بهینه‌سازی کاربری زمین با استفاده از الگوریتم فرا ابتکاریِ جست‌وجوی هارمونیک (مطالعه موردی: محله‌ی بابلدشت شهر اصفهان)

تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۰۶/۲۲ تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۹۴/۱۱/۱۳

علیرضا صاحبقرانی* **(گروه شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان)**

چکیده

برنامه‌ریزی کاربری زمین به دنبال تخصیص کاربری‌های مختلف به منبع ارزشمند و محدود زمین به طور بهینه بوده که با استفاده‌ی حداکثری از آن بیش‌ترین مطلوبیت را برآورده کرده و اهداف برنامه‌ریزی کاربری زمین را تا بالاترین میزان محقق سازد. با توجه به تعدد اهداف مطرح در تخصیص کاربری زمین، لازم است تا نوعی سازش میان این اهداف به وجود آمده، به گونه‌ای که هر یک از اهداف متناسب با اولویت خود تا حد مشخصی تحقق یابند و آرایش بهینه‌ی کاربری‌ها حاصل گردد. بهینه‌سازی تخصیص کاربری، روشی است که امکان حل چنین مسائلی را فراهم می‌آورد. به دلیل پیچیدگی بسیار بالای مسئله‌ی بهینه‌سازی کاربری زمین، چه از نظر تعدادِ اهداف و چه از نظر اندازه و زمانِ حلِ مسئله، حل این مسئله بر الگوریتم‌های فراابتکاری تکیه دارد. در پژوهش حاضر، الگوریتم جست‌وجوی هارمونیک برای بهینه‌سازی تخصیص کاربری زمین توسعه یافته است. اهداف بهینه‌سازی سه هدف: بیشینه‌سازی سازگاری، بیشینه‌سازی فشردگی، و بیشینه‌سازی تناسب اراضی را در بر می‌گیرد. قابلیت این الگوریتم در تخصیص بهینه‌ی هفت گونه‌ی کاربری، مورد آزمون قرار گرفته و نتایج آن با الگوریتم ژنتیک مقایسه شده است. مقایسه‌ی انجام شده نشان می‌دهد که الگوریتم جست‌وجوی هارمونیک، از کارآیی (۶۸ درصد) و کیفیت بالاتری (۲۷,۷ درصد) نسبت به الگوریتم ژنتیک برخوردار در حل مسئله‌ی طرح شده در این پژوهش برخوردار است. نتایج نشان می‌دهند که با به کارگیری الگوریتم پیشنهادی، میزان مطلوبیت کل در گزینه‌ی بهینه ۵۴,۰۷ درصد بالاتر از وضع موجود کاربری‌ها در مطالعه‌ی موردی می‌باشد.

واژه های کلیدی: الگوریتم جست‌وجوی هارمونیک، الگوریتم ژنتیک، بهینه‌سازی کاربری زمین، محله‌ی بابلدشت اصفهان

* نویسنده رابط: a_sahebgharani@yahoo.com

۱- مقدمه

برنامه‌ریزی کاربری زمین به دلیل بروز عواملی از قبیل: رشد روزافزون جمعیت، افزایش تقاضای مصرف و شدت گرفتن مسائل شهری، به عملی بسیار پیچیده تبدیل شده است (حاتمی و همکاران، ۱۳۹۴). به علاوه، ازدحام جمعیت شهری منجر به ایجاد فشار بر اراضیِ با ارزشِ توسعه نیافته شده و گسترش پراکنده شهری را در پی خواهد داشت. در صورت ادامه‌ی این روند و تخصیص غیر بهینه‌ی کاربری‌های شهری، این مشکلات شدت گرفته و در آینده مسائل متعددی گریبان‌گیر شهرها خواهد شد.

برنامه‌ریزی کاربری زمین فرآیندی آینده‌نگر بوده (لحمیان، ۱۳۹۶) که پس از تعیین میزان تقاضای زمین، به دنبال تخصیص کاربری‌های گوناگون به این منبع محدود و ارزشمند است (پیراسته و همکاران، ۱۳۹۵). از آن‌جا که تخصیص غیر بهینه‌ی کاربری‌ها تبعاتی منفی از جمله: جدایی گزینی اقتصادی و اجتماعی (Peng et al., 2006)، فرسودگی محیط (Randolph 2004)، شکل‌گیری الگوهای پراکنده و با تراکم پایین (Verburg, Verdkamp & Fresco 1999) و اتلاف منابع در شهرها (Ligmann.Z et al., 2008) را در پی خواهد داشت، بهینه‌سازی تخصیص کاربری زمین از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به دلیل اینکه در فرآیند تخصیص کاربری‌های شهری اهداف گوناگونی که اغلب در تقابل[1] با یکدیگر قرار می‌گیرند دخالت دارند، بهینه‌سازی تخصیص کاربری زمین یک مسئله‌ی بهینه‌سازی چند هدفه است. به همین علت، بهینه‌سازی چند هدفه‌ی کاربری زمین با مجموعه‌ی بسیار وسیعی ار متغیرها و داده‌های گوناگون سرو کار دارد که آن را به مسئله‌ای با پیچیدگی بسیار بالا تبدیل کرده است. این پیچیدگی در سطحی قرار دارد که ذهن انسان قادر به درک و حل آن نبوده و استفاده از فرآیندهای پیشرفته و رایانه را اجتناب‌ناپذیر می‌نماید.

از آن‌جا که، برنامه‌ریزان شهری وظیفه دارند تا زمین را در قالب برنامه‌ی کاربری زمین به گونه‌ای میان کاربری‌های مختلف تقسیم کنند که میان اهداف متقابل سازش به وجود آمده و از این طریق تحقق‌پذیری برنامه‌ی کاربری زمین افزایش یابد، مواجهه‌ی برنامه‌ریزان با پیچیدگی اشاره شده در بالا اجتناب‌ناپذیر است. بنابراین، توسعه‌ی روش‌ها، فرآیندها و ابزارهای مناسب مبتنی بر الگوریتم‌های ریاضی و رایانه

[1] Conflict

برای تسهیل عمل بهینه‌سازی تخصیص کاربری زمین ضروری بوده و از موضوعات مهم در حوزه‌ی برنامه‌ریزی شهری به شمار می‌رود.

در میان الگوریتم‌های ریاضی مختلف برای حل مسائل بهینه‌سازی که به دو دسته‌ی روش‌های دقیق[1]، و روش‌های فراابتکاری[2] تقسیم‌بندی می‌شوند، الگوریتم‌های دقیق امکان حل مسائل تخصیص کاربری زمین با اندازه بزرگ‌تر از ۲۰ را دارا نبوده (Ravindra et al., 2000) و به همین دلیل، توسعه و به‌کارگیری الگوریتم‌های فراابتکاری در سال‌های اخیر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. این تحقیقات در جدول ۱ دسته‌بندی شده‌اند.

عنوان تحقیق	نویسنده و سال انتشار	نوع تحقیق			الگوریتم مورد استفاده برای حل مسئله بهینه-سازی	مقیاس مطالعه		تعداد هدف بهینه‌سازی	موضوع مورد مطالعه
		مقاله	کتاب	پایان‌نامه	نام الگوریتم	شهر	محله		
بهینه‌سازی کاربری زمین پایدار با استفاده از FBGA	(Cao et al., 2011)	*	-	-	ژنتیک مرز سریع	*	-	۶	تخصیص بهینه کاربری زمین بر اساس اهداف توسعه پایدار
بهینه‌سازی چندهدفه‌ی فضایی کاربری زمین: الحاقی به NSGA-II	(Cao, Shaowen & Hui 2012)	*	-	-	ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب نسخه دو	*	-	۳	تطابق الگوریتم NSGA-II با چارچوب برنامه-ریزی کاربری زمین
تخصیص کاربری‌های زمین شهری به وسیله‌ی الگوریتم بهینه‌سازیِ چندهدفه‌ی	(Masoomi, Mesgari & Hamrah 2013)	*	-	-	ازدحام ذرات	-	*	۴	یافتن چیدمان بهینه‌ی کاربری زمین در مقیاس قطعه زمین شهری

[1] Exact
[2] Meta-heuristic

PSO								
یکپارچه‌سازیِ سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی و هوش جمعی برای منطقه-بندیِ نواحیِ حفاظت‌شده‌ی اکولوژیک	(Liu et al. 2012)	*	-	-	ازدحام ذرات			۳	توسعه‌ی الگوریتم ازدحام ذرات برای منطقه‌بندیِ نواحیِ اکولوزیکِ حفاظت شده
شبیه‌سازیِ تخصیصِ فضاییِ چندهدفه‌ی کاربری زمین بر مبنای یکپارچه‌سازیِ سیستم چندعامله و الگوریتم ژنتیک	(Zhang, Zeng & Bian 2010)	*	-	-	ژنتیک چند عامله	*	-	۲	تولید گزینه‌های مختلف کاربری زمین برای تسهیل فرآیندهای تصمیم‌گیری فضایی
الگوریتمی برای تخصیص کاربری زمین بر مبنای SA	(Sante-Riveira et al. 2008)	*	-	-	انجماد تدریجی	*	-	۲	تخصیص واحد-های زمین به مجموعه‌ای از کاربری‌های از پیش تعیین شده

منبع: نگارنده، ۱۳۹۴

همان‌گونه که مرور پیشینه‌ی پژوهش نشان می‌دهد، به‌کارگیری روش‌های فراابتکاری در حل مسائل موجود در برنامه‌ریزی شهری به طور کلی و برنامه‌ریزی کاربری زمین به طور خاص در ایران حوزه‌ای نوپا بوده و مطالعات اندکی در این زمینه صورت گرفته است. هم‌چنین، مرور تحقیقات انجام شده در مقیاس بین‌المللی نیز موید آن است که تاکنون قابلیت الگوریتم جست‌وجوی هارمونیک[1] در حل مسئله‌ی تخصیص کاربری زمین مورد مطالعه قرار نگرفته است. بنابراین، پژوهش حاضر علاوه بر تلاش برای پاسخ به سوال: "کاربری‌ها در بافت‌های شهری بایستی به چه میزان و با چه آرایشی توزیع شوند تا اهدافی خاص (مانند: فشردگی، سازگاری و جز آن) بیشینه و یا کمینه‌گردند؟"، بر توسعه و سازگار نمودن الگوریتم جست‌وجوی

[1] Harmonic Search

هارمونیک با مسئله‌ی بهینه‌سازی کاربری زمین و مقایسه‌ی نتایج آن با الگوریتم ژنتیک تمرکز دارد. نوآوری‌های این پژوهش عبارتند از: (۱) تطبیق الگوریتم جست و جوی هارمونیک با مسئله‌ی بهینه‌سازی تخصیص کاربری زمین، (۲) تعریف عملگر جهش اصلاحی قیود نوین برای الگوریتم جست‌وجوی هارمونیک، (۳) به‌کارگیریِ این روش در تخصیص کاربری‌ها در مقیاس محلی و (۴) مقایسه‌ی نتایج الگوریتم جست وجوی هارمونیک با الگوریتم ژنتیک از نظر کارایی و کیفیت.

روش تحقیق حاضر از نظر هدف کاربردی و از نظر روش توصیفی-تحلیلی-استنباطی است. در این پژوهش تلاش شده است تا به توسعه‌ی الگوریتم جست‌وجوی هارمونیک که با چارچوب مسئله‌ی تخصیص کاربری زمین هم‌خوانی داشته و از متغیرهای غیر خطی و توابع هدف مختلف بهره می‌برد، با استفاده از رایانه پرداخته شود. الگوریتم طراحی شده پس از کد نویسی، بر روی محله‌ی بابلدشت اصفهان، پیاده‌سازی شده و خروجی آن با خروجی‌های حاصل از الگوریتم ژنتیک مقایسه می‌شود. در نهایت، نتایج مرتبط با پژوهش استخراج شده و ارائه می‌گردد.

۲- مبانی نظری پژوهش

در این قسمت از مقاله به معرفی مبانی نظری پژوهش پرداخته می‌شود.

۲-۱- معرفی فرآیند کلی بهینه‌سازی مسائل

محققان مختلف، فرآیندهای گوناگونی را به عنوان فرآیند بهینه‌سازی معرفی نموده‌اند هیلیر و لیبرمن[1] (۲۰۰۱): فرآیندی شش مرحله‌ای؛ حکمت‌نیا و موسوی (۱۳۸۵): فرآیندی چهار مرحله‌ای؛ و بشیری و کریمی (۱۳۹۰): فرآیندی چهار مرحله‌ای). جمع‌بندی دیدگاه‌های صاحبنظران، نشان می‌دهد که به طور کلی فرآیند بهینه‌سازی از سه مرحله‌ی کلیِ تعریف مسئله، مدل‌سازی مسئله (فرموله‌سازی) و حل مسئله تشکیل می‌شود. در مرحله‌ی مدل‌سازی مسئله، متغیرهای تصمیم (کمّیت‌هایی عددی که در یک مسئله‌ی بهینه‌سازی، برای آن‌ها مقدار انتخاب می‌شود (Winston, 2004))، توابع هدف (بیان ریاضی اهدافی که برنامه‌ریز به دنبال بیشینه-سازی و یا کمینه‌سازی آن‌هاست)، و قیود مسئله به زبان ریاضی بیان می‌شوند. با

[1] Hillier and Lieberman

توجه به تعداد توابع هدف، نوع توابع (خطی و غیر خطی)، مقید و نامقید بودن مسئله، شکلِ قیود، پیچیدگی زمانی و اندازه‌ی مسئله، نوع مسئله‌ی بهینه‌سازی تعیین و بر این اساس در مرحله‌ی سوم روش حل (استفاده از الگوریتم‌های دقیق و یا الگوریتم‌های فراابتکاری) تعیین می‌گردد.

۲-۲- مروری بر مبانی بهینه‌سازی چند هدفه

مسئله بهینه‌سازی چند هدفه بردار تصمیمی است که قیود را برآورده ساخته و تابع برداری را که عناصر آن توابع هدف را نشان می‌دهند، بهینه می‌نماید. این توابع، تشریحِ ریاضیِ عملکردِ معیارهایی است که معمولا با یکدیگر در تقابل قرار دارند. بنابراین، اصطلاح "بهینه"، به معنای یافتنِ جواب‌هایی است که به توابع هدف، پاسخی قابل قبول داده و برای تصمیم‌گیر نیز رضایت‌بخش باشد (Coello et al., 2007). به عبارت دیگر، هنگامی که یک مسئله‌ی بهینه‌سازی بیش از یک هدف را در بر گیرد، مسئله‌ی بهینه‌سازی، مسئله بهینه‌سازی چندهدفه نامیده می‌شود.

به طور کلی به منظور حل مسائل چندهدفه دو رویکرد وجود دارد. در رویکرد اول به تولید مجموعه جواب‌هایی پرداخته می‌شود که در آن‌ها بهینگی نسبی در تمامی اهداف برآورده گردد. به این ترتیب، مجموعه جواب‌هایی که مرز پارِتو نامیده می‌شود شکل خواهد گرفت. در این شاخه، مسئله‌ی بهینه‌سازی در قالب روابط ۱ تا ۳ نمایش داده می‌شود.

$$\text{Minimize/Maximize } f_n(x),\ n=1,2,\ldots,N \quad (۱)$$

$$g_i(x) \le 0; i = 1,\ldots,m$$
$$h_j(x) = 0; j = 1,\ldots,p \quad (۲)$$

$$x = [x_1, x_2, \ldots, x_m]^T \quad (۳)$$

در رویکرد دوم توابع هدف در قالب یک تابع کلی با یکدیگر ترکیب شده و مسئله ی بهینه‌سازی چند هدفه به یک مسئله‌ی تک هدفه تبدیل شده و عملیات بهینه‌سازی بر روی آن انجام می‌شود (Coello et al., 2007).

۲-۳- معرفی الگوریتم جست‌وجوی هارمونیک

الگوریتم جست‌وجوی هارمونیک یک الگوریتم بهینه‌سازی جدید است که برای اولین بار توسط گیم[1] و همکارانش در سال ۲۰۰۱ توسعه یافته است. این الگوریتم از موسیقی الهام گرفته شده است و با در نظر گرفتن این موضوع که هدف از موسیقی جست‌وجوی عالی‌ترین حالت برای هارمونی است، ایجاد شده است. این هارمونی در موسیقی مشابه با یافتن بهینگی در فرآیند بهینه‌سازی می‌باشد. جزئیات بیش‌تر جست‌وجوی هارمونی را می‌توان با استفاده از فرآیند بداهه‌سازی توسط موسیقیدانان توضیح داد. هنگامی‌که یک موسیقیدان به بداهه‌سازی می‌پردازد با سه انتخاب مواجه است: ۱) انتخاب یک سری از گام‌ها در هارمونی از حافظه و نواختن آن به طور دقیق، ۲) تنظیم گام در هارمونی و نواختن قطعه‌ی موسیقی از حافظه‌ی خود با انجام تغییرات اندک و ۳) تولید یک نُت اتفاقی و تنظیم آن. اگر این سه حالت را با بهینه‌سازی منطبق نماییم، سه ترکیب مشابه خواهیم داشت. این سه ترکیب عبارتند از: استفاده از حافظه‌ی هارمونی، تنظیم گام و تصادفی‌سازی (جلالی نائینی و همکاران، ۱۳۹۱). استفاده از هارمونی، تضمین می‌نماید که بهترین هارمونی (جواب) به حافظه هارمونی جدید انتقال یابد. این امر با استفاده از تعریف یک پارامتر که حافظه‌ی هارمونیِ قابل پذیرش یا نرخ ملاحظه نامیده می‌شود، صورت می‌پذیرد. نرخ ملاحظه با r_{accept} نشان داده شده و عموماً در بازه‌ی ۰ تا ۰,۹۵ تنظیم می‌شود. تنظیم گام می‌تواند به صورت خطی و یا غیر خطی صورت بپذیرد. در عمل معمولاً تنظیم گام به صورت خطی انجام می‌شود. اگر x_{old} گام (جواب) موجود باشد، گام جدید یا x_{new} به صورت $x_{new}=x_{old}+b_p(2rand-1)$ محاسبه می‌شود که در آن $rand$ یک عدد تصادفی در بازه‌ی ۰ و ۱ با توزیع یکنواخت بوده و b_p پهنای باند است. این مرحله مشابه با عملگر جهش در الگوریتم ژنتیک بوده که می‌توان آن را با استفاده از r_{pa} که عددی است میان ۰,۱ و ۰,۵ تنظیم نمود. تصادفی‌سازی برای ایجاد تنوع در گام‌ها (هارمونی‌ها یا پاسخ‌ها) می‌باشد. اگرچه فرآیند تنظیم گام نیز منجر به افزایش تنوع می‌شود، اما تنظیم گام بسیار محدود بوده و بیش‌تر نقش یک جست‌وجوی محلی را ایفا می‌نماید. در این مرحله، یک پاسخ تصادفی که قیود مسئله را ارضا می‌نماید ایجاد می‌شود. جدول ۲، مراحل کارِ الگوریتم جست‌وجوی هارمونیک را نشان می‌دهد.

[1] Geem

جدول ۲- الگوریتم جست‌وجوی هارمونیک

تولید هارمونیک آغازین
تعیین r_{pa}
تعیین r_{accept}
تازمانیکه معیار توقف برآورده نشده است
تولید هارمونیک جدید به وسیله‌ی بهترین هارمونی‌ها
اگر $rand > r_{accept}$
انتخاب یک هارمونیک تصادفی از مجموعه‌ی هارمونی‌ها (مرحله‌ی استفاده از هارمونی)
در غیر این صورت اگر $rand > r_{pa}$
تولید یک هارمونی جدید بر اساس تغییر در جواب موجود در حافظه با استفاده از
$x_{new}=x_{old}+b_p(2rand-1)$ (مرحله‌ی تنظیم گام)
در غیر این صورت
تولید یک جواب تصادفی جدید
اتمام اگر
قبول هارمونیک جدید در صورت ارتقا تابع هدف (مرحله تصادفی‌سازی)
اتمام تازمانیکه

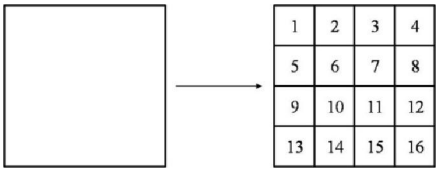
منبع: نگارنده، ۱۳۹۴

۳- روش‌شناسی پژوهش

روش‌شناسی پژوهش حاضر به چهار بخش تقسیم می‌شود. این بخش‌ها عبارتند از: مدل‌سازی مسئله‌ی تخصیص کاربری زمین، توسعه‌ی الگوریتم جست‌وجوی هارمونیک، معرفی محدوده‌ی مورد مطالعه و معرفی مفروضات مسئله و داده‌ها. در این قسمت از مطالعه، به معرفی هر یک از این بخش‌ها پرداخته می‌شود.

۳-۱- مدل‌سازی مسئله‌ی تخصیص کاربری زمین

زمین متغیری پیوسته، و عملِ تخصیص نیازمند متغیر گسسته است. برای تبدیل متغیر پیوسته زمین به متغیر گسسته، محدوده‌ی مورد مطالعه به مجموعه‌ای از واحدهای مربع شکل (سلول) با اندازه‌ی (مساحت) یکسان تقسیم می‌شود (شکل ۱).



شکل ۱- نمایش نحوه‌ی گسسته‌سازی متغیر پیوسته‌ی زمین منبع: نگارنده، ۱۳۹۴

۳-۱-۱- تعریف متغیر تصمیم

در محدوده‌ای با i سلول و m گونه‌ی کاربری زمین، متغیر تصمیم، تخصیص کاربری mام به سلول iام می‌باشد. بنابراین، متغیر تصمیم با نماد x_{im} قابل نمایش است که در آن x_{im} یک متغیر باینری (دو-دویی) بوده که می‌تواند مقادیر ۰ و یک را اختیار نماید. اگر کاربری m به سلول i اختصاص یابد مقدار متغیر تصمیم برابر ۱ و در غیر این صورت برابر با ۰ خواهد بود.

۳-۱-۲- انتخاب و فرموله‌سازی توابع هدف

مرور پیشینه‌ی پژوهش نشان می‌دهد، که در تحقیقات مختلف، اهداف گوناگونی به منظور تخصیص کاربری زمین در نظر گرفته شده‌اند (جدول ۳). برای انتخاب اهداف بهینه‌سازی، سه معیار: دسترسی به داده‌های مورد نیاز، تعداد تکرار در تحقیقات پیشین، و امکان فرموله‌سازی هر هدف در نظر گرفته شده و بر این مبنا سه هدفِ بیشینه‌سازی سازگاری، تناسب اراضی و فشردگی کاربری‌ها به عنوان اهداف بهینه‌سازی کاربری زمین در نظر گرفته شده‌اند. این اهداف در جدول ۴ فرموله‌سازی شده‌اند.

جدول ۳- نمایش اهداف بهینه‌سازی، مستخرج از پیشینه پژوهش

منبع	هدف	منبع	هدف
(Balling et al., 1999)	• بیشینه‌سازی توسعه اقتصادی • کمینه‌سازی تراکم ترافیک • کمینه‌سازی مالیات و هزینه-ها • کمینه‌سازی‌تبدیل سایت‌های فرهنگی و تاریخی	(Arnets & Timmermans, 2003)	• بیشینه‌سازی تناسب کاربری‌ها با بستر جغرافیایی • بیشینه‌سازی فشردگی کاربری‌ها
(Leccese & McCormic, 2000)	• توسعه درونی • حفاظت زیست‌محیطی • فشردگی • توجه‌به ویژگی‌های جغرافیایی	(Cao et al., 2011)	• بیشینه‌سازی دسترسی • بیشینه‌سازی فشردگی • کمینه‌سازی تبدیل زمین
(Wang et al., 2004)	• ارزش اقتصادی، از دست دادن کیفیت خاک، آب و پوشش جنگلی	(Cao et al., 2012)	• بیشینه‌سازی تولید ناخالص ملی • کمینه‌سازی تبدیل اراضی • بیشینه‌سازی مناسبت زمینی کاربری-ها و تطابق با بستر • بیشینه‌سازی مناسب اکولوژیکی

			کاربری‌ها • بیشینه‌سازی دسترسی • بیشینه‌سازی مناسبت کاربری‌ها • بیشینه‌سازی فشردگی کاربری‌ها
(Ligman.Z et al., 2008)	• توسعه درونی • سازگاری کاربری‌های مجاور • توسعه مجدد زمین‌های توسعه یافته	(Liu et al., 2012)	• بیشینه‌سازی مناسبت کاربری‌ها • بیشینه‌سازی فشردگی کاربری‌ها • کمینه‌سازی تبدیل زمین
(Sante.R et al., 2008)	• مناسبت[1] استقرار کاربری‌ها با زمینه‌ی جغرافیایی • فشردگی کاربری‌ها	(Jianzhou et al., 2012)	• بیشینه‌سازی منفعت اقتصادی • بیشینه‌سازی تاثیر گذاری اکولوژیک کاربری‌ها
(Chandramouli et al., 2009)	• بیشینه‌سازی سطح کاربری مسکونی • بیشینه‌سازی فضای سبز شهری • بیشینه‌سازی امکانات رفاهی • بییشینه‌سازی سازگاری	(Chang & Ko, 2014)	• بیشینه‌سازی توسعه اقتصادی • کمینه‌سازی آلودگی زیست محیطی • بیشینه‌سازی فرصت‌های شغلی • کمینه‌سازی میزان کربن دی‌اکسید آزاد شده

منبع: نگارنده، ۱۳۹۴

جدول ۴- فرموله‌سازی اهداف بهینه‌سازی کاربری زمین در محدوده‌ی مورد مطالعه

نماد	هدف	فرموله‌سازی	تشریح فرمول
f_1	بیشینه‌سازی فشردگی کاربری‌ها	$f_1 = max \sum_{i=1}^{n} C_i$	در این معادله، C_i مقدار فشردگیِ محاسبه شده برای سلول iام، و n تعداد کل سلول‌های موجود در محدوده مورد مطالعه است. به این ترتیب مقدار فشردگیِ هر سلول محاسبه شده، و سپس از مقادیر حاصل مجموع گرفته می‌شود.
f_2	بیشینه‌سازی سازگاری کاربری‌ها	$f_2 = max \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{r} comp_{i,j}$	در این رابطه، $comp_{i,j}$ مقدار سازگاریِ کاربری سلول iام و jام، و r، n، به ترتیب شعاع همسایگی و تعداد کل سلول‌های موجود در محدوده مورد مطالعه می‌باشد.
f_3	بیشینه‌سازی تناسب اراضی	$f_3 = max \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{l} suit_{i,j}$	در این رابطه، $suit_{i,j}$ مقدار مطلوبیتِ کاربری سلول iام در معیار jام، است.

منبع: نگارنده، ۱۳۹۴

[1] Suitability

۳-۱-۳- تعریف قیود مسئله

قیود در نظر گرفته در این پژوهش عبارتند از:

$$\min_required_m \le \beta \times \sum_{i=1}^{n}\sum_{m=1}^{M} x_{im} \le \max_required_m \quad (۵)$$

$$\sum_{m=1}^{M} x_{im} = 1, x_{im} \in [0,1], \forall m = 1,\dots,M;\ \forall i = 1,\dots,n \quad (۶)$$

قید اول (رابطه‌ی ۵)، نشان‌دهنده‌ی قید مساحت هر کاربری بوده و به معنای آن است که مجموع مساحت کاربری mام در کل فرآیند تخصیص بایستی در بازه‌ی $[\min_required_m, \max_required_m]$ قرار بگیرد. در این قید β اندازه سلول تخصیص است. قید دوم (رابطه‌ی ۶) نیز تضمین می‌نماید که در هر سلول تخصیص فقط و فقط یک گونه کاربری اختصاص بیابد.

۳-۱-۴- معرفی نحوه‌ی ترکیب اهداف

به منظور ترکیب اهداف با یکدیگر و تبدیل مسئله‌ی بهینه‌سازی چند هدفه به یک مسئله‌ی تک هدفه روش‌های متنوعی نظیر برنامه‌ریزی اهداف[1]، مجموع وزنی و جز آن وجود دارد. در مقاله‌ی حاضر، از روش برنامه‌ریزی اهداف استفاده می‌شود. این روش در معادله‌ی ۷ نشان داده شده است.

$$f_{total} = \sum_{o=1}^{O}\left(w_o \times \left(1 - \frac{f_o^{max} - f_o}{f_o^{max}}\right)\right) \quad (۷)$$

در این رابطه، f_o^{max} بیشینه‌ی مقدار هدف O، f_o مقدار تابع هدف o و w_o وزن تابع o در میان سایر اهداف می‌باشد.

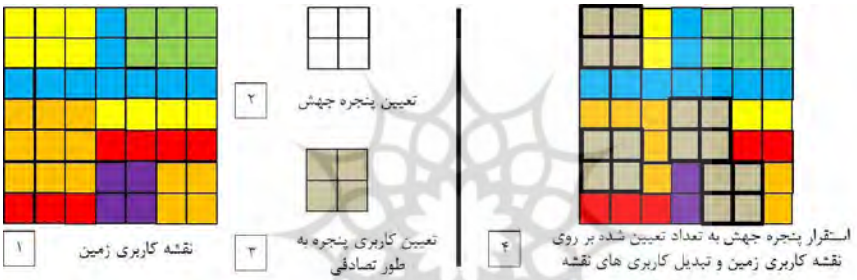
۳-۲- توسعه‌ی الگوریتم جست‌وجوی هارمونیک سازگار با تخصیص کاربری زمین

در الگوریتم جست‌وجوی هارمونیک پس از تولید نقشه‌های کاربری زمین (مجموعه جواب یا مجموعه‌ی هارمونیک) که قیود مسئله را ارضا می‌نمایند و تنظیم پارامترهای الگوریتم، تابع هدف برای نقشه‌ی کاربری زمین محاسبه می‌شود. سپس

[1] Goal programming

عددی تصادفی در بازه‌ی ۰ و ۱ تولید می‌شود، اگر این مقدار از r_{accept} بزرگتر باشد یک هارمونی تصادفی انتخاب می‌شود. اگر مقدار تصادفی از r_{pa} بزرگتر باشد، جواب انتخاب شده وارد فرآیند جهش شده و در غیر این صورت یک جواب تصادفی تولید می‌شود. در نهایت مقدار تابع هدف ترکیبیِ جواب محاسبه می‌شود. در صورتی که تابع هدف ارتقا یافته باشد، هارمونیک جدید قبول شده در غیر صورت مورد پذیرش قرار نمی‌گیرد. این مراحل تا زمانی که معیار توقف برآورده گردد تکرار می‌شود.

در مطالعه‌ی حاضر، دو عملگر جهش تعریف شده است. جهش اول در شکل ۲ نشان داده شده است. از آن‌جا که ممکن است خروجی حاصل از عملگر جهش، قیود مسئله را ارضا ننماید، عملگر جهش اصلاحیِ قیود تعریف شده است تا جواب حاصل را در محدوده‌ی قیود قرار دهد. این عملگر در جدول ۵ نشان داده شده است.



شکل ۲- نمایش نحوه‌ی عملکرد عملگرِ جهش

منبع: نگارنده، ۱۳۹۴

جدول ۵- عملگرِ جهش اصلاحیِ قیود

شروع

تشکیل ماتریس قیود شدنی (n گونه‌های کاربری زمین و nt_{in} تعداد سلول‌های با کاربری n در قید i)) constraint_set = $\begin{pmatrix} 1 & 2 & \dots & n \\ nt_{21} & nt_{22} & \cdots & nt_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ nt_{i1} & nt_{i2} & \dots & nt_{in} \end{pmatrix}$

جواب تولید شده از مرحله هم‌گذری (land_use_plan)

محاسبه‌ی تعداد گونه‌های کاربری موجود در land_use_plan ($\begin{pmatrix} 1 & 2 & \dots & n \\ nlt_1 & nlt_2 & \dots & nlt_n \end{pmatrix}$)

j =0

محاسبه

برای k=1:i

j=j+1

تعیین انحراف کاربری‌های موجود در land_use_plan از مجموعه قیود (minus_constrain_set = $(nt_{k1} \quad nt_{k2} \quad \dots \quad nt_{kn})$-$(nlt_1 \quad nlt_2 \quad \dots \quad nlt_n)$)

ذخیره‌سازی محاسبات (new_solution(k,j)= $|minus_constrain_set|$)

اتمام حلقه برای

انجام عمل جمع روی ستون‌های ماتریس new_solution (summation)

تعیین مینیمم summation (min_summation)

انتخاب قید با کمترین انحراف (selected_constraint)

تعیین میزان کمبود کاربری در جواب نسبت به قید انتخابی (shortage_extra_land_type)

تا زمانیکه تمام آرایه‌های موجود در shortage_extra_land_type برابر با صفر شود

انتخاب یک آرایه‌ی تصادفی از سطر دوم ماتریس shortage_extra_land_type با مقدار بزرگ‌تر از ۰ (a1)

محاسبه‌ی b1 ((shortage_extra_land_type(1,a1))

انتخاب یک آرایه‌ی تصادفی از سطر دوم ماتریس shortage_extra_land_type با مقدار کوچک‌تر از ۰ (a2)

محاسبه‌ی b2 ((shortage_extra_land_type(1,a2))

محاسبه‌ی change_index (find a random array in land_use_plan with type b1)

قرار دادن گونه‌ی کاربریِ change_index برابر با b2

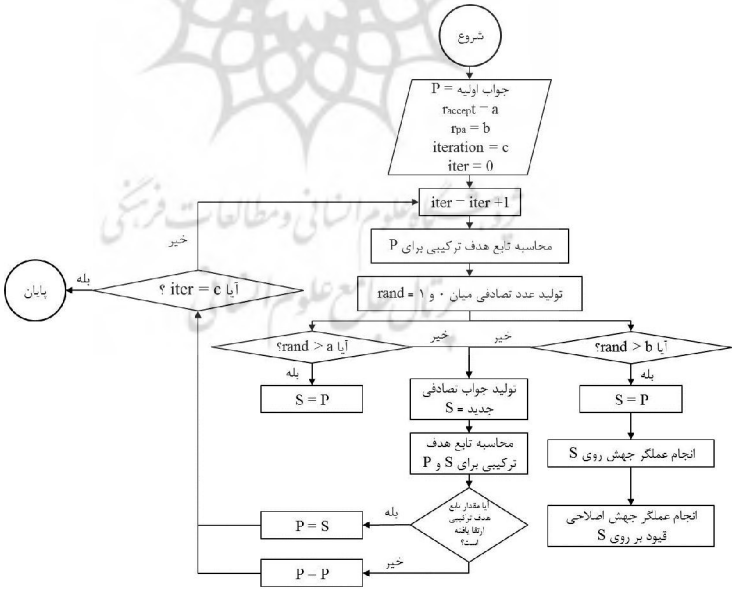
کم‌کردن یک واحد از a1

اضافه کردن یک واحد به a2

اتمام حلقه تازمانیکه

منبع: نگارنده، ۱۳۹۴

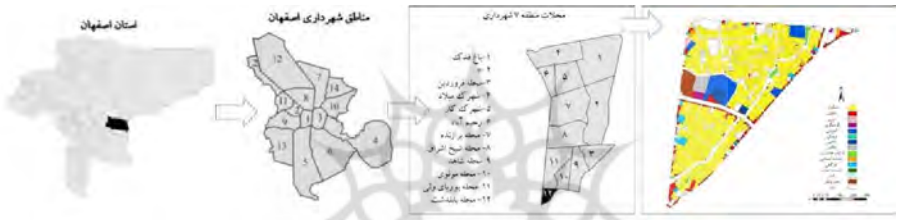
مراحل الگوریتم جست‌وجوی هارمونیک تطابق یافته با مسئله‌ی بهینه‌سازی کاربری زمین در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳- نمایش مراحلِ الگوریتم جست‌وجوی هارمونیک تطابق یافته با مسئله‌ی بهینه‌سازی کاربری زمین منبع: نگارنده، ۱۳۹۴

۳-۳- معرفی محدوده مورد مطالعه

محله‌ی بابلدشت در جنوب منطقه‌ی هفت شهر اصفهان واقع شده است. این محله در حدود ۲۰ هکتار از مساحت منطقه‌ی ۷ را به خود اختصاص داده است. این محله از جمله محلات ناپایدار شهر اصفهان از نظر عوامل اقتصادی،اجتماعی، کالبدی، زیربنایی و بهداشتی- رفاهی به شمار می‌رود (Nastaran et al., 2014) و از کمبود و عدم بهینگی کاربری‌های محلی به شدت رنج می‌برد (مهندسین مشاور شهر و خانه، ۱۳۸۶). محله‌ی بابلدشت به دلیل تعداد منطقی سلول‌های دربرگیرنده‌ی این محدوده نسبت به سایر محلات منطقه هفت شهر اصفهان، به عنوان بستر پیاده‌سازی الگوریتم جست‌وجوی هارمونیک انتخاب شده است (شکل ۴).

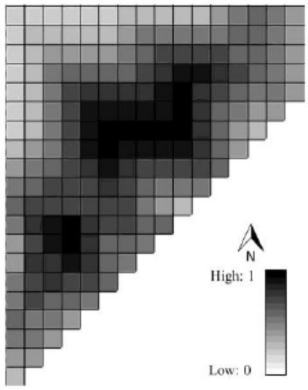


شکل ۴- نمایش محل قرارگیری محدوده‌ی مورد مطالعه
منبع: نگارنده، ۱۳۹۴

۴-۳- معرفی مفروضات مسئله و داده‌ها

- *گونه‌های کاربری:* کاربری‌های در نظر گرفته شده به منظور عمل تخصیص عبارتند از: مسکونی، تجاری، بهداشتی، آموزشی، ورزشی، فضای سبز و فرهنگی.
- *تعیین اندازه‌ی سلول تخصیص:* در مطالعه‌ی حاضر، مساحت سلول شبکه‌ی تخصیص برابر با ۱۰۰۰ متر مربع در نظر گرفته شده است.
- *سطوح مورد نیاز کاربری:* تعداد سلول‌های مورد نیاز برای کاربری‌های مسکونی، تجاری، آموزشی، بهداشتی، فضای سبز، فرهنگی و ورزشی در حالت کمینه به ترتیب برابر با ۱۰۳، ۱۰، ۱۵، ۱، ۴۱، ۴، و ۵ و در حالت بیشینه به ترتیب برابر با ۲۰۴، ۱۸، ۲۰، ۲، ۴۱، ۶ و ۹ برآورد شده است.

- *تناسب اراضی:* عامل فیزیکیِ تاثیرگذار بر نحوه‌ی استقرار کاربری‌ها, عامل فاصله از شبکه معابر موجود در نظر گرفته شده است. این عامل در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵- نمایش فاصله از معابر

منبع: نگارنده، ۱۳۹۴

میزان مطلوبیت حاصل برای هر گونه‌ی کاربری زمین با استفاده از روش دلفی و مشارکت ۱۵ نفر در این روش به شرح جدول ۶ محاسبه شده است.

جدول ۶- مطلوبیت کاربری برای معیار فاصله از شبکه معابر

تناسب اراضی (فاصله از شبکه معابر)		**میزان مطلوبیت برای کاربری**						
		مسکونی	تجاری	بهداشتی	آموزشی	ورزشی	فضای سبز	فرهنگی
فاصله	۰	۰,۲۵	۱	۰,۷۵	۰,۷۵	۰,۷۵	۰,۵	۰,۵
	۰,۲۵	۰,۲۵	۰,۷۵	۰,۷۵	۰,۷۵	۰,۷۵	۰,۵	۰,۵
	۰,۵	۰,۵	۰,۵	۰,۵	۰,۵	۰,۵	۰,۲۵	۰,۵
	۰,۷۵	۰,۷۵	۰,۲۵	۰,۲۵	۰,۵	۰,۵	۰,۲۵	۰,۲۵
	۱	۱	۰	۰	۰	۰,۲۵	۰,۲۵	۰,۲۵

منبع: نگارنده، ۱۳۹۴

- سازگاری: میزان سازگاری کاربری‌ها با استفاده از روش دلفی محاسبه شده است. خروجی نهایی مطابق با جدول ۷ به دست آمده است.

جدول ۷- مقدار سازگاری کاربری‌ها

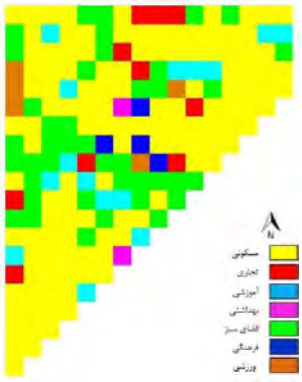
کاربری‌ها	مسکونی	تجاری	بهداشتی	آموزشی	ورزشی	فضای سبز	فرهنگی
مسکونی	۱	۰,۵	۰,۲۵	۰,۲۵	۰,۵	۰,۷۵	۰,۵
تجاری	۰,۵	۱	۰,۵	۰,۲۵	۰,۷۵	۱	۰,۷۵
بهداشتی	۰,۲۵	۰,۵	۱	۰,۲۵	۰,۲۵	۰,۷۵	۰,۲۵
آموزشی	۰,۲۵	۰,۷۵	۰,۲۵	۱	۰,۷۵	۱	۱
ورزشی	۰,۵	۰,۷۵	۰,۲۵	۰,۷۵	۱	۱	۰,۲۵
فضای سبز	۰,۷۵	۱	۰,۷۵	۱	۱	۱	۱
فرهنگی	۰,۵	۰,۷۵	۰,۲۵	۱	۰,۲۵	۱	۱

منبع: نگارنده، ۱۳۹۴

- وزن اهداف برای محاسبه‌ی رابطه‌ی ۷: وزن ترکیبی اهداف مختلف نیز با استفاده از روش دلفی محاسبه شده است. برای هدف اول، دوم و سوم مقدار این اوزان به ترتیب برابر با ۰,۷۱۷، ۰,۰۸۸ و ۰,۱۹۵ است.
- پارامترهای الگوریتم جست‌وجوی هارمونیک: تعداد تکرار الگوریتم، مقدار r_{accept}، r_{pa} و تعداد انجام عمل جهش در هر تکرار به طور تجربی و به ترتیب برابر با ۲۰۰۰۰، ۰,۹۵، ۰,۵، ۱۰ و ۳ تنظیم شده است. لازم به ذکر است که آرایش سلول‌های پنجره جهش به صورت خطی تعیین شده است.

۴- یافته‌ها و بحث

پس از تعیین داده‌های ورودی و پارامترهای الگوریتم جست‌وجوی هارمونیک، این الگوریتم بر روی محله‌ی بابلدشت اصفهان پیاده‌سازی شده است. الگوریتم جست و جوی هارمونیک در نرم‌افزار MATLAB® توسعه داده شده و به منظور اجرای آن از رایانه‌ای با CPU، CoreTM 2 Duo T9550 @ 2.66 GHz، و ۳ گیگابایت RAM استفاده شد. الگوریتم جست‌وجوی هارمونیک ابتدا به منظور بهینه‌سازی اهداف سازگاری، تناسب اراضی و فشردگی به کار گرفته شد تا امکان استانداردسازی مقادیر برای محاسبه‌ی رابطه‌ی ۷ فراهم شود. مقدار بهینه برای هدف فشردگی برابر با ۸۳۶، سازگاری ۱۰۹۹ و تناسب اراضی ۱۶۵,۵ به دست آمده است. خروجی حاصل از بهینه‌سازی تمامی اهداف به طور همزمان نشان می‌دهد که مقدار تابع هدف نهایی برابر با ۰,۹۰۴۷ بوده و این مقدار در ۱۹۲,۳۲ ثانیه حاصل شده است. شکل۶ آرایش بهینه‌ی کاربری‌ها در الگوی بهینه را نشان می‌دهد.



شکل ۶- نحوه استقرار کاربری‌ها در الگوی بهینه

منبع: نگارنده، ۱۳۹۴

در نهایت، خروجی الگوریتم توسعه داده شده در این پژوهش با الگوریتم ژنتیک و وضعیت موجودِ آرایش فضاییِ کاربری‌ها مقایسه شده است. زمان همگرایی الگوریتم ژنتیک ۶۰۰ و الگوریتم جست‌وجوی هارمونیک ۱۹۲,۳۲ ثانیه، و مقدار تابع هدف ترکیبی برای الگوریتم ژنتیک، جست‌وجوی هارمونیک و وضعیت موجود به ترتیب ۰,۶۵۴۱، ۰,۹۰۴۷ و ۰,۳۶۴ به دست آمده است.

مقایسه‌ی خروجی‌ها نشان داد که الگوریتم جست‌وجوی هارمونیک خروجی بهتری نسبت به الگوریتم ژنتیک هم از نظر کیفیت جواب (مقدار تابع هدف) و هم از نظر کارآیی الگوریتم (زمان رسیدن به جواب) تولید کرده است. میزان انحراف پاسخ‌های ارائه شده با مقدار ایده‌آل در الگوریتم‌های جست‌وجوی هارمونیک، ژنتیک و وضعیت موجود کاربری‌ها به ترتیب برابر با ۹,۵۳، ۳۴,۶ و ۶۳,۵ درصد بوده است. هم‌چنین، پاسخ حاصل از الگوریتم جست‌وجوی هارمونیک ۲۷,۷ درصد بهینه‌تر و ۶۸ درصد سریع‌تر از الگوریتم ژنتیک، و پاسخ الگوریتم ژنتیک ۴۴,۳۵ درصد از وضعیت موجود کاربری‌ها بهبودیافته‌تر بوده است. لازم به ذکر است که خروجی‌های هر دو الگوریتم نسبت به وضع موجود مناسب‌تر بوده و آرایش فضایی کاربری‌های تولیدشده توسط الگوریتم جست‌وجوی هارمونیک ۵۴,۰۷ درصد از آرایش فضایی وضع موجود کاربری‌ها ارتقا یافته‌تر است.

۵- نتیجه‌گیری

هدف اصلی پژوهش حاضر، پاسخ به این سوال بوده است که: "کاربری‌ها در بافت‌های شهری بایستی به چه میزان و با چه آرایشی توزیع شوند تا اهدافی خاص (مانند: فشردگی، سازگاری و جزآن) بیشینه و یا کمینه‌گردند؟" و در همین راستا به توسعه‌ی روشی نوین برای مواجهه با این پرسش و تسهیل فرآیند برنامه‌ریزی کاربری زمین پرداخته است. در این مطالعه، سه هدف و دو قید جهت تخصیصِ هفت گونه‌ی کاربری زمین به محله بابلدشت اصفهان در نظر گرفته شده و مبتنی بر الگوریتم جست‌وجوی هارمونیک، فرآیند بهینه‌سازی و تخصیص کاربری زمین پیاده‌سازی شده است. در نهایت، خروجی‌های حاصل از الگوریتم جست‌وجوی هارمونیک با الگوریتم ژنتیک و وضعیت موجود کاربری‌ها مورد مقایسه قرار گرفته است. اَهَمِّ نتایج پژوهش به شرح زیر است:

- کارآیی و کیفیت الگوریتم جست‌وجوی هارمونیک از الگوریتم ژنتیک در مسئله‌ی مورد نظر این پژوهش بالاتر است.
- مقدار تابع هدف ترکیبی در کلیه‌ی الگوریتم‌ها از مقدار این تابع در وضع موجود بهتر است.
- خروجی الگوریتم نشان می‌دهد که در وضعیت بهینه و با توجه به اهداف در نظر گرفته شده برای بهینه‌سازی، کاربری تجاری علاوه بر لبه‌های بیرونی، به صورت پراکنده در بخش‌های داخلی محدوده‌ی مورد مطالعه نیز استقرار یافته که دسترسی بالاتری را برای ساکنین موجود در بافت درونی امکان‌پذیر می‌سازد.
- خروجی الگوریتم نشان می‌دهد که با لحاظ نمودن سه هدف فشردگی، سازگاری و تناسب اراضی، کاربری فضای سبز به طور عمده در قسمت مرکزی محدوده‌ی مورد مطالعه قرار گرفته است.
- خروجی نهایی روش ارائه شده در مقاله‌ی حاضر نشان می‌دهد که با در نظر گرفتن سه هدف فشردگی، سازگاری و تناسب اراضی، کاربری درمانی (شامل دو سلول تخصیص) هم در قسمت شمالی و هم در قسمت جنوبی قرار گرفته است که پوشش مناسبی را برای کل محدوده فراهم می‌آورد.
- نقشه‌ی حاصل از الگوریتم جست‌وجوی هارمونیک نشان می‌دهد که در طرح کاربری پیشنهادی، کاربری فرهنگی و ورزشی در مجاورت فضای سبز قرار گرفته

است که با توجه به ویژگی‌های موجود در این سه کاربری، مجاورت آن‌ها با یکدیگر منجر به افزایش مطلوبیت محدوده‌ی مورد مطالعه می‌شود.

- خروجی الگوریتم نشان می‌دهد که با به‌کارگیری روش ارائه شده، چیدمانی از کاربری‌ها حاصل می‌شود که علاوه بر پاسخ به کمبودهای فعلی و جمعیت آتی، سطح فضای سبز به طور چشمگیری افزایش یافته است.
- خروجی روش جست‌وجوی هارمونیک نشان می‌دهد که پراکنش کاربری‌های خدماتی به طور عمده در مرکز و شمال محدوده‌ی مورد مطالعه رخ داده است که علت آن، تناسب بالاتر اراضی واقع در مرکز و شمال برای کاربری‌های خدماتی می‌باشد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع و مآخذ:

۱- بشیری، م.، کریمی، ح. ۱۳۹۰. کاربرد الگوریتم‌های ابتکاری و فراابتکاری در طراحی سیستم‌های صنعتی. دانشگاه شاهد. ۱۵۹ صفحه.

۲- پیراسته، ب.، رفیعیان، م.، احمدیان، ر. ۱۳۹۵. تحلیل تعارضات کاربری زمین با بهره‌گیری از مدل راهبرد شناسایی تعارضات کاربری‌ها (LUCIS) در شهرستان تنکابن. فصلنامه آمایش محیط، شماره ۳۸، ۴۸-۶۹.

۳- جلالی نائینی، غ.، جعفری اسکندری، م.، نوذری، ح. ۱۳۹۱. بهینه‌سازی مهندسی با تکیه بر روش‌های فراابتکاری. موسسه دیباگران تهران. ۲۵۶ صفحه.

۴- حاتمی، د.، عربی، زهرا.، رحمانی، ا. ۱۳۹۴. مکان‌یابی بهینه‌ی فضای سبز شهری با استفاده از مدل Fuzzy Logic و AHP، در محیط GIS (مونه موردی: شهر مشهد). فصلنامه آمایش محیط، شماره ۳۲، ۶۴-۸۴.

۵- حکمت‌نیا، ح.، موسوی، م. ۱۳۸۵. کاربرد مدل در جغرافیا با تاکید بر برنامه‌ریزی شهری و ناحیه‌ای. انتشارات علم نوین. ۳۹۰ صفحه.

۶- شایگان، م.، علیمحمدی، ع.، منصوریان، ع. ۱۳۹۱. بهینه‌سازی چندهدفه تخصیص کاربری اراضی با استفاده از الگوریتم ژنتیک نخبه‌گرا. نشریه سنجش از دور و GIS ایران، ج ۴، شماره ۲، ۱-۱۸.

۷- لحمیان، ر. ۱۳۹۶. پایش سازگاری کاربری‌های اراضی با برنامه‌ریزی صنعتی در محیط سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی(مطالعه‌ی موردی: شهرستان ساری). فصلنامه آمایش محیط، شماره ۳۸، ۱۷۰-۱۹۰.

۸- مهندسین مشاور شهر و خانه. ۱۳۸۶. طرح بازنگری طرح تفصیلی شهر اصفهان مناطق ۷ و ۸. معاونت شهرسازی و معماری شهرداری اصفهان.

9- Aerts, J.C., and Heuvelink, G.B.M. 2002. Using simulated annealing for resource allocation. International Journal of Geographical Information Science, 16(6): 571−587.

10- Balling, R.J., Taber, J.T., Brown, M.R., and K. Day, K. 1999. Multi objective urban planning using genetic algorithm. Journal of Urban Planning and Development, 125 (2): 86-99.

11- Cao, K., Batty, M., Huang, B., Liu, Y., Yu, L., and Chen, J. 2011. Spatial multi-objective land use optimization: extensions to the non-dominated sorting genetic algorithm-II. International

Journal of Geographical Information Science, 25(12): 1949-1969.

12- Cao, K., Bo, H., Shaowen, W., and Hui, L. 2012. Sustainable land use optimization using Boundary-based Fast Genetic Algorithm. Computers, Environment and Urban Systems, 36:257-269.

13- Chandramouli, M., Houang, B., and Xue, L. 2009. Spatial Change Optimization: Integrating GA with Visualization for 3D Scenario Generation. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 75(8): 1015-1022.

14- Chang, Y.C., and Ko, T. 2014. An interactive dynamic multi-objective programming model to support better land use planning. Land use policy, 36: 13-22.

15- Coello, C., Lamont, G., and Van Veldhuizen, D. 2007. Evolutionary Algorithms for Solving Multi-Objective Problems. USA: Springer.

16- Duh, J., and Brown, D.G. 2007. Knowledge-informed Pareto simulated annealing for multi-objective spatial allocation. Computers, Environment & Urban Systems, 31 (3): 253−281.

17- Feng, C.M., and Lin, J.J. 1999. Using a genetic algorithm to generate alternative sketch maps for urban planning. Computers, Environment & Urban Systems, 23(2): 91-108.

18- Hillier, F., and Lieberman, G. 2001. Introduction to operations research. USA: McGraw-Hill.

19- Leccese, M., and McCormick, K. 2000. Charter of the new urbanism. New York: McGraw-Hill Professional.

20- Ligmann.Z, A., Church, R., and Jankowski, P. 2008. Spatial optimization as a generative technique for sustainable multiobjective land-use allocation. International Journal of Geographical Information Science, 22(6): 601-622.

21- Liu, X., Lao, C., Li, X., Liu, Y., and Chen, Y. 2012. An integrated approach of remote sensing, GIS and swarm intelligence for zoning protected ecological areas. Landscape Ecology, 27:447-463.

22- Masoomi, Z., Mesgari, M., and Hamrah, M. 2013. Allocation of urban land uses by Multi-Objective Particle Swarm Optimization algorithm. International Journal of Geographical Information Science, 27(3): 542-566.
23- Nastaran, M., Ghalehnoee, M., and Sahebgharani, A. 2014. Ranking sustainability of urban districts through factor and cluster analysis (Case study: municipal districts of Isfahan). Armanshahr, 12: In press.
24- Peng, J., Wang, Y.L., Wu, J.S., and Li, Y.F. 2006. Ecological effects associated with land-use change in China's southwest agricultural landscape. International Journal of Sustainable Development & World Ecology, 13(4): 315-325.
25- Randolph, J. 2004. Environmental land use planning and management. Washington DC: Island Press.
26- Ravindra, K.A., B.Orlin, J., and Tiwari, A. 2000. A greedy genetic algorithm for quadratic assignment problem. Computers & Operation Research, 24: 917-934.
27- Sante-Riveira, I., M. Boullon-Magan, R. Crecente-Maseda., and Miranda-Barros, D. 2008. Algorithm based on simulated annealing for land-use allocation. Computers & Geosciences, 34(3): 259-268.
28- Verburg, P.H., Veldkamp, A., and Fresco, L.O. 1999. Simulation of changes in the spatial pattern of land use in China. Applied Geography, 19(3): 211-233.
29- Wang, X., Yu, S., and Huang, G. H. 2004. Land allocation based on integrated GIS optimization modeling at a watershed level. Landscape and Urban Planning, 66, 61–74.
30- Winston, L. 2004. Operations research applications and algorithms. USA: Thomson-Brooks/Cole.
31- Zhang, H., Zeng, Y., and Bian, L. 2010. Simulating Multi-Objective Spatial Optimization Allocation of Land Use Based on the Integration of Multi-Agent System and Genetic Algorithm. International Journal of Environmental Research, 4(4): 765-776.