ارائه مدل توسعه‌یافته فرا ابتکاری مبتنی‌بر الگوریتم ژنتیک چندهدفه جهت مدل‌سازی تغییر بهینه کاربری اراضی

جواد سدیدی*[1]، سیده زهرا درواری[2]

۱. استادیار گروه سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیای، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.
۲. دانشجوی کارشناسی‌ارشد سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

دریافت: ۹۵/۰۹/۱۳ پذیرش: ۹۶/۰۶/۲۰

چکیده

الگوی کاربری اراضی توسط بشر در حال تغییر مداوم است. با توجه به پیچیدگی‌ها و فضای گسترده جواب در تغییر کاربری، وجود اهداف مختلف و متناقض و درنهایت داشتن قیود مختلف، لزوم استفاده از الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک در حل این مسائل را دوچندان کرده است. در تحقیق حاضر مدلی برای بهینه‌سازی تغییر کاربری اراضی با استفاده از الگوریتم ژنتیک(GA) در بخشی از حوضه طالقان، با اهداف بیشینه کردن سود اقتصادی, سازگاری کاربری‌ها و کمینه کردن سختی تغییر کاربری ارائه می‌شود. بهینه‌سازی با در نظر گرفتن یک سری محدودیت‌ها در تغییر کاربری انجام شده است. در این تحقیق ابتدا داده‌های لازم توسط توابع و تحلیل‌های مکانی سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) تهیه و سپس فاکتورهای مؤثر در تابع هدف، با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت و درنهایت تغییر کاربری با استفاده از الگوریتم ژنتیک به‌گونه‌ای انتخاب‌شده که تابع هدف نهایی بهینه شود. نتایج نشان می‌دهد که الگوهای کاربری پیشنهادشده در این مدل می‌تواند سطح منفعت اقتصادی منطقه را در حدود ۴۸ درصد افزایش دهد؛ با این توضیح که تمامی الگوها تا حد امکان دارای سازگاری بالا و دشواری تغییر اندک هستند.

واژگان کلیدی: تغییر کاربری، الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک، بهینه‌سازی، منفعت اقتصادی.

---

* نویسنده مسئول: jsadidi@gmail.com

۱- مقدمه

امروزه یکی از دلایل مهم ایجاد تغییرات در پوشش و کاربری‌های سطح زمین، تعامل بشر با طبیعت و استفاده از منابع طبیعی برای بهبود کیفیت زندگی می‌باشد. در همین راستا این‌گونه تغییرات در کاربری اراضی، خسارت‌های جبران‌ناپذیری به طبیعت وارد کرده است. امروزه برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری برای استفاده بهینه از زمین بسیار پیچیده و دشوار شده که دلیل آن، وجود اهداف مختلف و متضادی همچون افزایش بهره‌وری از زمین به همراه سازگاری بین کاربری‌ها و رسیدن به حداکثر منفعت اقتصادی و غیره، می‌باشد (داتا[1] و همکاران، ۲:۲۰۰۷) تغییرات مداوم کاربری اراضی می‌تواند دربردارنده تأثیراتی چون از بین رفتن خاک، کاهش تنوع زیستی، آلودگی آب‌وهوا، تغییر در میزان رواناب، پیامدهای اقتصادی ـ اجتماعی و دیگر موارد باشد. ازآنجاکه بررسی چنین موضوعاتی به‌صورت مستقیم در روی زمین بسیار مشکل است، برای شناخت تأثیر کاربری‌های مختلف باید از مدل‌های کامپیوتری استفاده کرد (دب[2] و همکاران، ۲۰۰۵ :۳). ارزیابی تناسب کاربری اراضی به‌منظور تخصیص هر کاربری به مناسب‌ترین زمین، با هدف برآورد بیشترین کارایی کاربری تخصیص‌یافته و بیشترین سازگاری با دیگر کاربری‌ها، انجام می‌شود. این فرایند به علت تأثیرگذاری و وابستگی شدید کاربری‌های مختلف بر یکدیگر فرآیند پیچیده‌ای بشمار می‌رود و تأثیرگذاری فاکتورهای متعدد در تغییر کاربری‌ها بر پیچیدگی مسئله می‌افزاید. از طرفی مکان گزینی بهینه کاربری اراضی که بر مبنای معیارها و اطلاعات وسیعی صورت می‌گیرد در حال حاضر با روش‌های سنتی و دستی امکان‌پذیر نیست (نصیری، ۳:۱۳۸۸). استفاده از ابزاری قدرتمند در زمینه تغییر کاربری، ارائه و تحلیل داده‌های مکانی کاربری اراضی همانند سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS[3]) جهت حل این‌گونه مسائل امروزه اجتناب‌ناپذیر است. از طرفی بسیاری از روش‌ها و توابع استاندارد امروزی GIS در حل بعضی از مسائل پیچیده مکانی ناتوان بوده و استفاده از الگوریتم‌های هوشمند ازجمله الگوریتم‌های بهینه‌یابی چندهدفه می‌تواند در حل این‌گونه مسائل تصمیم‌گیری مکانی مفید باشد (هرزینگ۴ و همکاران، ۲۰۰۸ :۴). در سال‌های اخیر، تعدادی از الگوریتم‌های جستجو و بهینه‌یابی غیرکلاسیک مطرح‌شده‌اند که ازجمله آن‌ها می‌توان به الگوریتم‌های فرا ابتکاری[5] اشاره کرد که اصول تکامل طبیعی را برای

1. Datta
2. Deb
3. Geographic information system
4. Hezing
5. Meta-heuristic

جستجوی جواب بهینه تقلید می‌کنند. الگوریتم‌های فرا ابتکاری می‌توانند در هر بار اجرا چندین جواب بهینه را بیابند بنابراین گزینه‌های مناسبی برای حل مسائل بهینه‌سازی چندهدفه‌اند (دب و همکاران، ۲۰۰۶ :۴ و استوارت[1] و همکاران، ۲۰۰۴ : ۴ و ویلالتا کالدرون[2] و همکاران، ۲۰۱۰ :۴). روش‌های بهینه‌سازی چندهدفه کلاسیک در حل مسائل پیچیده، با نقص‌های عمده‌ای مانند محاسبات زیاد همراه‌اند (رفیع پور لنگرودی و همکاران، ۲۰۱۴ :۴). این روش‌ها در برخورد با مسائل دارای فضای جستجوی گسسته، فاقد کارایی لازم‌اند و این امر روش‌های مذکور را در حل مسائل بهینه‌سازی چندهدفه ناکارآمد می‌سازد. از طرفی الگوریتم‌های فراابتکاری به‌راحتی می‌توانند مسائلی را که از پیوستگی خاصی تبعیت نمی‌کنند یا فضای تصمیم موجه یکپارچه‌ای ندارند و یا توابع هدف آن‌ها دارای پارامترهای تصادفی‌اند، حل کنند(طبری و همکاران، ۳:۱۳۸۷). در زمینه بهینه‌سازی کاربری اراضی و آمایش سرزمین با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌یابی، تاکنون تحقیقات و پژوهش‌های فراوانی صورت گرفته است(شایگان و همکاران،۳۹۱۱ :۳ و علائی مقدم و همکاران، ۱۳۹۳ :۴ و متکان و همکاران، ۱۳۹۴ :۳۹ و کرینک[3]،۲۰۰۲: ۵۶ و بریاسولیس[4]، ۲۰۰۰ : ۱۲۲ و کاوو[5] و همکاران، ۱۹۵۲ :۲۰۱۱). نتایج حاکی از توانایی بالای این مدل در حل مسائل چندهدفه و پیچیده مکانی است. هدف از تحقیق حاضر، تعیین الگویی برای تغییر کاربری‌های موجود با در نظر داشتن سه تابع هدف منفعت اقتصادی، سازگاری و سختی با استفاده از الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک[6] در یکی از زیرحوزه‌های طالقان به نام گراپ است؛ به‌گونه‌ای که الگوهایی از آمایش سرزمین ایجاد کند که در آن سختی (دشواری) تغییر کاربری کمینه و سازگاری و منفعت اقتصادی بیشینه شود. بدین منظور ابتدا با مطالعه منابع اکولوژیک منطقه و با استفاده از دید کارشناسی در منطقه مورد مطالعه ضرایب منفعت اقتصادی، سازگاری و سختی تغییرات کاربری با روش AHP[7] محاسبه شده است. در ادامه با استفاده از توانایی الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک، کاربری‌های بهینه برای منطقه که اهداف موردنظر را برآورده سازند، تعیین شده‌اند. شایان‌ذکر است که نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق قابل‌تعمیم به حوزه‌های دیگر با رعایت تغییر ضرایب مختص هر منطقه می‌باشد.

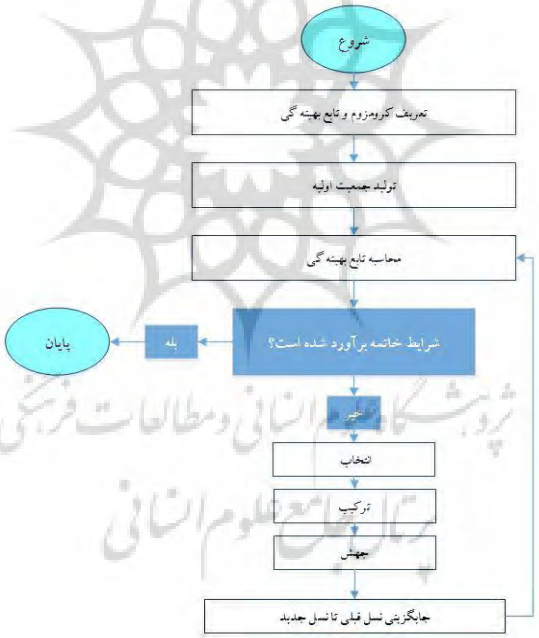
---

1. Stewart
2. Villalta-Calderon
3. Krink
4. Briassoulis
5. Cao
6. Genetic Meta-heuristic Algorithm
7. analytic hierarchy process

۲- مبانی نظری

۲-۱- الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک

الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک از نظریه تکامل داروین الهام گرفته‌شده است (یه[1]و همکاران، ۲۰۰۷ :۱۰۷۸و یانگ[2]و همکاران، ۲۰۰۸ :۴۷) و امروزه به‌طور گسترده در حل مسائل بهینه‌سازی و فرایندهای یادگیری به کار می‌رود (شتا[3]و همکاران، ۲۰۰۶ :۷۱). به‌طورکلی در طبیعت از ترکیب کروموزوم‌های مناسب نسل‌های بهتری پدید می‌آیند. دراین‌بین گاهی جهش‌هایی نیز در کروموزوم‌ها رخ می‌دهد که ممکن است باعث بهتر شدن نسل بعدی شوند. الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک نیز با استفاده از این ایده اقدام به حل مسائل می‌کند(شتا و همکاران، ۲۰۰۶ :۷۱). شکل ۱ مراحل حل یک مسئله بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک را نشان می‌دهد. الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک از عملگرهای مختلفی جهت حل مسائل بهره می‌برد که در ادامه تشریح می‌شود.



شکل ۱ روند حل مسئله بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک (سعیدیان و همکاران،۱۳۹۴)

1. Yeh
2. Yang
3. Sheta

تعریف ژن[1]: هرکدام از پارامترهای تصمیم (یعنی پارامترهایی که انتخاب و تعیین مقدار آن‌ها نقشی در تابع بهینگی دارند) در این الگوریتم به‌عنوان یک ژن تلقی می‌شوند (سیواناندم[2] و همکاران، ۲۰۰۷: ۴۰).

کروموزوم[3]: مجموعه‌ای شامل تمامی ژن‌ها (پارامترهای تصمیم) که مقداردهی می‌شوند، یک کروموزوم نامیده می‌شود که یک جواب ممکن از مسئله است (همان: ۴۱).

محاسبه تابع بهینگی[4]: مرحله برازش برای هر کروموزوم مقدار تابع بهینگی را محاسبه می‌کند که همان احتمال ترکیب آن برای تولید نسل‌های آینده است. بنابراین کروموزوم‌های بهینه شانس بیشتری برای ترکیب با دیگر کروموزوم‌ها دارند (همان).

انتخاب[5]: این عملگر کروموزوم‌های انتخابی را با هم ترکیب می‌کند تا شاید کروموزوم‌های فرزند حاصل از ترکیب، از کروموزوم‌های والد بهتر باشد. به‌طورمعمول عملگر ترکیب روی یک جفت از کروموزوم‌ها عمل می‌کند و یک یا دو فرزند برای هر جفت تولید می‌شود (همان).

جهش[6]: به‌منظور اجتناب از همگرایی به بهینه محلی و ایجاد تنوع و گوناگونی در جمعیت, با استفاده از عملگر جهش یک تعداد از کروموزوم‌ها به‌دست‌آمده از ترکیب تغییر داده می‌شود (همان).

۳- منطقه موردمطالعه و داده‌ها

منطقه طالقان در ۱۲۰ کیلومتری شمال غربی تهران در جهت شرقی- غربی، در میان دره بزرگی در کوه‌های البرز قرار دارد. محدوده مطالعاتی این تحقیق، یکی از زیرحوزه‌های طالقان به نام گراپ می‌باشد (شکل ۲). داده‌های مورداستفاده در این تحقیق شامل نقشه کاربری اراضی منطقه (تهیه‌شده از تصویر ماهواره لندست با استفاده از روش طبقه‌بندی حداکثر شباهت و دقت ۹۲ درصد) و همچنین ضرایب فاکتورهای(با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی AHP) بکار رفته در تابع هدف می‌باشد. که مراحل تهیه آن در بخش مراحل انجام تحقیق به تفضیل بیان شده است.

1. Gene
2. Sivanandam
3. Choromozome
4. Fitness
5. Selection
6. Mutation

شکل ۲ منطقه موردمطالعه

۴- مراحل انجام تحقیق

در تحقیق حاضر نقشه کاربری اراضی منطقه از تصویر ماهواره لندست با استفاده از روش طبقه‌بندی حداکثر شباهت با دقت ۹۲ درصد تهیه‌شده است که به‌عنوان ورودی توابع هدف و ساخت کروموزوم‌های اولیه (جمعیت اولیه) استفاده شده است. در این تحقیق همچنین نیاز به ضرایب فاکتورهای بکار رفته در تابع هدف می‌باشد که این ضرایب با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی AHP محاسبه‌شده‌اند . شکل۳ فلوچارت مراحل انجام تحقیق را نشان می‌دهد:

شکل ۳ فلوچارت مراحل انجام تحقیق

با توجه به شکل ۳، روش کلی کار بدین‌صورت است که ابتدا داده‌های موجود شامل نقشه کاربری اراضی و اطلاعات توصیفی آن‌ها، اطلاعات موردنیاز برای محاسبه تابع بهینگی (منفعت اقتصادی ناشی از تغییر کاربری‌ها، سختی و سازگاری تغییر کاربری‌ها) تهیه و آماده‌شده است سپس با استفاده از توابع تحلیل سیستم اطلاعات مکانی پیش‌پردازشی روی‌داده‌ها صورت گرفته است. در این تحقیق لایه کاربری با توجه به کوچک‌ترین مساحت کاربری‌ها به‌صورت پیکسل‌های ۲,۲۵ هکتاری شبکه‌بندی شده است.

در مورد علت استفاده از پیکسل بندی می‌توان بیان داشت که با این کار تعداد شبکه‌های مورداستفاده در مدل کمتر شده و این موضوع در سریع‌تر ران شدن نرم‌افزار تأثیر بسزایی داشته است. از طرفی همسایگی از طریق متوسط گیری پیکسل‌های اطراف هر پیکسل محاسبه شده است. در مرحله بعد مسئله بهینه‌سازی تغییر کاربری اراضی مدل شده و سپس مدل توسعه داده‌شده، با توجه به فاکتورهای موردنظر در مسئله اجرا شده است.

۴-۱- مدل‌سازی مسئله در الگوریتم

در این بخش مسئله تغییر کاربری در الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک مدل‌سازی شده است. در ادامه تعریف یک جواب (کروموزوم در الگوریتم ژنتیک)، تعریف تابع بهینگی، ایجاد جمعیت اولیه، و ارزیابی تابع بهینگی به ترتیب تشریح می‌گردد.

۴-۱-۱- تعریف یک جواب مسئله در فضای بهینه‌سازی

برای تعریف یک جواب، به هر قطعه زمین یک ایندکسی تخصیص داده می‌شود. به‌طوری‌که واحد مکانی تعریف‌شده، ۲,۲۵ هکتار مساحت دارد. کاربری اولیه (شرایط موجود) هر پیکسل با توجه به نقشه کاربری و با استفاده از همپوشانی شبکه‌ها با نقشه کاربری به‌دست‌آمده است. با توضیح این‌که ایندکس کاربری برای هر پیکسل بر اساس اختصاص بیش از ۶۰ درصد از مساحت هر شبکه به کاربری موردنظر انتخاب شده است. از طرفی با بررسی‌های انجام‌شده در منطقه مینیمم اختصاص‌یافته به هر کاربری ۲ هکتار بوده، که این خود علت دیگر انتخاب پیکسل‌های ۲,۲۵ هکتاری برای مدل‌سازی کاربری در این منطقه می‌باشد. یک جواب در صورت داشتن n زمین (در این تحقیق۲۷۱۴ قطعه زمین)، به‌صورت شکل(۴) تعریف می‌شود که در آن L کاربری بهینه تغییریافته در همان قطعه زمین

می‌باشد. به شرطی که قیودی که قبلاً توضیح داده‌شده در آن رعایت شود و تابع بهینه موردنظر مینیمم شود. درنتیجه مقادیر L_i بین ۱ الی تعداد کاربری‌ها (در این تحقیق ۸) جایگزین شده است.

L1	L2	L3	L4	L5	...	Ln

شکل ۴ یک جواب مسئله

۴-۱-۲- تعریف تابع بهینگی و قیود مسئله

در تحقیق حاضر به‌منظور تولید الگوهای تغییر کاربری، سه تابع هدف منفعت اقتصادی(f_1)، سازگاری کاربری‌ها(f_2) و دشواری تغییر کاربری‌ها(f_3) به‌صورت یک مسئله بهینه‌سازی چندهدفه در نظر گرفته‌شده و سه تابع هدف تبدیل به یک تابع هدف شده‌اند رابطه(۱). البته با این توضیح که هر کاربری با ایندکس موردنظر خود وارد مدل شده و در تمامی موارد قیود مسئله رعایت شده است.

$$F(x) = \sum_{1}^{n} \left(\frac{f3}{f1+f2}\right) \quad (۱)$$

در این رابطه f_1 نشان‌دهنده منفعت اقتصادی، f_2 مبین سازگاری کاربری‌ها، f_3 همان دشواری تغییر کاربری‌ها و n تعداد واحدهای مکانی در منطقه می‌باشد. هدف در اینجا مینیمم کردن این تابع می‌باشد و واضح است که برای نیل به این هدف باید صورت کسر تا حد امکان مینیمم و مخرج کسر تا حد امکان ماکزیمم شود.

منفعت اقتصادی: رسیدن به حداکثر سودمندی الگوهای تغییر کاربری هدف اصلی این تابع می‌باشد. در تهیه ماتریس منفعت اقتصادی تغییر کاربری‌ها فقط به اقتصاد بازاری تغییر کاربری‌ها توجه نشده است بلکه منفعت اقتصادی در این تحقیق شامل داشتن کمینه فرسایش و بیشینه رطوبت خاک و اکسیژن می‌باشد. چراکه کمینه فرسایش و بیشینه رطوبت خاک و اکسیژن از اهداف توسعه پایدار می‌باشد که در هر تغییر کاربری باید موردتوجه قرار گیرد. برای اعمال این تابع هدف ابتدا با استفاده ازنظر کارشناسی، ماتریس منفعت اقتصادی تغییر کاربری‌ها با در نظر گرفتن فاکتورهای موردنظر تهیه شده است، سپس با استفاده از روش AHP سطوح منفعت اقتصادی وزن‌دهی شده و در ادامه به کمک رابطه (۲) منفعت اقتصادی تغییر کاربری فعلی یک پیکسل به کاربری مدنظر محاسبه شده است.

$$\text{Maximize: } F_1 = \sum_i^n \sum_j^n P_{ij} \quad (۲)$$

که در آن، $P_{i,j}$ منفعت اقتصادی تغییر کاربری پیکسل (i,j) از کاربری فعلی آن به کاربری پیشنهادی است. جدول (۱) ماتریس به‌دست‌آمده از منفعت اقتصادی را با استفاده مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره AHP نشان می‌دهد. در این جدول عدد ۱۰۰۰- در ماتریس نشان‌دهنده آن است که دو کاربری نمی‌تواند و یا نباید به یکدیگر تبدیل شود.

جدول ۱ ماتریس منفعت اقتصادی به‌دست‌آمده از تغییر کاربری‌ها با مدل تصمیم‌گیری AHP به درصد

	بوته‌زار مرتع و بیشه	مخلوط زراعت و باغات	زراعت	باغات	جنگل تنک	مرتع درجه ۳	عوارض انسان‌ساز	جنگل متراکم
بوته‌زار مرتع و بیشه	۰/۱	۰/۳۷۳	۰/۲۷۶	۰/۲۷۶	۰/۱۵۹	۰/۰۲۴	-۱۰۰۰	-۱۰۰۰
مخلوط زراعت و باغات	۰/۰۲۴	۰/۱	۰/۱	۰/۱	-۱۰۰۰	۰/۰۲۴	-۱۰۰۰	-۱۰۰۰
زراعت	۰/۰۲۴	۰/۱	۰/۱	۰/۲۷۶	۰/۰۲۴	۰/۰۲۴	-۱۰۰۰	-۱۰۰۰
باغات	۰/۰۲۴	۰/۲۷۶	-۱۰۰۰	۰/۱	۰/۰۵	۰/۰۲۴	-۱۰۰۰	-۱۰۰۰
جنگل تنک	۰/۰۵	-۱۰۰۰	-۱۰۰۰	۰/۲۷۶	۰/۱	۰/۰۳۴	-۱۰۰۰	۰/۳۷۳
مرتع درجه ۳	۰/۱۵۹	-۱۰۰۰	-۱۰۰۰	۰/۲۷۶	۰/۱۵۹	۰/۱	-۱۰۰۰	-۱۰۰۰
عوارض انسان‌ساز	۰/۱۵۹	-۱۰۰۰	-۱۰۰۰	-۱۰۰۰	-۱۰۰۰	-۱۰۰۰	۰/۱	-۱۰۰۰
جنگل متراکم	-۱۰۰۰	-۱۰۰۰	-۱۰۰۰	-۱۰۰۰	-۱۰۰۰	-۱۰۰۰	-۱۰۰۰	-۱۰۰۰

سازگاری کاربری‌ها: افزایش سازگاری کاربری‌ها در الگوهای خروجی مدل دلیل اصلی استفاده از این تابع هدف می‌باشد تا ارتباط هر کاربری با محدوده اطراف آن به‌گونه‌ای باشد که تأثیرات ناخواسته میان آن کاربری با کاربری‌های مجاور به حداقل برسد. این تابع هدف براساس میزان سازگاری کاربری هر واحد مکانی با کاربری واحدهای مکانی مجاور محاسبه می‌شود. این ماتریس، سطوح مختلف سازگاری میان کاربری‌های گوناگون را به کمک دانش کارشناسی مشخص می‌کند. برای این منظور، به کمک روش AHP سطوح سازگاری کاربری‌ها وزن‌دهی شد و با استفاده از رابطه‌های (۳) و (۴)، سازگاری هر کاربری با کاربری‌های همسایه خود محاسبه گردید.

$$\text{Maximize:} \quad F_2 = \sum_i^n \sum_j^n C_{ij} \qquad (۳)$$

$$C_{i,j} = \frac{\sum_{h=1}^{n} C_{i,j,h}}{n} \qquad (۴)$$

در رابطه (۳)، $C_{i,j}$ میانگین سازگاری پیکسل (i,j) با همسایه‌های خود است. در رابطه (۴)، $C_{i,j,h}$ سازگاری پیکسل (i,j) با همسایه hام خود و n تعداد همسایه‌های پیکسل (i,j) است. i و j نیز شماره سطر و ستون پیکسل‌ها هستند. جدول (۳) ماتریس به‌دست‌آمده از سازگاری کاربری‌ها را با استفاده

مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره AHP را نشان می‌دهد. در این جدول عدد ۱۰۰۰- در ماتریس نشان‌دهنده آن است که دو کاربری نمی‌تواند و یا نباید به یکدیگر تبدیل شود.

جدول ۲ ماتریس به‌دست‌آمده از سازگاری تغییر کاربری‌ها با مدل تصمیم‌گیری AHP به درصد

	بوته‌زار مرتع و بیشه	مخلوط زراعت و باغات	زراعت	باغات	جنگل تنک	مرتع درجه ۳	عوارض انسان‌ساز	جنگل متراکم
بوته‌زار مرتع و بیشه	۰/۵۳۷	۰/۲۱۳	۰/۰۸۱	۰/۰۸۱	۰/۲۱۳	۰/۵۳۷	۰/۰۳۹	۰/۲۱۳
مخلوط زراعت و باغات	۰/۲۱۳	۰/۵۳۷	۰/۵۳۷	۰/۵۳۷	۰/۰۸۱	۰/۲۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳
زراعت	۰/۰۸۱	۰/۵۳۷	۰/۵۳۷	۰/۵۳۷	۰/۰۲۴	۰/۲۱۳	۰/۰۳۹	۰/۱۳
باغات	۰/۰۸۱	۰/۵۳۷	۰/۵۳۷	۰/۵۳۷	۰/۰۸۱	۰/۲۱۳	۰/۰۳۹	۰/۱۳
جنگل تنک	۰/۲۱۳	۰/۰۸۱	۰/۰۸۱	۰/۲۱۳	۰/۲۱۳	۰/۲۱۳	۰/۰۳۹	۰/۵۳۷
مرتع درجه ۳	۰/۵۳۷	۰/۲۱۳	۰/۲۱۳	۰/۲۱۳	۰/۵۳۷	۰/۵۳۷	۰/۰۳۹	۰/۰۸۱
عوارض انسان‌ساز	۰/۰۳۹	۰/۱۳	-۰/۱۳	۰/۰۳۹	۰/۰۳۹	۰/۰۳۹	۰/۵۳۷	۰/۰۳۹
جنگل متراکم	-۱۰۰۰	-۱۰۰۰	-۱۰۰۰	-۱۰۰۰	-۱۰۰۰	-۱۰۰۰	-۱۰۰۰	-۱۰۰۰

دشواری تغییر کاربری‌ها: به‌حداقل‌رساندن دشواری تغییر کاربری‌ها در الگوهای خروجی مدل، یکی از اهداف تحقیق حاضر است. برای محاسبه دشواری تغییر کاربری‌ها از ماتریس دشواری تغییر کاربری‌ها استفاده شده است. ابتدا با استفاده از روش AHP، سطوح مختلف دشواری تغییر کاربری‌ها وزن‌دهی شده و در ادامه با استفاده از رابطه (**۵**) مقدار دشواری تغییر از کاربری فعلی هر پیکسل به کاربری مدنظر محاسبه شده است.

$$\text{Minimize: } F_3 = \sum_i^n \sum_j^n D_{ij} \qquad (۵)$$

که در آن، $D_{i,j}$ دشواری تغییر کاربری از کاربری فعلی پیکسل (i,j) به کاربری پیشنهادشده در مدل است. جدول(۳) ماتریس به‌دست‌آمده از دشواری تغییر کاربری‌ها را با استفاده مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره AHP را نشان می‌دهد. در این جدول عدد ۱۰۰۰- در ماتریس نشان‌دهنده آن است که دو کاربری نمی‌تواند و یا نباید به یکدیگر تبدیل شود.

جدول ۳ ماتریس به‌دست‌آمده از دشواری تغییر کاربری‌ها با مدل تصمیم‌گیری AHP به درصد

	بوته‌زار مرتع و بیشه	مخلوط زراعت و باغات	زراعت	باغات	جنگل تنک	مرتع درجه ۳	عوارض انسان‌ساز	جنگل متراکم
بوته‌زار مرتع و بیشه	۰	۰/۲۴۲	۰/۲۴۲	۰/۲۴۲	۰/۵۲۳	۰/۰۵۹	-۱۰۰۰	-۱۰۰۰
مخلوط زراعت و باغات	۰/۲۴۲	۰	۰/۰۳۶	۰/۰۳۶	-۱۰۰۰	۰/۱۴۱	-۱۰۰۰	-۱۰۰۰
زراعت	۰/۲۴۲	۰/۰۳۶	۰	۰/۰۵۹	۰/۲۴۲	۰/۱۴۱	-۱۰۰۰	-۱۰۰۰
باغات	۰/۲۴۲	۰/۰۳۶	-۱۰۰۰	۰	۰/۲۴۲	۰/۲۴۲	-۱۰۰۰	-۱۰۰۰
جنگل تنک	۰/۰۵۹	-۱۰۰۰	-۱۰۰۰	۰/۱۴۱	۰	۰/۰۵۹	-۱۰۰۰	۰/۰۳۶
مرتع درجه ۳	۰/۰۵۹	-۱۰۰۰	-۱۰۰۰	۰/۲۴۲	۰/۱۴۱	۰	-۱۰۰۰	-۱۰۰۰
عوارض انسان‌ساز	-۱۰۰۰	-۱۰۰۰	-۱۰۰۰	-۱۰۰۰	-۱۰۰۰	-۱۰۰۰	۰	-۱۰۰۰
جنگل متراکم	-۱۰۰۰	-۱۰۰۰	-۱۰۰۰	-۱۰۰۰	-۱۰۰۰	-۱۰۰۰	-۱۰۰۰	-۱۰۰۰

مدل بهینه‌سازی پیشنهادی دارای قیودی می‌باشد که به‌صورت ماتریسی در جدول(۴) نشان داده‌شده است. این ماتریس قیدهای مسئله را بیان می‌کند، به‌طوری‌که عدد یک در ماتریس نشان‌دهنده آن است که دو کاربری نمی‌تواند و یا نباید به یکدیگر تبدیل شود. برای مثال کاربری بوته‌زار و مرتع و بیشه نمی‌تواند به کاربری عوارض انسان‌ساز و جنگل متراکم تبدیل شود و یا کاربری جنگل تنک نباید به کاربری مخلوط زراعت و باغات، زراعت و عوارض انسان‌ساز تبدیل شود. و عدد۰ بدین معنی می‌باشد که دو کاربری می‌توانند به یکدیگر تبدیل شوند همچنین عدد ۱۰۰۰- به معنای وجود نداشتن کاربری در منطقه می‌باشد که با استفاده از روش بهینه‌سازی فرا ابتکاری، در مجموعه یکی از کاربری‌های منطقه قرار داده شده است.

جدول۴ ماتریس قیدهای موجود در مسئله

	بوته‌زار مرتع و بیشه	مخلوط زراعت و باغات	زراعت	باغات	جنگل تنک	مرتع درجه ۳	عوارض انسان‌ساز	جنگل متراکم
بوته‌زار مرتع و بیشه	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱
مخلوط زراعت و باغات	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۱
زراعت	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱
باغات	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۱
جنگل تنک	۰	۱	۱	۰	۰	۰	۱	۰
مرتع درجه ۳	۰	۱	۱	۰	۰	۰	۱	۱
عوارض انسان‌ساز	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱
جنگل متراکم	-۱۰۰۰	-۱۰۰۰	-۱۰۰۰	-۱۰۰۰	-۱۰۰۰	-۱۰۰۰	-۱۰۰۰	-۱۰۰۰

۴-۱-۳- ایجاد جمعیت اولیه:

تعدادی جواب به‌صورت تصادفی به‌منظور ایجاد جمعیت باید تولید شود. برای ایجاد یک جواب به هر پیکسل یک نوع کاربری اختصاص می‌یابد (شکل ۵) به‌طوری‌که قیود مسئله رعایت گردد در غیر این صورت آن جواب حذف و جواب جدید که این قیود در آن رعایت شده است، ایجاد می‌شود. برای تولید جمعیت اولیه باید به تعداد اعضای نسل به همین صورت جواب تصادفی ایجاد شود.

۴-۱-۴- انتخاب دو والد:

به‌منظور انتخاب دو والد از روش چرخ گردان (چرخ رولت) استفاده شده است. در این روش احتمال انتخاب برای هر کروموزوم با نسبت برازندگی آن کروموزوم نسبت به مجموع برازندگی تمامی کروموزوم‌ها در جمعیت برابر است.

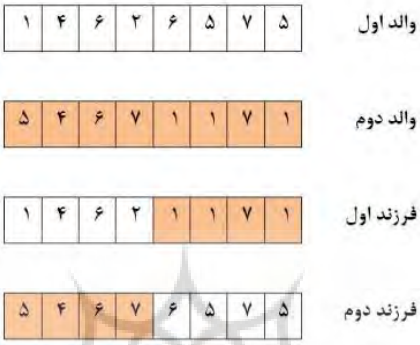
۴-۱-۵- ترکیب دو والد:

در این تحقیق جهت ترکیب دو والد از ترکیب تک نقطه‌ای استفاده شده است. در این روش یک نقطه (که می‌تواند از قبل تعیین شود و یا به‌طور تصادفی انتخاب می‌شود) در کروموزوم‌های والد انتخاب‌شده و هر کروموزوم در این نقطه به دو بخش تقسیم می‌شود و بخشی از یک کروموزوم والد با بخشی دیگر از کروموزوم والد دیگر با همدیگر ترکیب می‌شوند. در شکل (۵) مثالی از ترکیب در مسئله تغییر کاربری نمایش داده شده است. در این شکل و شکل‌های بعدی به‌منظور سادگی شکل‌ها تعداد ژن کروموزوم هشت عدد فرض شده که بسیار کمتر از تعداد واقعی آن‌ها است که در اصل نشان‌دهنده تعداد قطعه زمین‌ها می‌باشند. با این‌گونه ترکیب، قیدهای مسئله نیز رعایت می‌شود چراکه در تشکیل جمعیت اولیه این قیدها لحاظ شده است .

۴-۱-۶- عملگر جهش:

پس از انجام ترکیب بر روی کروموزوم‌ها، نوبت به انجام عمل جهش می‌رسد. بدین منظور عددی به‌طور تصادفی بین صفرتایک انتخاب می‌شود؛ اگر عدد کوچک‌تر از نرخ جهش بود، برای این کروموزوم جهش انجام می‌شود. روند جهش به این صورت است که دو ژن به‌صورت تصادفی انتخاب می‌شود. سپس کاربری این ژن‌ها به‌طور تصادفی و به‌گونه‌ای تغییر می‌یابد که قیود مسئله برقرار باشد.

درصورتی‌که قیود مسئله رعایت نشود باید ژن موردنظر به کاربری دیگری به‌طور تصادفی تغییر کند تا قیود مسئله برقرار شود. این عملیات n بار انجام می‌شود. تا کاربری مناسب انتخاب شود. شکل(۶) نمونه‌ای ازاین‌گونه جهش را در صورت یک تغییر ارائه شده است.



شکل ۵ نمایش ترکیب دو والد و تشکیل فرزند جدید

شکل ۶ نمونه‌ای از جهش در تغییر کاربری

۴-۱-۷- نخبه‌گرایی(Elitism)

نخبه‌گرایی در این الگوریتم بهادادن بیشتر به نخبه‌ها است. در این تحقیق نخبه‌گرایی از طریق درصد نخبه‌گرایی اعمال می‌شود. این پارامتر تعداد کروموزوم‌های نخبه هر نسل بهترین تابع بهینگی را دارند و این تعداد کروموزوم‌ها بدون تغییر به نسل بعد منتقل می‌شوند و بقیه اعضای نسل بعدی توسط ترکیب و جهش تولید می‌شوند.

۴-۱-۸- شرایط خاتمه

بعد از ذخیره بهترین جواب، شرط خاتمه الگوریتم بررسی می‌شود. اگر این شرط یا شروط برآورده شود، الگوریتم خاتمه می‌یابد و جواب نهایی ذخیره می‌شود(بهترین جواب در بین بهترین هر تکرار).

در غیر این صورت الگوریتم تکرار می‌شود. شرط توقف می‌تواند رسیدن به دقتی خاص، تعداد تکرارهای خاص، زمان خاص یا ترکیبی از این‌ها باشد. در این تحقیق به‌منظور ساده‌سازی روند پیاده‌سازی و اجرای الگوریتم، شرط توقف, تعداد اجرای خاص(۳۰۰۰ تکرار) در نظر گرفته‌شده است.

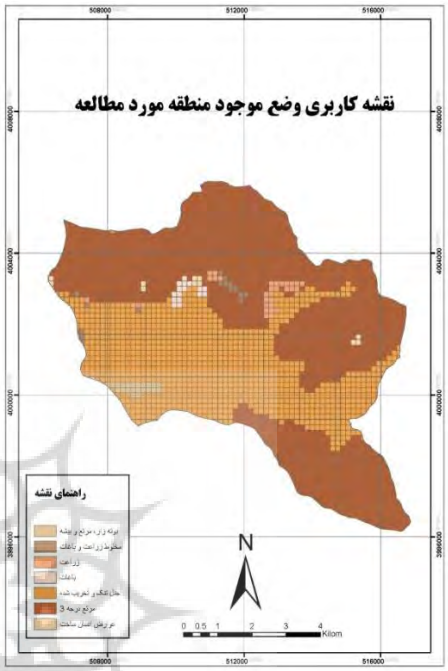
۵- نتایج و بحث:

در این تحقیق از نرم‌افزار MATLAB به‌منظور مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. مقادیر بهینه پارامترهای اولیه الگوریتم بر اساس تجربیات به‌دست‌آمده از تکرارهای مختلف الگوریتم و به‌صورت سعی‌وخطا، به دست آمده است (جدول۵).

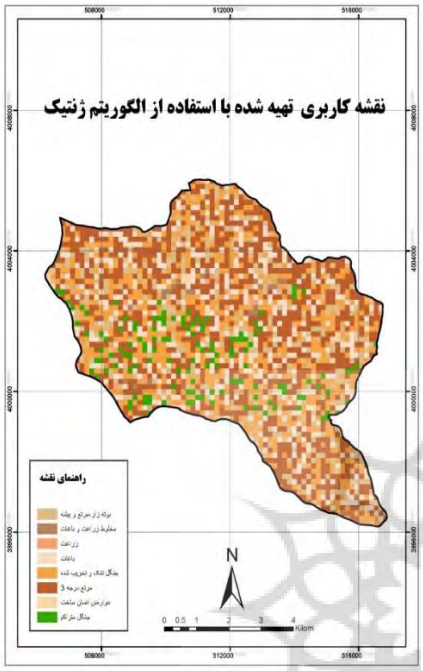
الگوریتم ژنتیک فرا ابتکاری GA	
تعداد جمعیت اولیه	۱۰۰
درصد نخبه‌گرایی	۲۰ درصد
تعداد تقاطع در ترکیب	تک نقطه - شماره ژن ۱۴۰۰
نرخ جهش	۰,۳
تعداد ژن تغییر در جهش	۳۰۰
تعداد تکرارها (شرط توقف)	۳۰۰۰-۱۰۰

جدول ۵ پارامترهای استفاده شده در الگوریتم

در منطقه موردمطالعه بیشتر کاربری‌ها را مرتع درجه ۳ تشکیل می‌دهد با توجه به تغییر کاربری منطقه، این مسئله مشهود است که سختی بالا می‌رود چراکه تنها در صورت تغییر نکردن کاربری سختی وجود ندارد و از طرفی تعلق داشتن حجم بالایی از مساحت حوضه به مرتع درجه ۳, سازگاری تغییر کاربری را پایین می‌آورد. در این تحقیق، درصورتی‌که هیچ تغییر کاربری نداشته باشیم مقدار تابع منفعت اقتصادی ۲۷۱,۳۹، تابع سازگاری ۱۳۸۴,۱۵ و تابع سختی صفر و میزان تابع بهینگی ۰,۰۰۰۰۶۰۴ به دست می‌آید و در بهینه‌ترین حالت اجرای الگوریتم، با استفاده از سعی‌وخطا در پارامترهای الگوریتم، مقدار تابع منفعت اقتصادی ۴۰۳,۷۵، مقدار تابع سازگاری ۹۲۴ و مقدار تابع سختی ۱۸۴ و تابع بهینگی ۰,۱۳۹ به دست می‌آید در شکل (۷-الف) نقشه کاربری اراضی برای حوضه موردمطالعه قبل از تغییر کاربری و شکل(۷-ب)تغییر کاربری حاصل از الگوریتم را نشان می‌دهد. با نتایج به‌دست‌آمده می‌توان بیان داشت که در بهترین حالت منفعت اقتصادی منطقه ۴۸ درصد افزایش‌یافته، سازگاری کمتر شده و سختی افزایش داشته است.



شکل ۷-الف نمایش نقشه کاربری وضع موجود منطقه



شکل ۷-ب نمایش نقشه کاربری تهیه‌شده با استفاده از الگوریتم ژنتیک

جدول ۶ میزان تغییرات مساحت کاربری‌ها را قبل و بعد از تغییر کاربری نمایش می‌دهد. با توجه به جدول مشخص می‌شود که مساحت کاربری‌های مخلوط زراعت و باغات، باغات و جنگل متراکم در بهینه‌ترین حالت افزایش‌یافته و کاربری‌های بوته‌زار مرتع و بیشه، زراعت، جنگل تنک و مرتع درجه سه، کاهش و کاربری‌های عوارض انسان‌ساز تغییر نکرده است چراکه یکی از قیدهای مسئله بوده است.

جدول ۶ میزان تغییرات مساحت کاربری‌ها

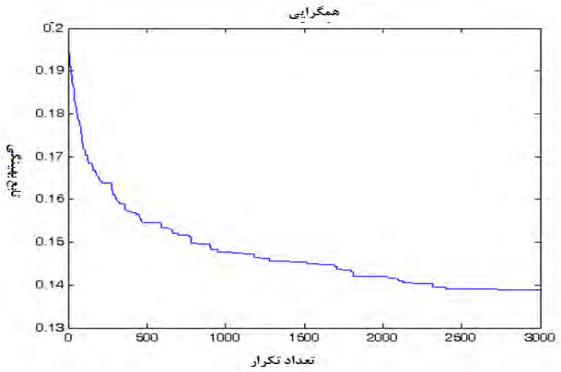
نوع کاربری	مساحت کاربری‌ها در منطقه به هکتار	
	کاربری بهینه‌شده	**کاربری اولیه**
بوته‌زار مرتع و بیشه	۴۹,۳۲۳۹۶۱	۸۲۹,۹۸۹۸۵۳۵۱
مخلوط زراعت و باغات	۵۱,۷۵	۳۶,۰۷۱۹۰۲
زراعت	۲۹,۷۲۱۲۱۸	۷۲,۳۸۰۱۵۲
باغات	۹۸۵,۳۳۰۰۷۵	۳۶,۵۴۰۰۴۶
جنگل تنک	۱۴۶۴,۴۷۹۲۹۲۶۹	۲۱۵۳,۱۱۵۷۹۳
مرتع درجه ۳	۲۰۶۵,۸۸۴۵۷۶	۳۳۸۰,۳۳۱۰۹۷
عوارض انسان‌ساز	۲۴,۹۵۶۸۵	۲۴,۹۵۶۸۵
جنگل متراکم	۳۰۰,۶۱۲۴۶۲	۰

۵-۱-ارزیابی عملکرد الگوریتم ژنتیک

به‌منظور ارزیابی الگوریتم ژنتیک از پارامترهای همگرایی و پایداری، استفاده می‌شود. پارامتر همگرایی یعنی پاسخ‌های کاندید، اکثراً به یک پاسخ واحد شباهت پیدا کنند. وقتی ماکزیمم پاسخ‌ها به پاسخی مشترک اشاره کنند، احتمال صحت آن پاسخ بیشتر بوده و به‌عنوان پاسخ نهایی انتخاب می‌شود. درواقع همگرایی، به معنی پایان اجرای الگوریتم تکاملی و انتخاب پاسخ است. از طرفی در مورد پارامتر پایداری الگوریتم می‌توان بیان داشت: هرقدر یک الگوریتم در اجراهای متوالی نتایج مشابه‌تری را به دست آورد، این الگوریتم پایداری بیشتری دارد. در ادامه نتایج ارزیابی عملکرد الگوریتم ژنتیک ارائه شده است.

۵-۱-۱- پارامتر همگرایی الگوریتم

هرقدر یک الگوریتم سریع‌تر به همگرایی برسد، نشان از کارایی این الگوریتم دارد. شکل(۸) روند همگرایی تابع بهینگی را نشان می‌دهد.



شکل ۸ روند همگرایی تابع بهینگی در الگوریتم ژنتیک

با توجه به نمودار شکل(۸)، سرعت همگرایی در تکرارهای اولیه بسیار زیاد است اما به‌تدریج این سرعت کاسته شده و درنهایت شدت همگرایی تثبیت می‌شود. همان‌طور که مشخص است تابع بهینگی همگرایی متفاوتی را در هر مقطعی از خود نشان می‌دهد. به‌طوری‌که از شروع تا اجرای ۲۸۰ تقریباً همگرایی شتاب بیشتری دارد؛ از این اجرا تا اجرای حدود ۵۰۰، شتاب همگرایی کمتر شده است. سپس یک همگرایی کمتری از این اجرا تا اجرای ۱۰۰۰ وجود داد و همگرایی از تکرار ۱۰۰۰ به بعد همگرایی تدریجی را نشان می‌دهد. به‌طورکلی نتایج شکل (۸) حاکی از آن است که همگرایی در مراحل اولیه اجرای الگوریتم از شتاب بیشتری برخوردار است و در ادامه با یک همگرایی پلکانی با سرعت کمتر مواجه هستیم.

۵-۱-۲ پارامتر پایداری الگوریتم

همان‌طور که بیان شد هرقدر یک الگوریتم در اجراهای متوالی نتایج مشابه‌تری را به دست آورد این الگوریتم پایداری بیشتری دارد. برای بررسی این معیار، الگوریتم ۱۰ بار اجراشده است. واریانس تغییرات جواب نهایی الگوریتم در ۱۰ اجرا محاسبه شده است. به‌منظور درک و مقایسه بهتر از واریانس داده‌های نرمال شده استفاده می‌شود. به دلیل نرمال کردن داده‌ها، واریانس بین صفرتایک متغیر خواهد بود و هرچقدر به صفر نزدیک‌تر باشد، الگوریتم ثبات بیشتری دارد. واریانس جواب‌های نرمال شده در ۱۰ اجرا در الگوریتم ژنتیک ۰/۱۶۲۴ به‌دست‌آمده است که ثبات نسبتاً مناسب الگوریتم را نشان می‌کند.

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در تحقیق حاضر تلاش شده است مدلی برای تغییر کاربری بهینه اراضی زمین‌های موجود در سطح منطقه توسعه یابد به‌گونه‌ای که با توجه به‌سختی کار و سازگاری بین کاربری‌های قطعات هم‌جوار، بتوان عملکرد مطلوبی در حوزه بهره‌وری اقتصادی به دست آورد. در این راستا با توجه به گستردگی و پیچیده بودن فضای جواب برای تعیین کاربری مناسب، از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. همچنین به علت محدودیت‌های موجود در تغییر کاربری‌ها روشی در طراحی مدل الگوریتم استفاده شده تا به مدیریت صحیح و بهینه تغییر کاربری کمک نماید. بررسی نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که مدل طراحی‌شده قادر است الگوهایی برای مدیریت بهینه تغییر کاربری پیشنهاد کند که سطح منفعت اقتصادی منطقه را ۴۸ درصد افزایش دهند. با این توضیح که در تمامی الگوها، سازگاری بالا، دشواری تغییر اندک و تا حد ممکن پیوستگی کاربری‌ها رعایت شده است. تحقیق حاضر نشان می‌دهد مدل طراحی‌شده می‌تواند نقش مؤثری در مسائل تغییر کاربری و موضوعاتی ازاین‌دست داشته باشد. از دیگر نتایج این تحقیق می‌توان به تأثیر فراوان استفاده از عملگرهای متناسب با نوع مسئله و نوع الگوریتم در روند جستجوی جواب بهینه اشاره کرد. در ادامه جهت توسعه تحقیقات آینده در راستای بهبود تحقیق حاضر، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

برای ترکیب از روش تک نقطه‌ای و ترکیب‌های تک نقطه‌ای در ژن‌های مختلف با سعی‌وخطا استفاده شده و درنهایت در ژن ۱۴۰۰ تقاطع انجام‌شده و بهترین جواب کسب شده است که می‌توان در تحقیقات آتی از روش‌های مختلفی چون دونقطه‌ای و حتی ترکیب‌های ابتکاری در هرچه‌بهتر شدن ترکیب استفاده کرد و نقش آن را در رابطه با بهینه‌سازی تغییر کاربری موردبررسی قرار داد.

در تحقیقات پیشین، به‌ندرت تعداد زیادی کاربری به‌طور همزمان تخصیص می‌یافتند درصورتی‌که در این تحقیق ۸ کاربری به‌طور همزمان مورد تغییر واقع شده است. از طرفی کاربری جدیدی که در سطح منطقه نبوده و دارای سازگاری بیشینه با کاربری‌های موجود در منطقه داشته و باعث بالا رفتن منفعت اقتصادی منطقه می‌شود در طراحی مدل آورده شده است که می‌توان این موضوع را که از نقاط قوت این تحقیق است در آینده نیز توسعه داد.

از مدل تصمیم‌گیری AHP به‌منظور انعکاس دانش کارشناسی در مدل‌سازی توابع هدف، سازگاری کاربری، دشواری تغییر، منفعت اقتصادی منطقه استفاده شده که می‌توان در تحقیقات آتی از مدل‌های ر دیگر نیز در هرچه‌بهتر شدن انعکاس دانش کارشناسی استفاده کرد.

ارزیابی عملکرد الگوریتم ژنتیک GA در رابطه با تغییر کاربری بررسی شده است که می‌توان از الگوریتم‌های دیگر چون NSGA-II،SPEA، الگوریتم ازدحام ذرات و ... به‌منظور مدل‌سازی تغییر کاربری، به‌عنوان موضوعی برای تحقیق‌های آتی در ارتقاء هرچه‌بهتر سطح کیفی جواب‌ها بهره برد.

از طرفی در مدل‌سازی مسئله، می‌توان سناریوهای مختلفی از توابع هدف تعریف کرد تا مدیران از این سناریوها در پیش برد اهداف خود استفاده کنند.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع

سعیدیان، بهرام؛ مسگری، محمد سعدی و قدوسی، مصطفی (۱۳۹۴) «مقایسه کارایی الگوریتم‌های فرا ابتکاری ژنتیک و انبوه ذرات برای تخصیص بهینه آب به زمین‌های کشاورزی در شرایط محدودیت آب»، *نشریه علمی پژوهشی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی*. شماره ۴. صص ۴۲-۱۹.

شایگان، مهران؛ علی‌محمدی، عباس و منصوریان، علی (۱۳۹۱) «بهینه‌سازی چندهدفه تخصیص کاربری اراضی با استفاده از الگوریتم NSGA-II»، *نشریه سنجش‌ازدور و GIS ایران*، شماره ۲، صص ۱۸-۱.

علائی مقدم، ساناز؛ کریمی، محمد و محمد زاده، علی (۱۳۹۳) «مدل‌سازی تخصیص کاربری‌های شهری با استفاده از الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب نقطه مرجع»، *نشریه علمی- پژوهشی علوم و فنون نقشه‌برداری*، شماره ۴، صص ۶۵-۴۷.

متکان، علی‌اکبر؛ شکیبا، علیرضا؛ میرباقری، بابک؛ شایگان، مهران و تناسان، محمد (۱۳۹۴) «طراحی مدل بهینه‌سازی کاربری مبتنی بر الگوریتم ژنتیک چندهدفه با رویکرد آمایش سرزمین (مطالعه موردی: رودبار جنوب- استان کرمان)»، *نشریه سنجش‌ازدور و GIS ایران*، شماره ۱، صص ۵۹-۳۹.

نصیری، اسماعیل (۱۳۸۸) «کاربرد تلفیق روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی (SMCDM) با GIS در کاربری اراضی»، *مجموعه مقالات همایش ژئوماتیک*، سازمان نقشه‌برداری کشور، صص ۴-۱.

Alaeimoghaddam, Sanaz., Karimi, Mohammad., & Mohammadzadeh, Ali. (2014). "Modeling the allocation of urban utilities using genetics algorithm for non-dominated selection of the reference point", Journal of geomatics science and Technology, No. 4, pp. 47-65 (In Persian).

Cao, K., Batty, M., Huang, B., Liu, Y., Yu, L., & 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.

Datta, D., Deb, K., Fonseca, C. M., Lobo, F., Condado, P., & Seixas, J. (2007). Multi-objective evolutionary algorithm for land-use management problem. International Journal of computational intelligence research, 3(4), 371-384.

Deb, K., & Sundar, J. (2006). Reference point based multi-objective optimization using evolutionary algorithms. Proceedings of the 8th annual conference on genetic and evolutionary computation, 635-642.

Deb, K., Mohnn, M., & ii shra, S. (2005). Evauut nng hhe -domination based on multi-objectives evolutionary algorithm for a quick computation of pareto-optimal solutions. Journal of evolutionary computation, 13(4), 501-525. doi: 10.1162/106365605774666895.

Herzig, A. (2008). A GIS-based module for the multi objectives optimization of areal resource allocation. In Friis. Proceedings of the 11th AGILE International Conference on Geographic Information Science, University of Girona, Spain. http://agile. gis. geo. tu-dresden. de/web/Conference_Paper/CDs/AGILE (Vol. 202008).

Krink, T. (2002) Multi objectives landuse optimization using evolutionary algorithms (Doctoral dissertation, Dept of Computer Science, University of Aarhus).

Matkan, Aliakbar., Shakiba, Alireza., Mirbagheri, Babak., Shayegan, Mehran., & Tenasan, Mohammad. (2015). "Designing a user-based optimization model based on Multi-objectives genetics algorithm with land approach (a case study for Roodbar, Southern-Kerman)", Journal of remote sensing and GIS of Iran, No. 1, pp. 39-59 (In Persian).

Nasiri, Esmail. (2009). "Application of Multi-Criteria Decision Making Methods (SMCDM) with GIS in land use", Proceedings of geomatics conference, national cartographic center of Iran. pp. 1-4 (In Persian).

Rafipour-Langeroudi, M., Kerachian, R., & Bazargan-Lari, M. (2014). Developing operating rules for conjunctive use of surface and groundwater considering the water quality issues. Journal of civil engineering, 18(2), 454-461. doi: 10.1007/s12205-014-1193-8.

Saeedian, Bahram., Mesgari, Mohammadsaadi., & Ghodousi, Mostafa. (2015). "A comparative study on the efficiency of meta heuristic genetics and PSO algorithms for water optimal allocation in agricultural farms in the condition of water scarcity". Journal of geospatial information technology. No. 4. pp. 19-42 (In Persian).

Shayegan, Mehran., Alimohammadi, Abbas., & Mansourian, Ali. (2012). "Multi-objectives optimization of landuse allocation using NSGA-II algorithm". Journal of remote sensing and GIS of Iran, No. 2, pp. 18-18 (In Persian).

Sheta, A., & Turabieh, H. (2006). A comparison between genetic algorithms and sequential quadratic programming in solving constrained optimization problems. International Journal on artificial intelligence and machine learning (AIML), 6(1), 67-74.

Sivanandam, S. N., & Deepa, S. N. (2010). Introduction to genetic algorithms. Berlin: Springer.

Stewart, T., Janssen, R., & Herwijnen, M. (2004). A genetic algorithm approach to multi objectives landuse planning. Journal of computers and operations research, 31(14), 2293-2313. doi:10.1016/S0305-0548(03)00188-6.

Tabari, M., Maknoon, R., & Ebadi, T. (n.d.). Multi-objective optimal model for Surface and Ground-water conjunctive use management using SGAs and NSGA-II. Journal of Water and Sewage, 20(1), 2-12.

Villalta-Calderon, C. A., & Pérez-Alegría, L. R. (2010). Multi-objective optimization approach for land use allocation based on water quality criteria. 21st century watershed technology: improving water quality and environment conference proceedings, 21-24 February 2010, Universidad EARTH, Costa Rica (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers.

Yang, A., Shan, Y., & Bui, L. T. (Eds.). (2008). Success in Evolutionary Computation (Vol. 92). Springer.

Yeh, J. Y., & Lin, W. S. (2007). Using simulation technique and genetic algorithm to improve the quality care of a hospital emergency department. Journal of expert systems with applications, 32(4), 1073-1083.