۵، برنامه ریزی خطی<sup>۲</sup> را به منظور برنامه ریزی کاربری چندهدفه استفاده نمود. مدل اشلاگر، توسط محققان مختلفی توسعه و بهبود یافته است [۲۰، ۲۱، ۲۲]. در این مدل، اهداف مختلف توسط وزن هایی با یکدیگر ترکیب می گردند. دشواری تعریف وزن ها توسط برنامه ریزان، مواجه بودن با مجموعه راه حل<sup>۳</sup> های بهینه غیر محدب<sup>۴</sup> و ارائه تنها یک راه حل از مهمترین معایب برنامه ریزی خطی می باشد.

از طرف دیگر برای حل مسائل بهینه سازی چندهدفه، مدل هایی بر مبنای جبهه پرتو ارائه گردیدند. این مدل ها معمولاً مستقل از اهمیت نسبی اهداف هستند، استفاده از آنها برای حل مسائل پیچیده مانند برنامه ریزی کاربری، مناسب به نظر می رسد. مدل هایی مانند تبرید شبیه سازی شده<sup>۵</sup> [۲۳]، جستجوی تابو<sup>۶</sup>، الگوریتم ژنتیک چند هدفه [۲۴، ۲۵، ۲۶، ۲۷، ۱۷]، الگوریتم ژنتیک مرتب سازی نامغلوب<sup>۷</sup> [۱] و الگوریتم ازدحام ذرات چند هدفه<sup>۸</sup> [۲۸] به منظور برنامه ریزی تخصیص کاربری به کار گرفته شده اند. از بین مدل های فوق، مدل های مبتنی بر ژنتیک، بیشتر از سایر مدل ها مورد استفاده قرار گرفته و نتایج قابل قبول تری ارائه نموده اند.

در الگوریتم های بهینه سازی چندهدفه، چنانچه فضای جستجو بزرگ باشد، برای رسیدن به جواب بهینه، جمعیت اولیه بزرگی انتخاب می گردد. لذا یکی از چالش های اصلی در زمینه به کارگیری الگوریتم های تکاملی چند هدفه، انتخاب راه حل بهینه از بین مجموعه جواب های پرتو است. دب و همکاران [۲۹] جهت حل این مشکل روشی ارائه داده اند که با استفاده از آن می توان نقاطی را به عنوان نقاط مرجع در فضای اهداف، معرفی نمود. این نقاط با معرفی میزان مطلوب برای هر تابع هدف

<sup>۲</sup> Linear Programming

<sup>۳</sup> Solution

<sup>۴</sup> Non-convex

<sup>۵</sup> Simulated Annealing

<sup>۶</sup> Tabu Search

<sup>۷</sup> Non dominant Sorting Genetic Algorithm

<sup>۸</sup> Multi Objective Particle Swarm Optimization

<sup>۱</sup> Cellular Automata

در بخش دو، مبانی تئوری الگوریتم‌های بهینه‌سازی چندهدفه نقطه مرجع بیان و در بخش سه شهر شیراز به عنوان منطقه مورد مطالعه معرفی می‌شود. در بخش ۴ مراحل و نتایج پیاده‌سازی مدل ارائه و در نهایت در بخش آخر، نتیجه‌گیری تحقیق و پیشنهاداتی برای کارهای آینده بیان می‌گردد.

## ۲- الگوریتم‌های بهینه‌سازی چند هدفه نقطه مرجع

در این قسمت ابتدا مفاهیم تئوری بهینه‌سازی تکاملی چندهدفه و NSGA-II به طور اجمالی مرور و پس از آن مبانی نظری الگوریتم R\_NSGA-II ارائه می‌شود.

### ۲-۱- بهینه‌سازی تکاملی چند هدفه

مطالعات مسائل چند هدفه اولین بار توسط پرتو (۱۸۹۶) انجام گردید. هدف اصلی یک مساله بهینه‌سازی چند هدفه، بهینه کردن تمامی اهداف به طور همزمان است [۳۳]. لذا در مسائلی از این دست، به جای بدست آوردن یک جواب برای مساله، مجموعه‌ای از جواب‌ها که جبهه پرتو<sup>۲</sup> یا جواب‌های نامغلوب<sup>۳</sup> نامیده می‌شود، بدست می‌آید [۳۴]. یک مساله بهینه‌سازی چندهدفه را می‌توان با استفاده از روابط زیر نشان داد:

$$\min/\max f(x) = [f_1(x), f_2(x) \dots f_n(x)]^T$$

$$\text{subject to } x \in S$$

$f$  برداری از  $n$  تابع هدف  $f_1, f_2, \dots, f_n$  برداری از متغیرهای تصمیم‌گیری و  $S$  مجموعه‌ای از تمام راه‌حل‌های ممکن است. با توجه به روابط فوق،  $x_i$  چنانچه دارای شرایط زیر باشد، یک جواب نامغلوب است [۳۵]:

(۱) جواب  $x_i$  در تمامی اهداف نباید بدتر از  $x_j$  باشد؛ به عبارتی  $f_k(x_j) \leq f_k(x_i)$  برای تمامی  $k \in \{1, 2, \dots, n\}$  برقرار باشد.

(۲) جواب  $x_i$  در حداقل یک هدف، بهتر از جواب  $x_j$  باشد؛ به عبارتی  $f_k(x_j) < f_k(x_i)$  برای حداقل یک  $k \in \{1, 2, \dots, n\}$  برقرار باشد.

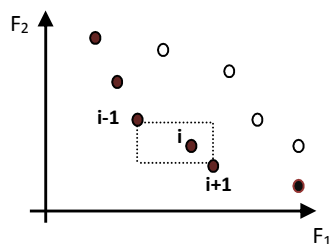
از طرف کاربر تعیین می‌گردد. نتیجه پیاده‌سازی این روش، ارائه راه‌حلی نزدیک به مقدار مورد نظر کاربر است، در نتیجه کاربر قادر خواهد بود، به جای انتخاب از بین مجموعه جواب‌های پرتویی که در فضای اهداف گسترده شده‌اند، به انتخاب بین مجموعه جواب‌های بهینه‌ای که نزدیک آنچه مطلوب او است، بپردازد و متمرکز به ناحیه مورد نظرش در فضای اهداف گردد [۲۹]. از اینرو تصمیم‌گیرنده قادر خواهد بود که تصمیم بهتر و قابل اطمینان‌تری حاصل کند [۲۹]. با ارائه چند راه‌حل، امکان مشاهده نتایج سناریوهای مختلف مدل‌سازی، در قالب نقشه‌های کاربری مختلف و مقایسه آنها فراهم می‌گردد. تصمیم‌گیرنده، با ارائه چنین نقاط مرجعی به عنوان سرنخ و نشانه در ابتدای کار، به دنبال انتخاب راه‌حلی در ناحیه مورد نظرش است.

الگوریتم‌های بهینه‌سازی چندهدفه نقطه مرجع در حوزه‌های گوناگونی مانند مسائل مهندسی [۳۰]، تصمیم‌گیری گروهی [۳۱] و طراحی صنعتی [۳۲] مورد استفاده قرار گرفته‌اند. با توجه به مزایای روش فوق، ماهیت مساله تخصیص کاربری و از آنجایی که تاکنون استفاده از این نوع الگوریتم، در زمینه مدل‌سازی تخصیص کاربری، مورد بررسی قرار نگرفته است، در این تحقیق عملکرد الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه نقطه مرجع به عنوان روشی جدید جهت تهیه نقشه کاربری‌های شهری مورد ارزیابی قرار گرفته است. با توجه به ویژگی‌های الگوریتم ژنتیک و متداول بودن استفاده از آن در زمینه مدل‌سازی تخصیص کاربری، در این تحقیق الگوریتم چند هدفه نقطه مرجع مبتنی بر ژنتیک به نام الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب نقطه مرجع<sup>۱</sup> مورد استفاده قرار گرفته و روشی برای کدگذاری کروموزوم‌ها و به کارگیری عملگرهای ژنتیکی برای این منظور، ارائه شده است. مدل ارائه شده برای تهیه نقشه کاربری شهر شیراز استفاده شده است و اهداف اصلی در تخصیص کاربری‌های شهری، شامل پیشینه‌سازی سازگاری بین کاربری‌های مجاور، تناسب زمین، دسترسی به راه‌ها و مراکز عمده اقتصادی و اجتماعی و کمینه‌سازی دشواری تغییر از کاربری موجود به کاربری مورد نظر، مدل‌سازی شده‌اند.

<sup>۲</sup> Pareto Front  
<sup>۳</sup> Non-dominated answers

<sup>۱</sup> Reference point Non dominant Sorting Genetic Algorithm

در ادامه این مرحله فاصله ازدحام برای هر فرد محاسبه می گردد. برای تعیین فاصله ازدحام، متوسط نزدیک ترین افراد در دو طرف نقطه مزبور برای کلیه توابع مطلوبیت در نظر گرفته می شود. کمیت فاصله ازدحام مبین اندازه بزرگ ترین فرا مستطیلی است که اولاً فرد می گیرد و ثانياً هیچ فرد دیگری را دربر نمی گیرد. شکل زیر این مفهوم را برای دو تابع مطلوبیت نشان می دهد.



شکل ۱- مفهوم فاصله ازدحام

در مرحله سوم، از میان جواب های هر نسل، تعدادی از آن ها با استفاده از روش انتخاب تورنمنت باینری انتخاب می شوند. در روش انتخاب تورنمنت باینری، دو جواب به تصادف از میان جمعیت انتخاب و سپس میان این دو جواب، مقایسه ای انجام و در نهایت جواب برتر انتخاب می گردد. معیارهای انتخاب در الگوریتم NSGA-II در درجه اول، رتبه جواب و در درجه دوم فاصله ازدحام مربوط به جواب است. جوابی مطلوب تر است که دارای رتبه کمتر و فاصله ازدحام بیشتری باشد.

در مرحله چهارم، با تکرار عملگر انتخاب تورنمنت بر روی جمعیت هر نسل، مجموعه ای از افراد آن نسل برای شرکت در ترکیب<sup>۲</sup> و جهش<sup>۳</sup> انتخاب می شوند. بر روی بخشی از مجموعه افراد انتخاب شده، عمل ترکیب و بر روی باقی، عمل جهش انجام و جمعیتی از فرزندان و جهش یافتگان ایجاد می شود.

در مرحله پنجم، این جمعیت با جمعیت اولیه ادغام شده و اعضای جمعیت جدید، ابتدا برحسب رتبه و به صورت صعودی مرتب می شوند. سپس اعضای از جمعیت که دارای رتبه یکسانی هستند، بر حسب فاصله ازدحام و به صورت نزولی مرتب می گردند. حال اعضای جمعیت در درجه اول بر حسب رتبه و در درجه دوم بر حسب فاصله تراکمی مرتب سازی شده اند. در مرحله آخر، به تعداد افراد

روش های مختلفی برای حل مسائل بهینه سازی چندهدفه وجود دارد. روش های کلاسیک برای حل این مسائل، مانند تابع ارزش، مجموع وزندار، برنامه ریزی آرمانی، مسائل چندهدفه را به مساله تک هدفه تبدیل کرده و مساله تک هدفه جدید را بهینه می کنند. این روش ها منجر به ارائه یک راه حل می گردند که وابسته به وزن های اختصاص داده شده است. در مقابل روش های تکاملی قرار دارند. امکان یافتن چندین راه حل در یک اجرای الگوریتم، از ویژگی های مهم این روش ها است که منجر به استفاده وسیع آن ها در حل مسائل بهینه سازی چند هدفه گردیده است [۳۶]. روش الگوریتم ژنتیک مرتب سازی نامغلوب (NSGA-II) من جمله الگوریتم های تکاملی بهینه سازی است.

## ۲-۲- مبانی NSGA-II

NSGA-II که نسخه بهبود یافته NSGA است، اولین بار توسط دب و همکاران [۳۷] توسعه داده شده است. این الگوریتم یکی از پرکاربردترین الگوریتم های تکاملی چند هدفه است. تعریف فاصله تراکم<sup>۱</sup>، استفاده از عملگر انتخاب تورنمنت و ذخیره و آرشیو کردن جواب های نامغلوب که در مراحل قبلی الگوریتم به دست آمده اند (نخبه گرایی)، از ویژگی های عمده این الگوریتم می باشند.

در مرحله اول الگوریتم NSGA-II جمعیت اولیه تولید می گردد. در مرحله دوم، به هر فرد از جمعیت یک رتبه و یک فاصله ازدحام تخصیص داده می شود. نحوه محاسبه رتبه به این صورت است که برای هر فرد  $i$  دو مشخصه  $n_i$  و  $S_i$  محاسبه شود.  $n_i$  تعداد افراد غالب بر  $i$  و  $S_i$  مجموعه افراد مغلوب  $i$  می باشند. افرادی که دارای  $n_i = 0$  هستند، جبهه پرتو اول یا  $f_1$  می باشند. اکنون برای هر فرد عضو  $f_i$  مجموعه مغلوب  $S_i$  را در نظر گرفته و  $n_j$  مربوط به زامین عضو آن یک واحد کاهش داده می شود. افرادی که در آنها  $n_j = 0$  است به مجموعه  $H$  تعلق خواهند یافت. بعد از تکمیل  $H$  برای کلیه اعضای  $f_1$  می توان گفت  $H$  جبهه پرتو دوم می باشد. برای ادامه کار  $f_1$  کنار گذاشته شده و  $H$  به عنوان جبهه پرتو اول منظور و فرآیند فوق برای باقیمانده اعضا تکرار می شود.

<sup>۲</sup> Crossover  
<sup>۳</sup> Mutation

<sup>۱</sup> Crowding Distance

جمعیت اولیه، بالاترین اعضای فهرست مرتب شده، به عنوان جمعیت نسل بعد، انتخاب می‌گردند. چرخه مذکور، تا محقق شدن شرایط خاتمه، تکرار می‌گردد.

## ۲-۳- الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب نقطه مرجع (R-NSGA-II)

همانطور که در مقدمه اشاره شد، دب و همکاران [۲۹] روشی ارائه دادند که با استفاده از آن می‌توان نقاطی را به عنوان نقاط مرجع در فضای اهداف، معرفی نمود. نتیجه پیاده‌سازی روش، ارائه راه‌حلی نزدیک به مقدار مورد نظر کاربر است. با معرفی نقطه مرجع از طرف کاربر، همانند این است که سرخ یا نشانه‌ای در رابطه با جواب بهینه ارائه شده است. در این حالت به جای اینکه کاربر به دنبال یافتن نقاطی در ناحیه مورد نظر خود در فضای اهداف باشد، تعداد زیادی راه حل در ناحیه مطلوبش بدست می‌آورد [۲۹]. برنامه‌ریزی آرمانی<sup>۱</sup> در مقایسه با این روش، قادر به تولید جبهه پرتو نبوده و فقط به دنبال جوابی است که تارگت را تامین می‌کنند، در حالی که تصمیم‌گیرنده با معرفی سرخ از آن چه در ذهن اوست، به دنبال تنها یک جواب نیست.

اصلی‌ترین تفاوت در مراحل الگوریتم NSGA-II و R-NSGA-II در تکنیک محاسبه فاصله ازدحام می‌باشد. در R-NSGA-II، پس از ترکیب والدین، کروموزوم‌ها در راستای دسته‌بندی جمعیت به سطوح مختلف نامغلوبی، مرتب می‌شوند. سپس تعدادی از جواب‌های بهترین سطح غیر مغلوب براساس رتبه آنها انتخاب گشته و یک عملگر ازدحام جمعیت توسعه یافته برای انتخاب جواب‌ها از جبهه آخر استفاده می‌شود. ایده اصلی انتخاب مجموعه‌ای از جواب‌های ارجح با استفاده از عملگر ازدحام، این است که جواب‌های نزدیک به نقاط مرجع، بیشتر مورد تاکید قرار گیرند (وزن بیشتری خواهند داشت) و جواب‌هایی که در همسایگی  $\epsilon$  از نقطه مرجع قرار دارند، به منظور حفظ تراکم در نزدیکی نقاط مرجع، کم اهمیت‌تر می‌گردند. به منظور نیل به دو ایده مذکور، تکنیک محاسبه فاصله ازدحام در الگوریتم NSGA-II همانند مراحل زیر توسعه می‌یابد [۲۹]:

**گام اول:** برای هر نقطه مرجع معرفی شده توسط کاربر، فاصله اقلیدسی هر کدام از راه‌حل‌های فرانت تا آن نقطه محاسبه می‌گردد. سپس راه‌حل‌ها، بر اساس این فاصله، به طور صعودی مرتب و رتبه‌بندی می‌شوند. طوریکه به نزدیک‌ترین جواب به نقطه مرجع، رتبه یک اختصاص یابد.

**گام دوم:** پس از اینکه محاسبات فوق برای تمام نقاط مرجع انجام گردید، فاصله جواب‌هایی با کمترین رتبه‌های اختصاص یافته، به عنوان فاصله‌های ارجح به جواب انتخاب می‌شوند. به این ترتیب، جواب‌های نزدیک به تمام نقاط مرجع، رتبه یک از نظر کوتاهتر بودن فاصله ارجح را به خود اختصاص می‌دهند. جواب‌هایی که فاصله بیشتری از کوچکترین فاصله اقلیدسی دارند، رتبه دو کوچکترین فاصله ارجح را به خود اختصاص می‌دهند و به همین ترتیب الی آخر. از این‌رو در مرحله انتخاب تورنومنتی و تشکیل والدین، جواب‌هایی با فاصله ارجحیت کمتر دارای شانس بیشتری هستند.

**گام سوم:** به منظور کنترل جواب‌ها، پارامتری به نام  $\epsilon$  استفاده می‌گردد. ابتدا یک راه حل تصادفی، از مجموعه نامغلوب انتخاب می‌شود. سپس، به تمام جواب‌هایی که مجموع تفاوت مقادیر هدف آنها با مقادیر هدف جواب انتخاب شده برابر با  $\epsilon$  یا کمتر از آن باشد، مقدار مبالغه آمیزی به عنوان فاصله ارجح داده می‌شود. این مقدار جهت تشویق آن‌ها برای پایداری است.

## ۳- پیاده‌سازی و آزمون عملی

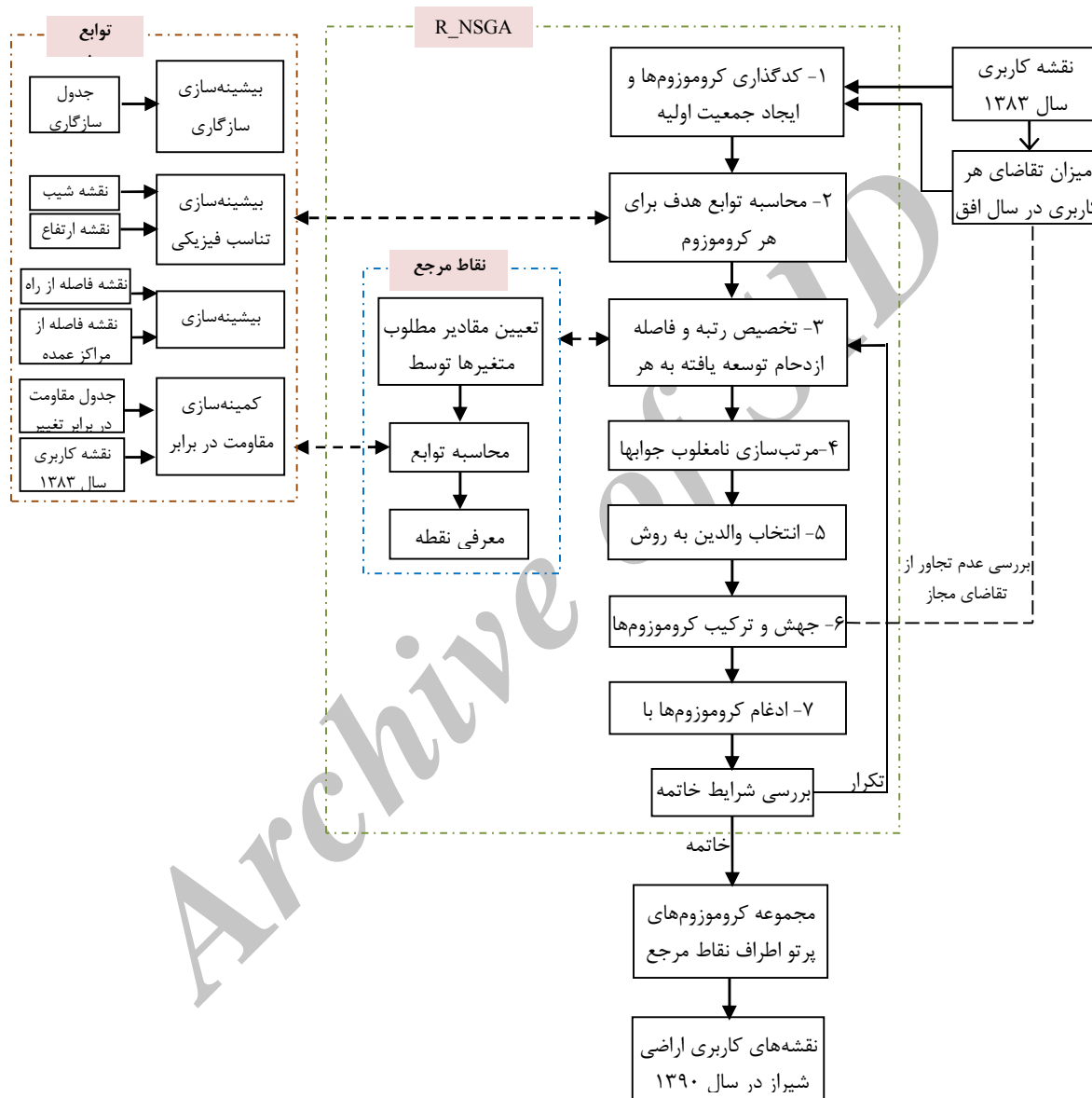
در این بخش هدف ارائه نقشه کاربری اراضی پیشنهادی به منظور بهینه‌سازی چهار هدف بیشینه‌سازی سازگاری کاربری‌های مجاور، بیشینه‌سازی مناسب بودن زمین برای کاربری مورد نظر، بیشینه‌سازی دسترسی به مراکز عمده و راه‌ها و کمینه‌سازی مقاومت در برابر تغییر کاربری و با در نظر گرفتن شرط تامین تقاضای مورد نیاز برای هر کاربری در محدوده تخصیص با استفاده از الگوریتم R-NSGA-II می‌باشد.

مراحل انجام تحقیق در شکل ۲ نمایش داده شده است. ابتدا با استفاده از روش ارائه شده برای کدگذاری کروموزوم‌ها، جمعیت اولیه کروموزوم‌ها و به عبارتی نقشه‌های چیدمان کاربری اراضی، ایجاد می‌گردد. در

<sup>۱</sup> Goal Programming

می گردند. سپس کروموزوم های برتر تولید شده، با درصدی از جمعیت اولیه که وارد الگوریتم نشده اند، ترکیب شده و مراحل تکرار می گردد. پس از توقف الگوریتم، جمعیتی از نقشه های کاربری اراضی شهر، که نزدیک ترین چیدمان ها به نقاط مرجع معرفی شده، می باشند، به عنوان خروجی تولید می شود. در ادامه، مراحل فوق، به تفصیل بیان می شوند.

مرحله بعد پس از تعریف توابع هدف، نقطه مرجع مورد نظر با استفاده از تعیین مقادیر مطلوب برای توابع هدف، به مدل معرفی می گردد. سپس با استفاده از عملگر فاصله ازدحام توسعه یافته، به هر کروموزوم رتبه ای اختصاص داده می شود. در مرحله بعدی، عملگرهای جهش و ترکیب بر روی کروموزوم های منتخب به روش تورنمنت، اعمال



شکل ۲- مراحل انجام تحقیق

### ۳-۱- محدوده مورد مطالعه

سرشماری مرکز آمار ایران در سال ۱۳۸۵، جمعیت این شهر بالغ بر ۱۲۱۴۸۰۸ نفر تعیین شده و این تعداد در سال ۱۳۸۸ به ۱۴۵۵۰۷۳ نفر افزایش یافته است. اطراف شیراز را رشته کوه های نسبتاً مرتفعی به شکل حصار احاطه کرده اند. از سمت شمال به کوه های بمو، سبز-

شهر شیراز، مرکز استان فارس، با مساحتی بالغ بر ۱۲۶۸ کیلومتر مربع، یکی از کلان شهرهای ایران می باشد. این شهر در جنوب غربی ایران و در بخش مرکزی استان فارس واقع شده است (شکل ۳). بر پایه ی آخرین

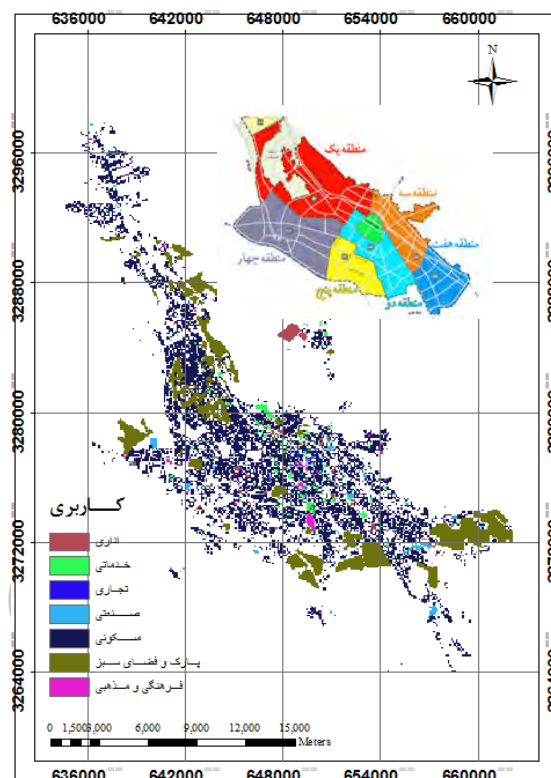
کاربری‌های صنعتی زیادی در سطح شهر و حتی در بخش‌های مرکزی شهر مشاهده می‌شود. این کاربری‌ها علاوه بر ایجاد آلودگی هوا و آلودگی صوتی، منجر به افزایش ترافیک و تردد در سطح شهر می‌گردد.

### ۳-۲- کدگذاری کروموزوم‌ها

در این تحقیق، واحد زمین پیکسل‌های مربعی با ابعاد ۱۰۰ متر مربع، در نظر گرفته شده‌است و کاربری‌های شهر شیراز، در هشت دسته اداری، خدماتی (شامل آتشنشانی، انتظامی، درمانی، آموزشی، هتل یا مهمان پذیر، پارکینگ، ورزشی)، تجاری، صنعتی، مسکونی، پارک و فضای سبز، فرهنگی و مذهبی و بایر قرار گرفته‌اند (شکل ۴).

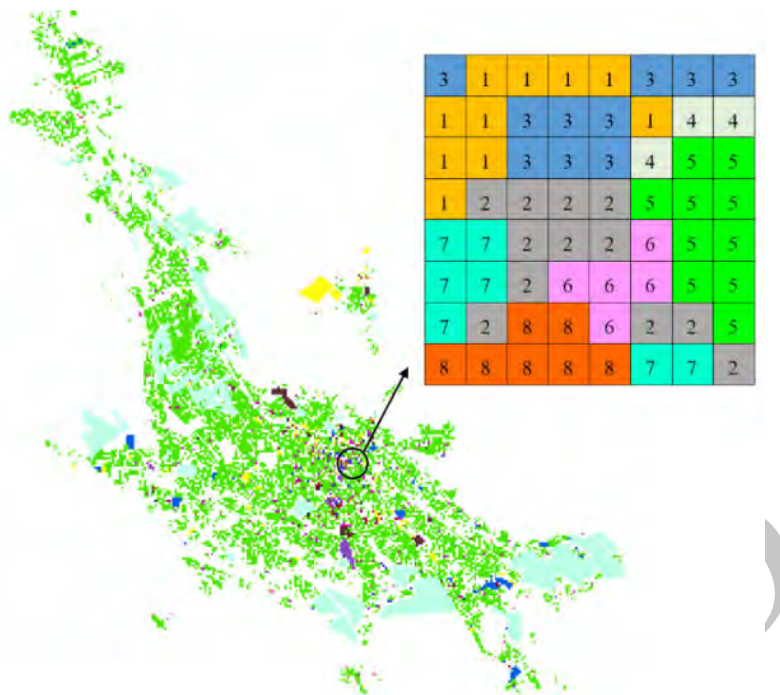
کدگذاری کروموزوم‌های ارائه شده در این تحقیق، به صورت گسسته بوده و هر کروموزوم معرف یک نقشه کاربری می‌باشد. در واقع ژن‌های (متغیرهای) کروموزوم اعداد ۱ تا ۸ هستند که هر عدد معرف یک کاربری می‌باشد. در شکل ۴، نمونه‌ای از کدگذاری کروموزوم در این تحقیق ارائه شده است. جمعیت اولیه در این تحقیق، مجموعه‌ای از نقشه‌های کاربری شهر شیراز است. جهت تشکیل هر کروموزوم از جمعیت اولیه، ابتدا کلیه پیکسل‌های دارای کاربری بایر در محدوده مجاز (که در بخش ۳-۳ مشخص شده است)، بعلاوه ۲۰ درصد از پیکسل‌های دارای کاربری غیر بایر که به صورت تصادفی انتخاب گردیده‌اند، شناسایی و سپس به طور تصادفی کاربری‌های جدیدی به آنها طوری تخصیص داده می‌شود که با تقریب مناسبی میزان تقاضای محاسبه شده در بخش ۳-۳ تامین گردد. لازم به توضیح است که محدودیت‌هایی نظیر عدم تغییر کاربری مذهبی و تاریخی در نظر گرفته شده است. در ادامه پس از تعریف توابع هدف و قیود و محدودیت‌ها، جزئیات پیاده‌سازی ارائه می‌شود.

پوشان، چهل مقام و باباکوهی و از سمت غرب به کوه دراک محدود شده‌است. این شهر در مختصات جغرافیایی ۲۹ درجه و ۳۶ دقیقه شمال و ۵۲ درجه و ۳۲ دقیقه شرقی واقع شده و ارتفاع آن از سطح دریا بین ۱۴۸۰ و ۱۶۷۰ متر در نقاط مختلف شهر متغیر است.



شکل ۳- منطقه مورد مطالعه (شهر شیراز)

همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، بخش اعظمی از کاربری‌های این شهر مسکونی می‌باشد و پس از آن پارک‌ها و فضای سبز بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده‌اند. با توجه به توریستی و مذهبی بودن شهر شیراز، بخش قابل ملاحظه‌ای از زمین‌های این شهر در دسته کاربری‌های توریستی و مذهبی قرار می‌گیرند. اغلب کاربری‌های تجاری، خدماتی و اداری متمرکز در بخش مرکزی شهر می‌باشند و فضای سبز و پارک در مرکز شهر به ندرت دیده می‌شود. همین موضوع منجر به افزایش ترافیک در این ناحیه از شهر گردیده‌است. همچنین



شکل ۴- نمونه‌ای از کدگذاری کروموزوم‌ها

## ۳-۳- توابع هدف

با توجه به مطالب ارائه شده در بخش ۲، در این تحقیق چهار هدف به منظور برنامه‌ریزی کاربری‌ها در نظر گرفته شده است. در ادامه هر یک از اهداف تعریف و نحوه محاسبه آن بیان می‌شوند.

## ۳-۳-۱- سازگاری کاربری‌های مجاور

هر کاربری دارای سطحی از سازگاری با کاربری‌های همسایه خود می‌باشد. در واقع سازگاری به معنی نداشتن اثر منفی کاربری‌های مجاور بر روی یکدیگر است [۲۸]. معمولا سازگاری توسط ماتریسی بین کاربری‌ها تعریف می‌شود. ماتریس سازگاری استفاده شده در این تحقیق، که توسط کارشناسان شهرسازی تکمیل گردیده، همانند جدول ۱ است.

جدول ۱- سازگاری بین کاربری‌های شهر شیراز

اداری	خدماتی	تجاری	صنعتی	مسکونی	پارک و فضای سبز فرهنگی و مذهبی	بایر
اداری	بالا	متوسط	متوسط	بالا	متوسط	بسیار پایین
خدماتی	متوسط	بسیار بالا	متوسط	بسیار بالا	بالا	بسیار پایین
تجاری	متوسط	بالا	بسیار بالا	پایین	متوسط	بسیار پایین
صنعتی	متوسط	متوسط	پایین	بسیار بالا	پایین	بالا
مسکونی	بالا	بسیار بالا	متوسط	بسیار پایین	بسیار بالا	پایین
پارک و فضای سبز	متوسط	متوسط	متوسط	پایین	بسیار بالا	پایین
فرهنگی و مذهبی	متوسط	بالا	بالا	پایین	بسیار بالا	بسیار پایین
بایر	بسیار پایین	بسیار پایین	بسیار پایین	بالا	بسیار پایین	بسیار بالا

جدول ۲- وزن‌های محاسبه شده برای سطوح سازگاری، توسط روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی

بسیار بالا	بالا	متوسط	پایین	بسیار پایین	متوسط هندسی امتیاز
۱	۲	۳	۴	۵	۰/۴۱۸
۰/۵	۱	۲	۳	۴	۰/۲۶۴
۰/۳۳	۰/۵	۱	۲	۳	۰/۱۵۹
۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۵	۱	۲	۰/۰۹۷
۰/۲	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۵	۱	۰/۰۶۲



شده جهت محاسبه میزان تناسب فیزیکی زمین برای کاربری‌های تخصیص داده شده به آن، در جدول ۳ ارائه شده است.

برای هر نقشه کاربری و یا به عبارتی هر کروموزوم، میانگین ارتفاع و شیب در محدوده تخصیص کاربری، محاسبه می‌گردد. این دو مقدار ورودی سیستم استنتاجگر فازی بوده و خروجی میزان تناسب فیزیکی زمین برای نقشه کاربری مورد نظر است.

### ۳-۳-۳- دسترسی به مراکز عمده و راه‌ها

میزان دسترسی یک منطقه به راه‌های ارتباطی و مراکز عمده اقتصادی و اجتماعی همانند مراکز تجاری، پارک‌ها، مراکز درمانی و غیره یکی دیگر از اهدافی است که در تخصیص کاربری مد نظر قرار می‌گیرد. در این تحقیق دسترسی به آزاد راه‌ها، بزرگراه‌ها، خیابان‌های اصلی و فرعی و مراکز عمده اقتصادی و اجتماعی شامل مراکز تجاری عمده، مذهبی، فرهنگی و پارک‌ها مورد نظر است. نقشه مراکز عمده اقتصادی و اجتماعی و راه‌ها شهر شیراز و نقشه فاصله مراکز عمده اقتصادی و اجتماعی و فاصله از راه‌ها در شکل ۷ نمایش داده شده‌اند.

به منظور تعریف دسترسی برای کاربری‌ها، همانند تابع هدف تناسب فیزیکی زمین، از کارشناسان شهرسازی کمک گرفته شده و نظرات آنها در غالب یک سیستم استنتاجگر فازی مدل گردیده‌است. سه تابع عضویت مثلثی، همانند شکل ۸، برای متغیر فاصله از راه‌ها و فاصله از مراکز عمده تعیین گردیده‌است. مجموعه قوانین فازی استفاده شده جهت محاسبه میزان دسترسی برای کاربری‌های تخصیص داده شده به آن، در جدول ۴ ارائه شده است.

برای هر نقشه کاربری و یا به عبارتی هر کروموزوم، میانگین فاصله کاربری‌ها از راه‌های اصلی و فاصله کاربری‌ها از مراکز عمده در محدوده تخصیص کاربری، محاسبه می‌گردد. این دو مقدار ورودی سیستم استنتاجگر فازی بوده و خروجی میزان تناسب دسترسی برای نقشه کاربری مورد نظر است.

در نهایت با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی<sup>۱</sup> سطوح سازگاری کمی شده‌اند (جدول ۲). جزئیات روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی را می‌توان در منابع بسیاری من جمله ساعتی و وارگاس [۳۸] یافت. تابع هدف بیشینه‌سازی سازگاری یک نقشه کاربری همانند رابطه ۱ محاسبه می‌گردد [۲۸]:

$$\max \left( \sum_{ij} \sum_{kl} C_{ij,kl} \right) + \min C_{ij,kl} \quad (1)$$

$C_{ij,kl}$  بیانگر سازگاری کاربری پیکسل  $i, j$  با کاربری پیکسل  $k, l$  است و با استفاده از رابطه ۲ محاسبه می‌گردد [۲۸]:

$$C_{ij,kl} = S_{cij,ckl} * f(d_{ij,kl}) \quad (2)$$

در رابطه فوق  $S_{cij,ckl}$  سازگاری دو کاربری طبق جدول ۱ و ۲، و  $d_{ij,kl}$  فاصله بین دو پیکسل است.  $f(d_{ij,kl})$  با استفاده از رابطه ۳ محاسبه می‌گردد:

$$f(d_{ij,kl}) = \begin{cases} \sqrt{\frac{d_{ij,kl}}{(l-j)^2 + (k-i)^2}} & d_{ij,kl} \leq d_{ij,kl}^{max} \\ 0 & d_{ij,kl} \geq d_{ij,kl}^{max} \end{cases} \quad (3)$$

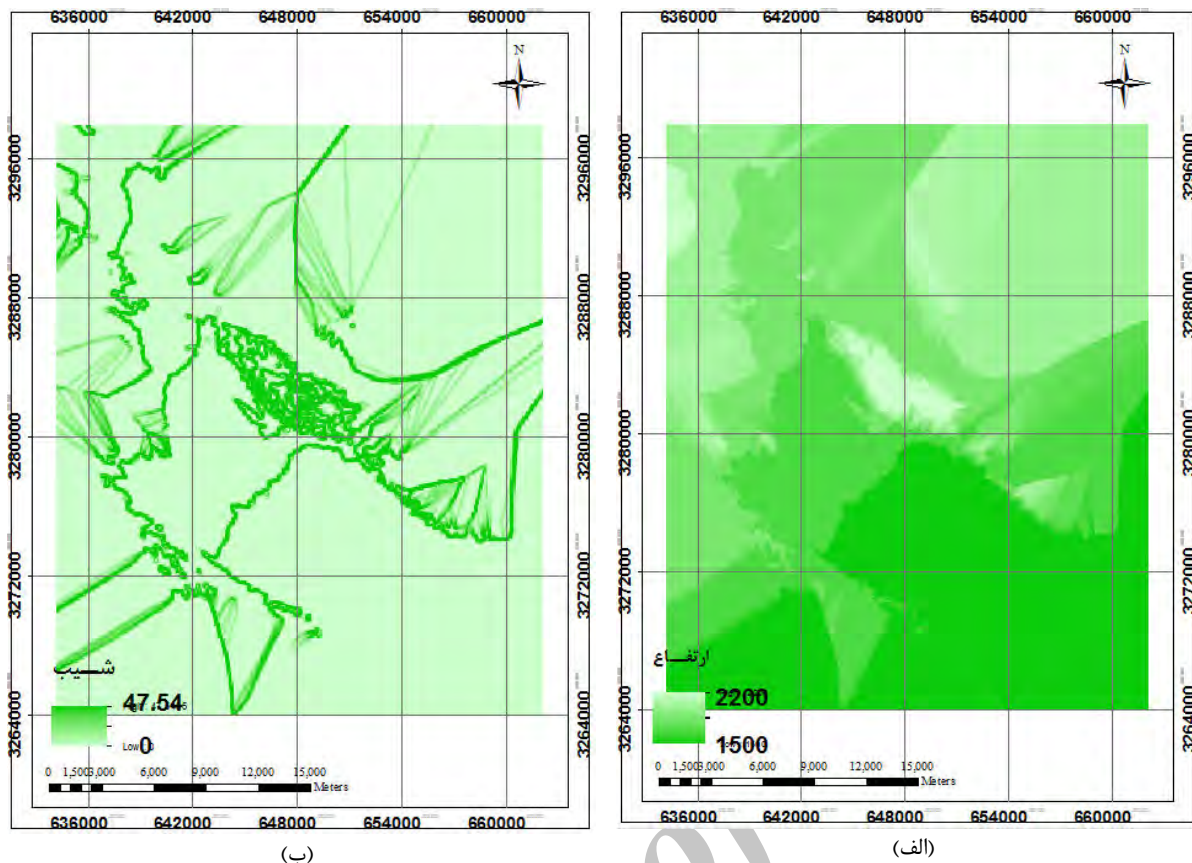
در این تحقیق  $d_{ij,kl}^{max}$  که بیشینه فاصله است، برابر با ۳ پیکسل در نظر گرفته شده‌است.

### ۳-۳-۲- تناسب فیزیکی زمین

یکی دیگر از عوامل موثر در تخصیص کاربری، تناسب زمین از نظر فاکتورهایی مانند ارتفاع، جنس، شیب، آب و هوا، برای کاربری مورد نظر است. در این تحقیق فاکتور ارتفاع و شیب، همانند شکل ۵، به منظور تعیین تناسب زمین برای کاربری در نظر گرفته شده‌است. از کارشناسان شهرساز جهت تعیین تناسب زمین برای کاربری‌های مختلف کمک گرفته شده‌است. با توجه به اینکه اغلب کارشناسان مناسب بودن ارتفاع و شیب را با متغیرهای زبانی بیان می‌کنند، نظرات آنها در غالب یک سیستم استنتاجگر فازی ممدانی مدل شده است.

سه تابع عضویت مثلثی، همانند شکل ۶، برای متغیر شیب و ارتفاع تعیین گردید. مجموعه قوانین فازی استفاده

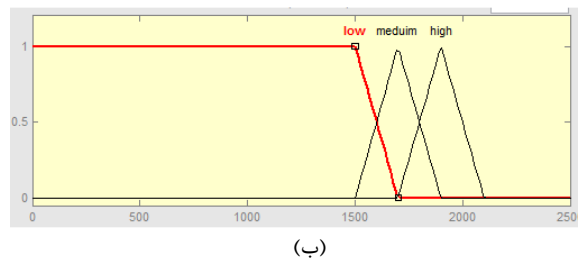
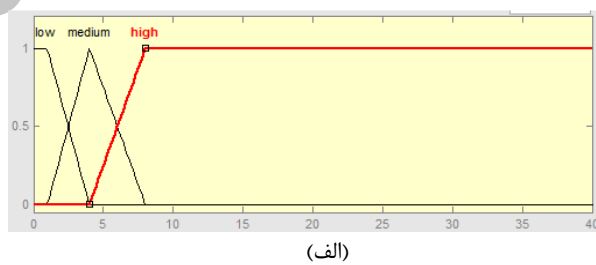
<sup>۱</sup> AHP (Analytic Hierarchy Process)



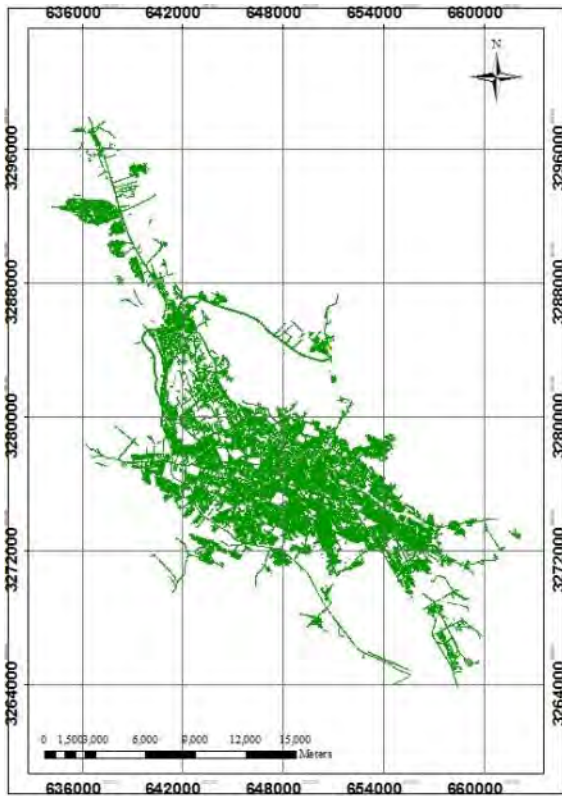
شکل ۵- نقشه (الف) ارتفاع و (ب) شیب شهر شیراز

جدول ۳- قوانین سیستم استنتاجگر فازی جهت محاسبه میزان تناسب فیزیکی زمین

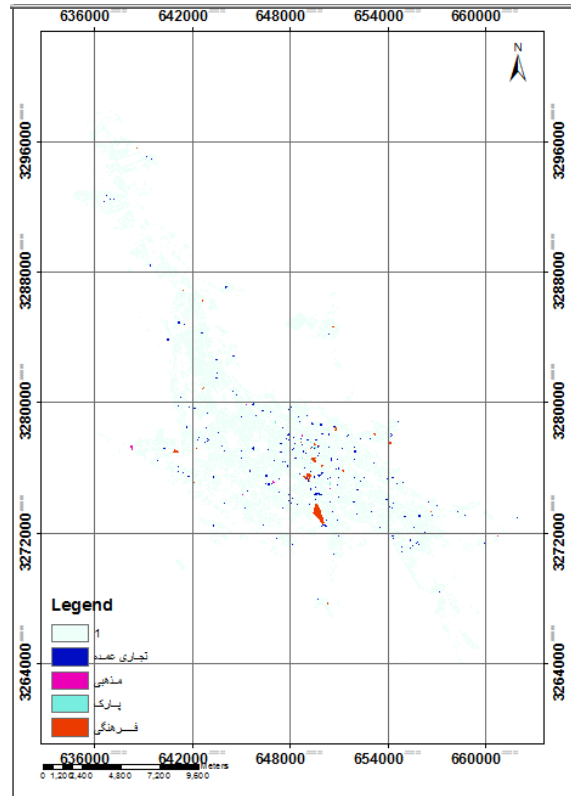
تناسب	شیب	ارتفاع
۶ مناسب	کم ۳	کم ۳
۵ مناسب	متوسط ۲	کم ۳
۴ متوسط	زیاد ۱	کم ۳
۵ مناسب	کم ۳	متوسط ۲
۴ متوسط	متوسط ۲	متوسط ۲
۳ متوسط	زیاد ۱	متوسط ۲
۴ متوسط	کم ۳	زیاد ۱
۳ متوسط	متوسط ۲	زیاد ۱
۲ نامناسب	زیاد ۱	زیاد ۱



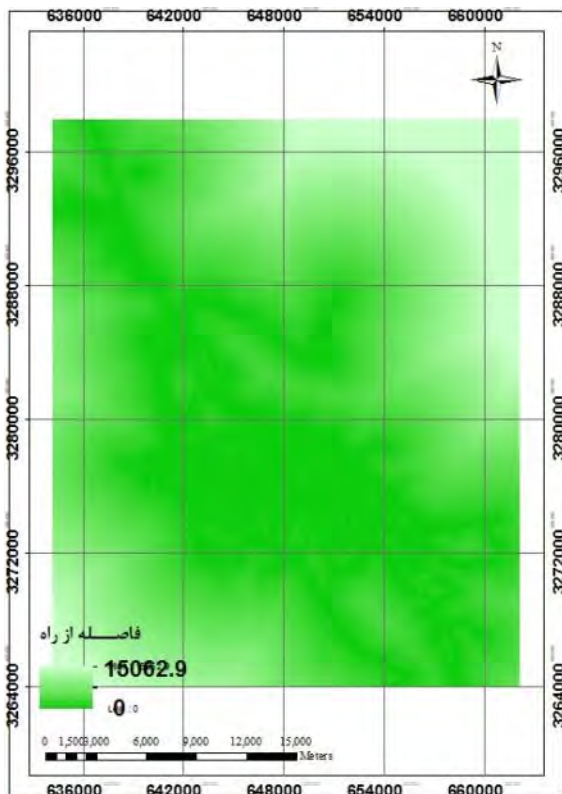
شکل ۶- توابع عضویت متغیرهای (الف) شیب و (ب) ارتفاع به منظور تعیین میزان تناسب فیزیکی زمین



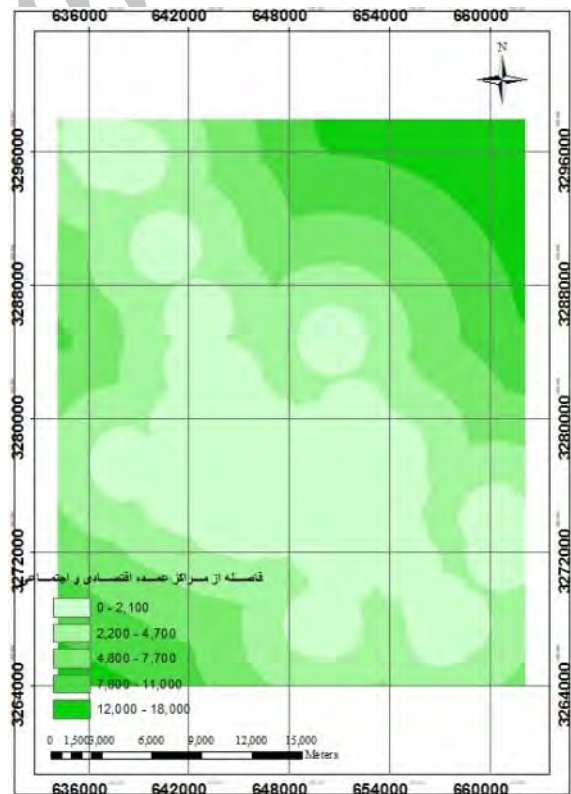
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۷- نقشه (الف) مراکز عمده اقتصادی و اجتماعی، (ب) راه‌ها، (ج) فاصله از مراکز عمده اقتصادی و اجتماعی و (د) فاصله از راه‌های شیراز

### ۳-۳-۴- مقاومت در برابر تغییر

در تخصیص یک کاربری به یک محل، کاربری قبلی آن دارای اهمیت می باشد. برای مثال تغییر کاربری از کاربری های توریستی به کاربری های دیگر با دشواری روبرو است. این مساله با در نظر گرفتن تابع هدفی به نام مقاومت در برابر تغییر یا دشواری تغییر مدل می گردد. اگر کاربری موجود با کاربری تخصیص داده شده یکسان باشد، مقاومت در برابر تغییر صفر است. با لحاظ کردن نظرات کارشناسان، مقاومت در برابر تغییر به ازای تغییرات کاربری مختلف همانند جدول ۵ در نظر گرفته شده است. همان طور که در این جدول مشخص است، امکان تغییر کاربری فرهنگی و مذهبی به کاربری های دیگر وجود ندارد.

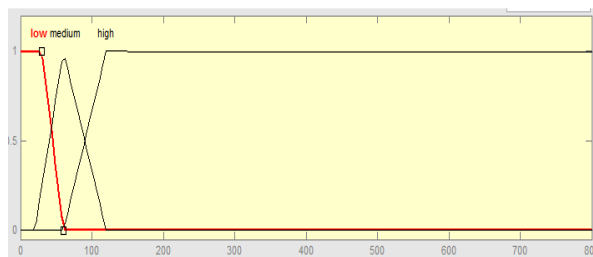
### ۳-۴- قیود و محدودیت ها

همان طور که در بخش ۲ بیان شد تخصیص کاربری به وسیله تعیین مساحت مورد نیاز (تقاضا) و تناسب زمین (عرضه) و در نظر گرفتن شرایط حاکم بر منطقه مورد مطالعه انجام می گیرد [۳]. از این رو، تخصیص کاربری با توجه به میزان تقاضا برای کاربری های مختلف صورت می گیرد. در این تحقیق برای محاسبه تقاضا از نسبت بین تعداد پیکسل های هر کاربری به تعداد کل پیکسل های محدوده در سال ۱۳۸۳ استفاده شده است. با در نظر گرفتن محدوده شهر در سال ۱۳۹۰، میزان تقاضای هر کاربری در سال ۱۳۹۰، از نرخ بدست آمده در سال ۱۳۸۳ محاسبه می گردد. سپس با اضافه و کم کردن ۵۰ پیکسل به میزان تقاضا، محدوده مجاز تقاضا برای هر کاربری بدست می آید.

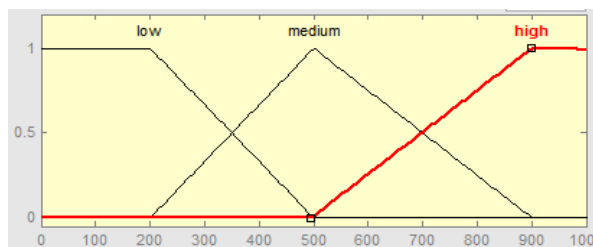
جدول ۵- مقاومت در برابر تغییر به ازای تغییرات کاربری مختلف

بایر	فرهنگی و مذهبی	پارک و فضای سبز	مسکونی	صنعتی	تجاری	خدماتی	اداری	
۱۰	۲	۲	۶	۲	۱	۱	۰	اداری
۱۰	۲	۲	۷	۳	۱	۰	۱	خدماتی
۱۰	۵	۵	۸	۷	۰	۶	۶	تجاری
۱۰	۱	۱	۳	۰	۲	۱	۱	صنعتی
۱۰	۱	۱	۰	۵	۱	۱	۱	مسکونی
۱۰	۲	۰	۸	۹	۸	۷	۸	پارک و فضای سبز
۱۰	۰	بینهایت	بینهایت	بینهایت	بینهایت	بینهایت	بینهایت	فرهنگی و مذهبی
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	بایر

تصادفی، طوری انجام می گیرد که تقاضای مورد نیاز برای هر کاربری تامین گردد. در عملگر ترکیب و جهش نیز



(الف)



(ب)

شکل ۸- توابع عضویت متغیرهای (الف) فاصله از راهها و (ب) فاصله از مراکز عمده به منظور تعیین میزان دسترسی

جدول ۴- قوانین سیستم استنتاجگر فازی جهت محاسبه میزان دسترسی

دسترسی	فاصله از مراکز عمده اقتصادی واجتماعی	فاصله از راهها
۲ مناسب	کم ۱	کم ۱
۳ مناسب	متوسط ۲	کم ۱
۴ متوسط	زیاد ۳	کم ۱
۳ مناسب	کم ۱	متوسط ۲
۴ متوسط	متوسط ۲	متوسط ۲
۵ نامناسب	زیاد ۳	متوسط ۲
۴ متوسط	کم ۱	زیاد ۳
۵ نامناسب	متوسط ۲	زیاد ۳
۶ نامناسب	زیاد ۳	زیاد ۳

میزان تقاضا به عنوان یک قید وارد الگوریتم R- NSGA-II می گردد. تولید جمعیت اولیه به صورت

جدول ۲ مقدار  $S_{cij,ckl}$  بین هر جفت پیکسل برابر با ۰/۲۶۴ است. با قرار دادن این مقدار در رابطه ۲ مقدار سازگاری کلی برای هر پیکسل محاسبه می‌شود و با استفاده از رابطه ۱، میزان سازگاری کل نقشه برابر با ۴۱/۹۶۴ بدست می‌آید.

شیب ۳ درصد و ارتفاع ۱۶۰۰ متر وارد سیستم استنتاجگر تناسب فیزیکی زمین شده و مقدار تابع هدف تناسب فیزیکی زمین برای نقطه مرجع ۰/۵۹۸۱ بدست آمده و فاصله از راه‌ها و مراکز عمده اقتصادی و اجتماعی ایده‌آل وارد سیستم استنتاجگر دسترسی شده و مقدار تابع هدف دسترسی برای نقطه مرجع ۰/۶۴۶۷ محاسبه می‌گردد. در نتیجه نقطه مرجع معرفی شده به الگوریتم به صورت زیر است (مقدار E برابر با ۰/۰۰۲ در نظر گرفته شده‌است):

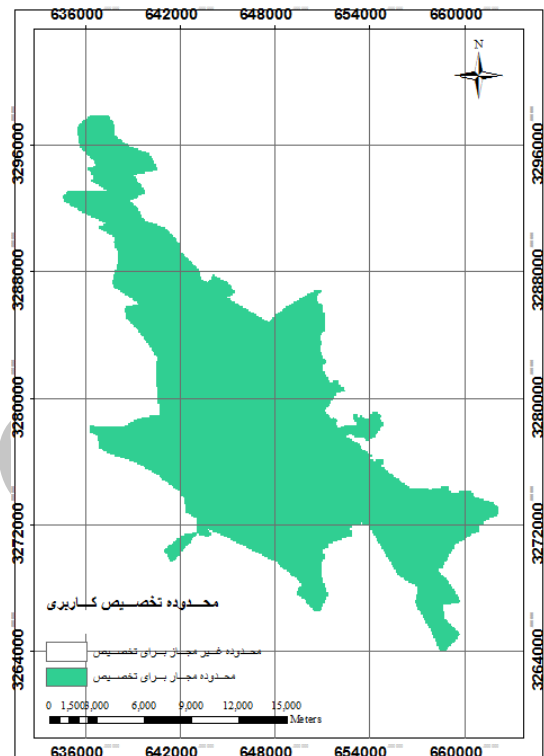
$$R = \{41.964, 0.5981, 0.6467, 3\}$$

برای پیاده‌سازی از نرم افزارهای Matlab 2011 و ArcGIS 10 استفاده شده‌است. تعداد افراد جمعیت اولیه ۵۰ نفر و تعداد تکرار ۱۰۰ می‌باشد. هر نقشه کاربری، در واقع یک کروموزوم است که ژن‌های آن اعداد ۱ تا ۸ می‌باشند. هر کدام از این اعداد نشانگر یک نوع کاربری هستند.

نمودار راه‌حل‌ها در تکرار ۱۰۰ام به ازای هر دو تابع هدف در شکل ۹ نمایش داده شده است. هر یک از راه‌حل‌ها یک نقشه کاربری شهری برای شهر شیراز می‌باشد که نزدیک به مقادیر ایده‌آل معرفی شده توسط کاربر است. به عنوان نمونه نقشه کاربری اراضی شهری شیراز به ازای ماکزیمم شدن هر یک از چهار تابع هدف در شکل ۱۰، نمایش داده شده‌است. برای مثال نقشه شکل ۱۰ الف، راه‌حلی است که در آخرین تکرار، دارای بیشترین مقدار سازگاری می‌باشد. مجموعه جواب‌های نهایی (شکل ۱۱)، این امکان را به تصمیم‌گیرنده می‌دهد که با توجه به ترجیحات خود، یکی از چینه‌های کاربری نزدیک به نقطه مرجع را انتخاب نماید.

فیلتری قرار داده می‌شود که چنانچه در نقشه‌ای (کروموزومی) مساحت یک کاربری از محدوده‌ی تقاضای مورد نیاز تجاوز نمود، یکی از کروموزوم‌های والد تعویض گردد.

محدوده شهر شیراز، به عنوان محدوده مجاز، از تصاویر ماهواره‌ای این شهر در سال ۱۳۹۰ استخراج گردیده و در شکل ۹ نمایش داده شده‌است. نواحی خارج از این محدوده وارد فرایند تخصیص کاربری نمی‌شوند.

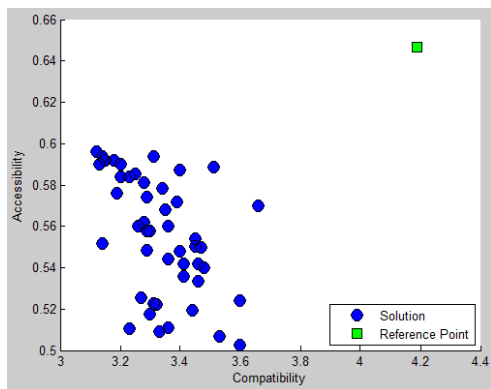


شکل ۹- محدوده مجاز تخصیص کاربری

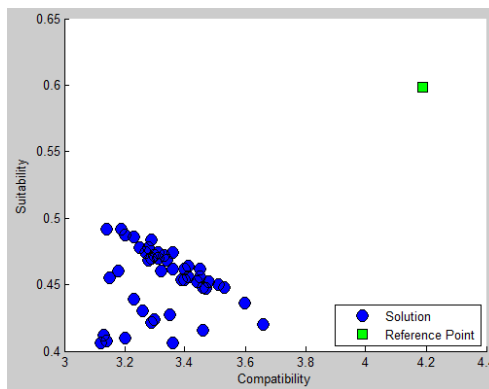
### ۳-۵- نتایج پیاده‌سازی و ارزیابی

در این تحقیق پس از معرفی توابع هدف و شاخص‌های مربوطه به کارشناسان، یک نقطه مرجع تعیین شده‌است. بنا به جمع‌بندی نظرات آنها متوسط سازگاری بالا بین کاربری‌ها، شیب ۳ درصد، ارتفاع ۱۶۰۰ متر، فاصله ۴۰ متری از راه‌ها، فاصله ۳۰۰ متر از مراکز عمده اقتصادی و اجتماعی و ۳ درجه مقاومت در برابر تغییر، مطلوب می‌باشد.

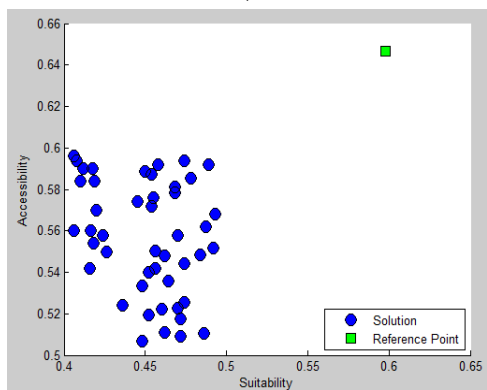
با فرض اینکه در نقشه کاربری مطلوب، سازگاری هر دو کاربری مجاور (تا فاصله ۳ پیکسل) بالا باشد، طبق



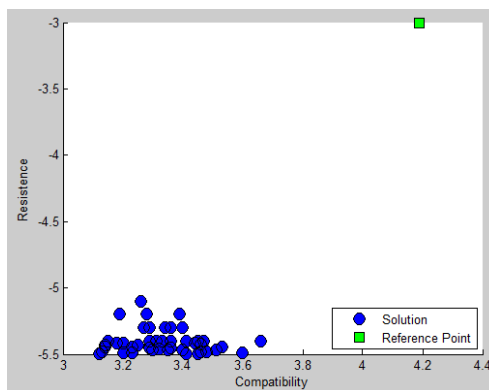
(ب)



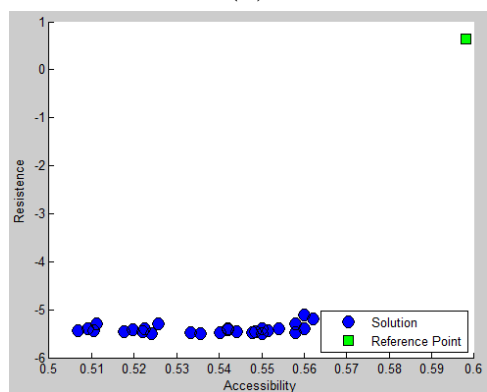
(الف)



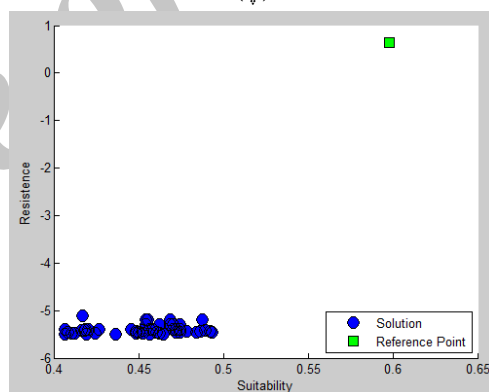
(ت)



(پ)

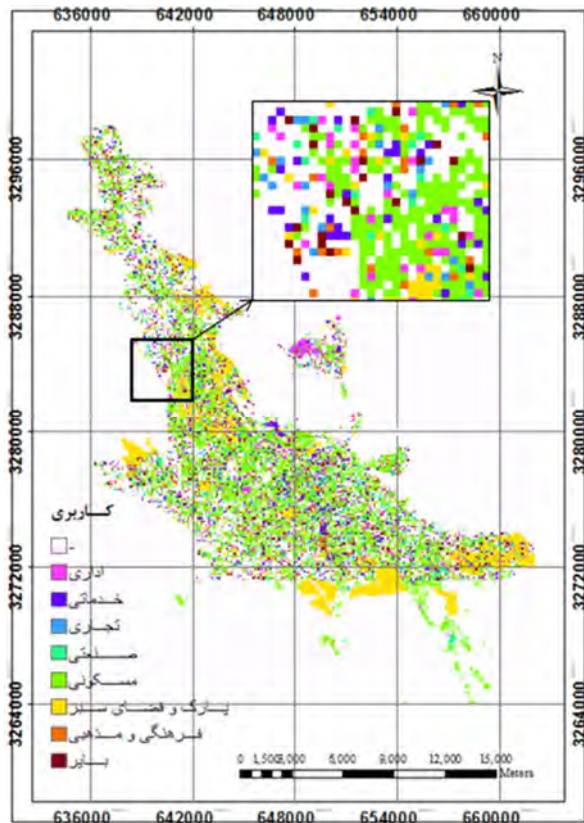


(ج)

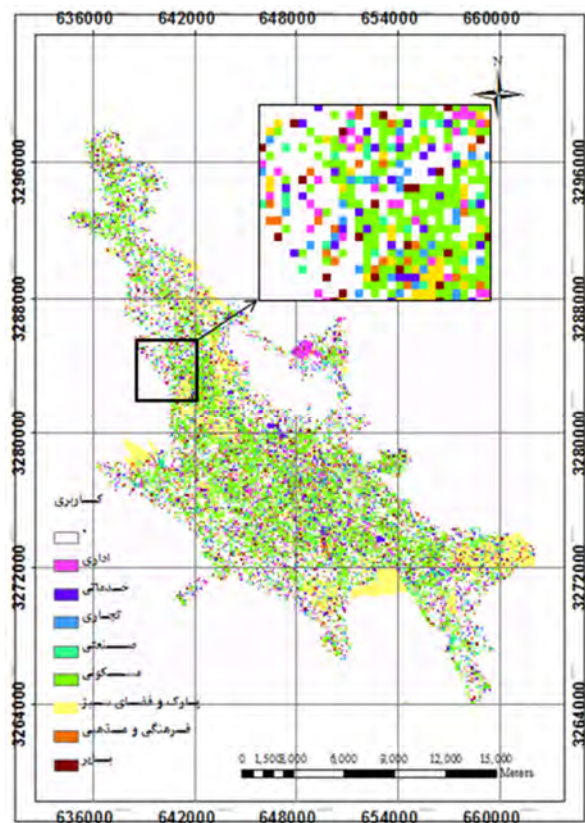


(ث)

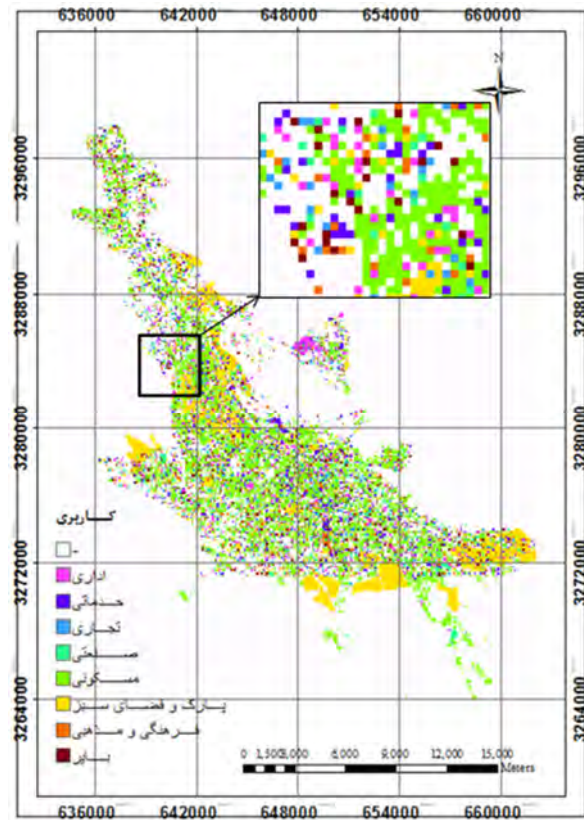
شکل ۱۰ - مجموعه راه حل ها در تکرار ۱۰۰ برای توابع هدف (الف) سازگاری و تناسب فیزیکی، (ب) سازگاری و دسترسی، (پ) سازگاری و مقاومت، (ت) تناسب فیزیکی و دسترسی، (ث) تناسب فیزیکی و مقاومت و (ج) دسترسی و مقاومت



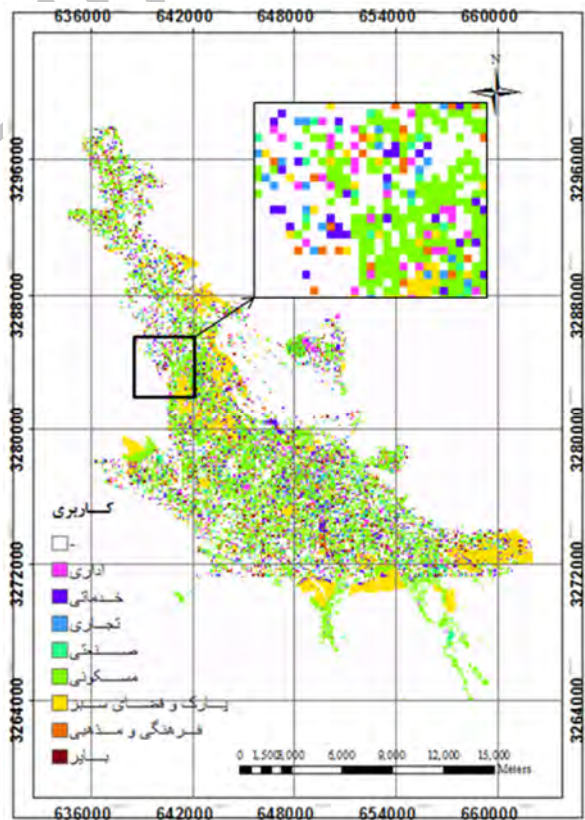
(ب)



(الف)

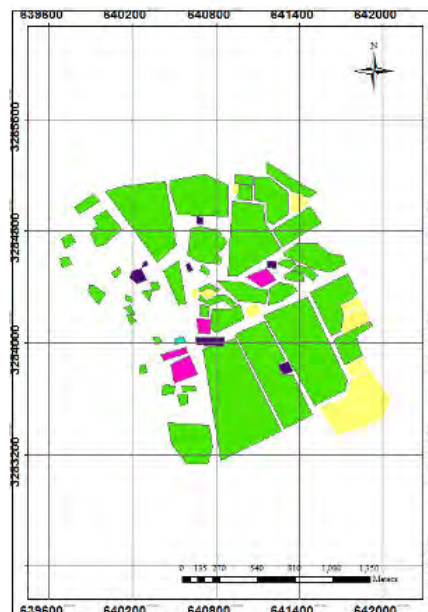


(ت)



(پ)

شکل ۱۱- نقشه شبیه سازی کاربری اراضی شیراز به ازای ماکزیمم شدن تابع هدف (الف) سازگاری، (ب) تناسب فیزیکی زمین، (پ) دسترسی و (ت) مینیمم شدن مقاومت در برابر تغییر در الگوریتم ژنتیک مرتب سازی نامغلوب نقطه مرجع



شکل ۱۲- نقشه واقعی کاربری شیراز در سال ۱۳۹۰ (در محدوده مشخص شده شکل ۱۱)

به منظور ارزیابی نتایج، قسمت بزرگنمایی شده در هر کدام از نقشه‌های کاربری شکل ۱۱، با نقشه کاربری وضع موجود مقایسه گردیده و نتایج این ارزیابی در جدول ۵ نمایش داده شده‌است. به منظور مقایسه نقشه‌ها، ضریب کاپا محاسبه گردیده‌است. جدول ۶ نشان می‌دهد که بین پنج جواب نزدیک به نقطه مرجع، جواب مرتبط با ماکزیمم شدن تابع هدف دسترسی به واقعیت موجود شباهت بیشتری دارد. می‌توان این نکته را دریافت که در تخصیص کاربری، دسترسی اهمیت بیشتری نسبت به دیگر اهداف ایفا می‌کند و کاربری‌ها تمایل بیشتری به قرار گرفتن در موقعیت‌هایی دارند که دارای دسترسی بهینه به راه‌های ارتباطی و مراکز عمده اقتصادی و اجتماعی می‌باشند.

جدول ۶- مقادیر اهداف در سناریوهای مختلف و میزان تطابق هر سناریو با واقعیت

سناریو	مقدار هدف سازگاری	مقدار هدف دسترسی	مقدار هدف تناسب زمین	مقدار هدف مقاومت	تطابق با واقعیت (کاپا)
ماکزیمم شدن هدف سازگاری	۳/۶۶	۰/۵۷۱	۰/۴۲۲	-۵/۶۱	۰/۹۸۸۳
ماکزیمم شدن هدف دسترسی	۳/۱۱	۰/۵۹۷	۰/۴۰۴	-۵/۴۱	۰/۹۸۹۲
ماکزیمم شدن هدف تناسب زمین	۳/۱۳	۰/۵۶۹	۰/۴۹۳	-۵/۴۸	۰/۹۷۹۱
مینیمم شدن مقاومت در برابر تغییر	۳/۴۲	۰/۵۲۴	۰/۴۵۹	-۵/۴۹	۰/۹۸۱۲
برابر بودن اهداف	۳/۴۱	۰/۵۴۲	۰/۴۵۱	-۵/۳۵	۰/۹۷۲۲

مجموعه جواب‌های پرتوی نزدیک به نقاط مرجع می‌باشند. در نهایت تصمیم‌گیرندگان گوناگون پس از مشاهده جواب‌ها، با توجه به اولویتهای خود قادر خواهند بود، چیدمان‌های مختلف کاربری را از بین مجموعه جواب بهینه اطراف نقطه مرجع، برگزینند. این موضوع نشان دهنده توانایی مدل برای ایجاد سناریوهای مختلف برنامه‌ریزی کاربری است.

در این تحقیق سعی شده‌است اساسی‌ترین اهداف در تخصیص کاربری‌های شهری در نظر گرفته شود. چهار هدف پیشینه‌سازی سازگاری کاربری‌های مجاور، تناسب فیزیکی زمین، دسترسی به راه‌ها و مراکز عمده اقتصادی و اجتماعی و کمینه‌سازی مقاومت در برابر تغییر کاربری مدل گردیده‌اند و هر چهار هدف به طور همزمان بهینه شده‌اند. مقادیر مطلوب برای هر چهار تابع توسط کارشناسان معرفی گردید و به عنوان یک نقطه مرجع وارد

#### ۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

الگوریتم‌های بهینه‌سازی نقطه مرجع، برنامه‌ریز را قادر می‌سازد که به جای جستجو و سردرگمی بین مجموعه بزرگی از جواب‌های پرتو، به انتخاب بین مجموعه جواب‌های بهینه‌ای که نزدیک آنچه مطلوب او است، بپردازد و متمرکز به ناحیه مورد نظرش در فضای اهداف گردد و تصمیم‌گیری برای او ساده‌تر شود [۲۹]. در این تحقیق هدف پیشنهاد نقشه کاربری اراضی برای شهر شیراز است طوری که اهداف کمی و کیفی مورد نظر را بهینه سازد. لذا این تحقیق، یک مساله بهینه‌سازی چند هدفه است. الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب نقطه مرجع، برای حل آن استفاده گردید. در این الگوریتم امکان انعکاس نظرات کارشناسان، در قالب مقادیر ایده‌آل برای توابع هدف، وجود دارد و جواب‌های ارائه شده،



- از سیستم استنتاجگر فازی به منظور انعکاس دانش کارشناسی در مدل‌سازی توابع هدف تناسب فیزیکی زمین و دسترسی استفاده گردید.
- نتیجه مدل‌سازی روش پیشنهادی در شهر شیراز، نشان می‌دهد که تابع هدف دسترسی نسبت به اهداف دیگر دارای تاثیر بیشتری در تخصیص کاربری‌ها می‌باشد.

نتیجه اجرای الگوریتم‌های بهینه‌سازی به پارامترهای گوناگونی همانند، تعداد جمعیت اولیه، نحوه ایجاد جمعیت اولیه، تعریف عملگرهای مختلف همانند جهش و ترکیب و تعداد تکرار وابسته است. پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی، آنالیز حساسیتی برای مشاهده نحوه تغییر نتایج براساس تغییر پارامترهای مذکور انجام گیرد. همچنین ارزیابی عملکرد سایر الگوریتم‌های چند هدفه نقطه مرجع، همانند الگوریتم ازدحام ذرات نقطه مرجع، به منظور مدل‌سازی تخصیص کاربری، به عنوان موضوعی برای تحقیقات آتی پیشنهاد می‌گردد.

الگوریتم شد. ارائه نقطه مرجع، به عنوان سرنخ یا نشانه، منجر به ارائه مجموعه نقشه‌های کاربری نزدیک به نقشه کاربری ایده‌آل می‌گردد. لذا تصمیم گیرنده، نسبت به زمانی که با یک راه حل مواجه است، قادر خواهد بود تصمیمی بهتر و قابل اطمینان‌تری اتخاذ کند. در این تحقیق:

- روشی جدید برای تخصیص کاربری اراضی شهری ارائه گردید. در این روش اولویت‌های برنامه‌ریزان (دانش کارشناسی آنها) در قالب نقاط مرجع ارائه می‌گردد و در نهایت بهینه‌ترین چیدمان‌های کاربری که نزدیک به نقاط مرجع هستند، ارائه می‌شود.
- به طور همزمان ۸ کاربری تخصیص یافته است در حالی که در تحقیقات پیشین، به ندرت تعداد زیادی کاربری به طور همزمان تخصیص می‌یافتند.
- روشی برای کدگذاری کروموزوم‌ها (که بیانگر نقشه کاربری‌های شهری هستند) در الگوریتم ژنتیک ارائه گردید.

## مراجع

- [1] Cao K, Batty M, Huang B, Liu Y, Yu Y, Chen J, Spatial multi-objective land use optimization: extensions to the non-dominated sorting genetic algorithm-II. *International Journal of Geographical Information Science* iFirst, 1-21, 2011.
- [2] Stewart T, Janssen R, Herwijnen M, A genetic algorithm approach to multi objective landuse planning. *Computers & Operations Research*, Vol. 31, 2293-2313, 2004.
- [۳] کریمی م. توسعه روش های تصمیم گیری چند معیاره مکانی برای تعیین کاربری و پوشش مطلوب سرزمین. رساله دکتری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، ۱۳۸۹.
- [4] Dietzel C, Clarke KC, Spatial differences in multi-resolution urban automata modeling. *Transactions in GIS*, Vol. 8, 479-92, 2004.
- [5] Menard A, Marceau D, Exploration of spatial scale sensitivity in geographic cellular automata. *Environment and Planning B*, Vol. 32, 693-714, 2005.
- [6] Kocabas V, Dragicevic S, Assessing cellular automata model behaviour using a sensitivity analysis approach. *Computers, Environment, and Urban Systems*, vol. 30, 921-53, 2006.
- [7] White R, Engelen G, The use of constrained cellular automata for high resolution modelling of urban land-use dynamics. *Environment and Planning B*, Vol. 24, 323-43, 1997.
- [8] White R, Engelen G, Cellular automata and fractal urban form: a cellular modelling approach to the evolution of urban land-use. *Environment and Planning A*, Vol. 25, 1175-99, 1993.
- [9] White R, Engelen G, High-resolution integrated modelling of the spatial dynamics of urban and regional systems. *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol. 24, 383-400., 2000.

- [10] Puertas OL, Henríquez C, Meza FJ. Assessing spatial dynamics of urban growth using an integrated land use model. Application in Santiago Metropolitan Area, 2010–2045, *Land Use Policy*, Vol. 38, 415–425, 2014.
- [11] Tian G, Ouyang Y, Quan Q, Wu J, Simulating spatiotemporal dynamics of urbanization with multi-agent systems—A case study of the Phoenix metropolitan region, USA, *Ecological Modelling*, Vol. 222, 1129–1138, 2011.
- [12] Hosseinali F, Alesheikh AA, Nourian F, Agent-based modeling of urban land-use development, case study: Simulating future scenarios of Qazvin city. *Cities*, Vol. 31, 105–113, 2013.
- [13] Pijanowskia BC, et al, Using neural networks and GIS to forecast land use changes: a land transformation model. *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol. 26(6), 553–575, 2002.
- [14] Kuang W, Simulating dynamic urban expansion at regional scale in Beijing–Tianjin–Tangshan Metropolitan Area. *Journal of Geographical Science*, Vol. 21(1), 317–330, 2011.
- [15] Wenhui K, Simulating dynamic urban expansion at regional scale in Beijing-Tianjin-Tangshan Metropolitan Area, *Journal Of Geographical Science*, Vol. 21(1), 317-330, 2011.
- [16] Thapa RB, Murayama Y, Urban growth modeling of Kathmandu metropolitan region, Nepal, *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol. 35, 25–34, 2011.
- [17] Zhang W, Wang H, Han F, et al, Modeling urban growth by the use of a multiobjective optimization approach: Environmental and economic issues for the Yangtze watershed, China, *Environmental Science Pollutant Research*, 2014.
- [18] Xiaoli L, Chen Y, Daoliang L, A Spatial Decision Support System for Landuse Structure Optimization. *WSEAS TRANSACTIONS on COMPUTERS*, Vol. 8(3), 439-448, 2009.
- [19] Shifa M, Land-use spatial optimization based on PSO algorithm. *Geo-spatial Information Science*, Vol 14, 54-61, 2011.
- [20] Malczewski J, *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. New York: Wiley, 1999.
- [21] Aerts JCJH, Eisinger E, Heuvelink GBM, Stewart TJ, Using Linear Integer Programming for Multi-Site Land-Use Allocation. *Geographical Analysis*, Vol. 35(2), 148–169, 2003.
- [22] Arthur JL, Nalle DJ. Clarification on the use of linear programming and GIS for land-use modelling. *International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 11(4), 397–402, 1997,
- [23] Aerts JCJH, Herwijnen M, Stewart TJ, Using Simulated annealing and spatial goal programming for solving a multi site land use allocation problem. *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 2632, 448–463, 2003.
- [24] Matthews KB, *Applying genetic algorithms to multi-objective land use planning*. Aberdeen, UK: The Robert Gordon University, 2001.
- [25] Feng CM, Lin J, Using a genetic algorithm to generate alternative sketch maps for urban planning. *Computers Environment and Urban Systems*, Vol. 23, 91-108, 1999.
- [26] Liu XP, et al., Simulating land use dynamics under planning policies by integrating artificial immune systems with cellular automata. *International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 24(5), 783–802, 2010.
- [27] Liu XP, et al., A bottom-up approach to discover transition rules of cellular automata using ant intelligence. *International Journal of Geographical Information Science*. Vol. 22, 1247–1269, 2008.
- [28] Masoomi Z, Mesgari MS, Hamrah M, Allocation of urban land uses by Multi-Objective Particle Swarm Optimization (MOPSO) algorithm. *International Journal of Geographical Information Science*. Vol. 27(3), 542-5, 2013 .
- [29] Deb K, Sundar J, Rao U, Chaudhuri SH, Reference Point Based Multi-Objective Optimization Using Evolutionary Algorithms. *International Journal of Computational Intelligence Research*. Vol.2(3) , 2006.

- [30] Deb K, Sundar J, Bhaskara Rao N, and Chaudhuri SH. Reference Point Based Multi-Objective Optimization Using Evolutionary Algorithms," International Journal of Computational Intelligence Research. 273-286, 2010.
- [31] Pfeiffer J, Golle U, and Rothlauf F, Reference Point Based Multi-Objective Algorithms for Group Decisions. Working paper, Johannes Gutenberg-University Mainz, 2008.
- [32] Wickramasinghe U, Carrese R, Li X, Designing Airfoils using a Reference Point based Evolutionary Many-objective Particle Swarm Optimization Algorithm. IEEE World Congress on Computational Intelligence, 18\_23, 2008.
- [33] Hillier F, Liberman G, Introduction to operational research. 6 th ed. USA:MacGraw Hill, 1995.
- [34] Deb K, et al., A Fast and Elitist Multiobjective Genetic Algorithm: NSGA-II. IEEE.Trans.Evol. Comput, Vol. 6(2), 181-197, 2002a.
- [35] CoelloCoello CA, Lamont GB, Application of multi-objective evolutionary algorithms. Singapore: World Scientific Publishing Co, 2004.
- [36] Belgasmi N, Ben SL, Ghedira Kh, Evolutionary multi objective optimization of the multi-location transshipment problem. Oper Research International Journal. Vol. 8, 167-183, 2008.
- [37] Deb K, et al., A fast elitist non-dominated sorting genetic algorithm for multi-objective optimization: NSGA-II. Paper presented at the sixth international conference on parallel problem solving from nature, Paris, France, 2000.
- [38] Saaty TL, Vargas LG, Models, methods, concepts & applications of theanalytic hierarchy process. USA: Kluwer Academic Publication, 2000.