Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 20:36 IRST on Saturday November 1st 2025

دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی فضای جغرافیایی

سال بیستم، شماره‌ی ۶۹
بهار ۱۳۹۹، صفحات ۵۶-۳۹

مجتبی قندالی[۱]
*کامران شایسته[۲]
محمدسعدی مسگری[۳]

مقایسه دو رویکرد کلونی زنبور عسل و تخصیص چند هدفه زمین به منظور تخصیص بهینه کاربری اراضی (حوضه آبخیز سمنان)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۱/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۶/۲۵

چکیده

ارزیابی و تخصیص چندهدفه کاربری اراضی، مسئله تصمیم‌گیری تخصیص منابع است که به ارزیابی مطلوبیت هر واحد سرزمین برای گزینه‌های مختلف کاربری اراضی می‌پردازد. هدف از این روش، دستیابی به تخصیص بهینه کاربری‌ها و به حداکثر رساندن میزان تناسب بین آن‌ها است. فشردگی و پیوستگی نیز از اهداف مهم در برنامه‌ریزی کاربری اراضی برای دستیابی به پایداری می‌باشد، در طی فرآیند بهینه‌یابی، مشکل است که بدون در نظر گرفتن چنین هدفی راه‌حل‌های منطقی استخراج شود. در این پژوهش با استفاده از الگوریتم کلونی زنبور عسل در نرم‌افزار متلب و در نظر گرفتن معیارهایی از جمله پیوستگی و مطلوبیت کاربری‌ها، نسبت به تخصیص بهینه کاربری اراضی پرداخته شد. این الگوریتم شامل استراتژی مقداردهی شبه تصادفی بر اساس اطلاعات برای ایجاد جمعیت‌های اولیه و جستجوی محلی شبه تصادفی شامل کراس اور و جهش برای جستجوی همسایگی می‌باشد که هر دو به‌طور قابل توجهی کارایی و کیفیت جستجو در مناطق بزرگ را بهبود می‌دهد. به‌منظور بررسی کارایی، الگوریتم مورد استفاده با رویکرد MOLA در نرم‌افزار ایدریسی بر اساس میزان مطلوبیت هر کاربری و سنجه‌های سیمای سرزمین مقایسه گردید. نتایج نشان داد الگوریتم کلونی زنبور عسل در تخصیص کاربری اراضی ضمن ارائه نتایج مناسب برای معیار

۱- دانش آموخته دکترای آمایش محیط‌زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران.
*۲- گروه محیط‌زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران. (نویسنده مسئول). E-mail: ka_shayesteh@yahoo.com
۳- دانشکده ژئودزی و ژئوماتیک دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران.

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 20:36 IRST on Saturday November 1st 2025

مطلوبیت، نتایج بسیار مناسب‌تری را از نظر پیوستگی و فشردگی لکه‌های کاربری اراضی ارائه داده است و می‌تواند به‌عنوان یک رویکرد مناسب در تخصیص بهینه کاربری اراضی به‌کار گرفته شود.

کلید واژه‌ها: تخصیص چند هدفه کاربری اراضی، سیمای سرزمین، کلونی زنبور عسل، فشردگی.

مقدمه

استفاده نادرست و غیرمنطقی از سرزمین در دهه‌های اخیر منجر به کاهش سرانه سطح اراضی قابل استفاده برای کاربری‌های مختلف در کشورهای پیشرفته و نیز کشورهای در حال توسعه مانند ایران شده است (Ayoubi and Jalalian, 2006: 147; Makhdoom, 2012: 12). تامین نیازهای نسل آینده با لحاظ نمودن محدودیت منابع در سایه شناخت قابلیت‌ها و ظرفیت‌های سرزمین و بهینه‌سازی بهره‌برداری از اراضی امکان‌پذیر خواهد بود که این مهم ضرورت اعمال و دخالت دانش کارشناسی را در فرآیند تغییر کاربری اراضی نشان می‌دهد (Karimi, 2010: 64). تخصیص مکانی کاربری اراضی، یک روش بهینه‌سازی مکانی چند هدفه برای استفاده منطقی از سرزمین می‌باشد. (Liu et al., 2014: 1118). به طورکلی، ارزیابی مطلوبیت نسبی هر گزینه کاربری بر اساس معیارهای چندگانه انجام می‌شود. معیارها شامل ویژگی‌های مرتبط با کاربری ازنظراهداف اجتماعی، اقتصادی ومحیط زیستی است (Karimi, 2010: 73). فشردگی[4] یکی از اهداف مهم برای برنامه‌ریزی کاربری اراضی در جهت دستیابی به پایداری می‌باشد، فشردگی نه تنها منجر به کاهش تهدید برای بقای گونه‌ها و کاهش مصرف انرژی می‌گردد، بلکه منجر به بهبود دسترسی به شهرها و زیرساخت‌ها و همچنین بهبود عدالت اجتماعی در جهت دسترسی به پایداری می‌گردد (Cao et al., 2011: 1955). فشردگی نه تنها فشار توسعه را کاهش می‌دهد بلکه منجر به استفاده کارآمد از زمین‌های در دسترس خواهد شد (Yao et al., 2017: 8). در طی فرآیند بهینه‌یابی، مشکل است که بدون در نظر گرفتن چنین هدفی راه‌حل‌های منطقی استخراج شود (Cao et al., 2012: 260). مرور منابع داخلی نشان دهنده تلاش محققان برای در نظر گرفتن معیار پیوستگی و فشردگی در تخصیص کاربری اراضی می‌باشد که از آن جمله می‌توان به پژوهش‌های Shayghan et al (2013) و Kamyab et al (2015, 2016) اشاره نمود که معیار پیوستگی و فشردگی لکه‌ها را به‌عنوان یک هدف در بهینه‌سازی تخصیص کاربری اراضی با استفاده از الگوریتم ژنتیک مورد استفاده قرار داده‌اند. Liu et al (2014)، با استفاده از الگوریتم کلونی مورچه و با در نظر گرفتن سه هدف مطلوبیت و فشردگی و هزینه تغییر کاربری اراضی، به تخصیص بهینه کاربری اراضی منطقه‌ای در چین پرداختند Ma and Zhao (2015)، با استفاده از الگوریتم سیستم ایمنی و در نظر گرفتن مطلوبیت و معیار فشردگی، به تخصیص کاربری اراضی با توجه به مقوله عرضه (زمین مطلوب در دسترس) و تقاضا، به‌عنوان زمین مورد نیاز برای تامین نیازهای آن منطقه، پرداختند. Yang et al (2015)، با استفاده از الگوریتم زنبور عسل بهبود یافته با در نظر گرفتن معیار پیوستگی و

4- Compactness

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 20:36 IRST on Saturday November 1st 2025

فشردگی، مطلوبیت کاربری اراضی و هزینه تغییر کاربری به تخصیص بهینه کاربری اراضی در منطقه جیکسیانگ چین پرداختند. Lazoglou et al (2016)، با استفاده از الگوریتم ژنتیک NSGA-II و با در نظر گرفتن معیار فشردگی و مطلوبیت کاربری، به تخصیص بهینه کاربری اراضی در جزایر مدیترانه پرداخته‌اند. Yang et al (2018)، با استفاده از الگوریتم چند هدفه زنبور عسل دو هدفه، تخصیص بهینه کاربری اراضی را با در نظر گرفتن دو هدف مطلوبیت و فشردگی انجام دادند. Eastman et al (1993) یک روش اکتشافی انتخابی بر پایه نزدیکی به نقطه ایده آل برای حل تعارضات کاربری‌های اراضی ناسازگار ارائه دادند. الگوریتم ارائه شده ایشان به عنوان رویه پشتیبان تصمیم‌گیری در نرم‌افزار Idrisi وارد شده است، این رویکرد در تخصیص هر کاربری صرفا مطلوبیت کاربری‌ها را در نظر می‌گیرد و معیار پیوستگی و فشردگی کاربری اراضی در نظر گرفته نشده است. لذا در دو دهه اخیر تلاش‌هایی برای انجام تخصیص کاربری اراضی با استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری و در نظر گرفتن فشردگی لکه‌های کاربری اراضی انجام شده است. الگوریتم کلونی زنبور عسل، یک الگوریتم فراابتکاری نسبتا جدید بر مبنای هوش جمعی می‌باشد که توسط Karaboga (2005) ارائه شد. این الگوریتم از رفتار جمعی زنبورهای عسل جهت یافتن مکان غذا در طبیعت تقلید الهام می‌گیرد. این الگوریتم به دلیل قدرت، کارایی و راحتی اجرا در دامنه گسترده‌ای از دنیای واقعی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Ghambari and Rahati, 2018; Cui et al., 2018). همچنین مطالعاتی در خصوص بهینه‌سازی کاربری اراضی با استفاده این الگوریتم انجام شده است (Yang et al., 2015; Shao et al; 2015; Yang et al., 2018) که نشان می‌دهد که کارایی الگوریتم ABC در یافتن جواب‌های بهینه نسبت به الگوریتم‌های شناخته شده دیگر مانند بهینه‌سازی ازدحام ذرات و الگوریتم ژنتیک، الگوریتم کلونی مورچه، سیستم ایمنی مصنوعی و تبرید شبیه‌سازی شده بهتر می‌باشد. در این پژوهش تخصیص کاربری اراضی با استفاده از الگویتم فرا ابتکاری زنبور عسل و تعریف توابع هدف به‌منظور در نظر گرفتن معیار فشردگی و پیوستگی کاربری اراضی، انجام گردید. در نهایت برای ارزیابی کارایی الگوریتم مذکور از نظر میزان مطلوبیت و سنجه‌های سیمای سرزمین اختصاص یافته به هر کاربری با رویکرد MOLA در نرم‌افزار ایدریسی در حوضه آبخیز سمنان مورد مقایسه قرار گرفت.

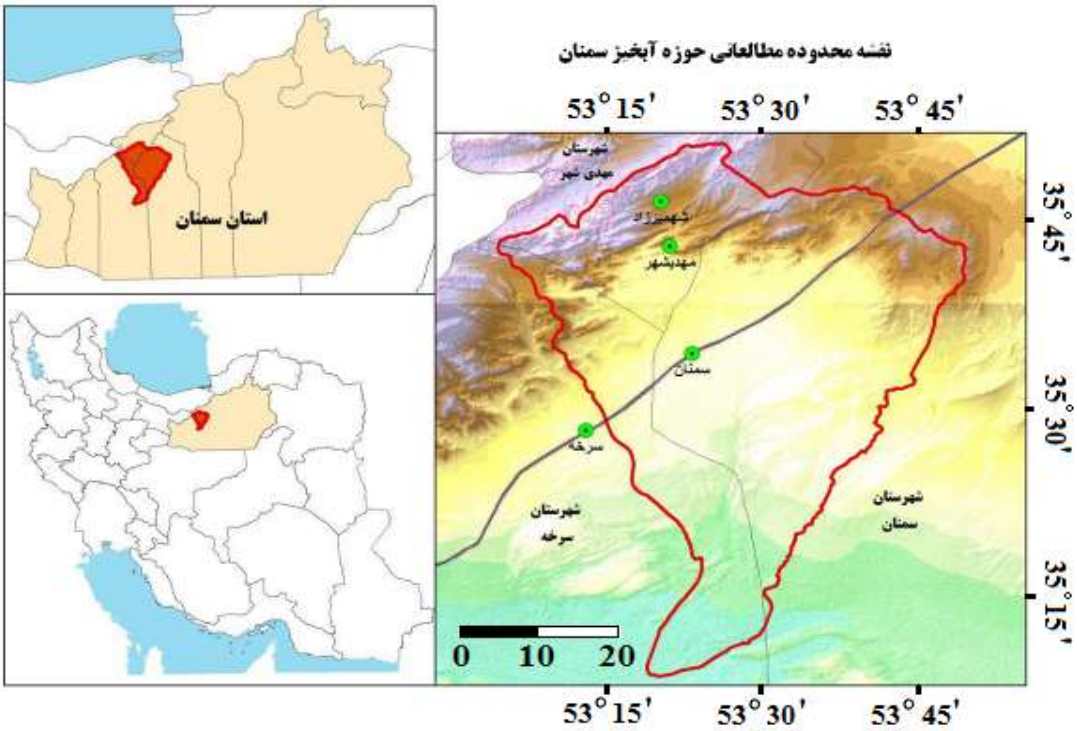
منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز سمنان به مساحت ۲۵۷/۶۱۳ هکتار، در محدوده جغرافیایی′۰۸-°۳۵ تا ′۵۰-°۳۵ عرض شمالی و′۰۵-°۵۳ تا ′۴۸-°۵۳ طول شرقی قرارگرفته است، این حوضه، عرصه‌ای است که در برگیرنده شهرستان‌های سمنان و مهدی‌شهر و بخشی از شهرستان سرخه می‌باشد (شکل ۱). این حوضه به دلیل قرار گرفتن در نیمه جنوبی رشته کوه های البرز، دارای تنوع توپوگرافیکی می‌باشد به طوری‌که حداکثر ارتفاع محدوده ۳۲۸۲ متر از سطح دریا در شمال و حداقل ارتفاع ۸۱۹ متر در جنوب حوضه واقع شده است. این تنوع توپوگرافیکی به همراه عوامل اقلیمی منجر به تنوع اکوسیستمی در آن منطقه گردیده است به طوری‌که این حوضه دربرگیرنده اکوسیستم‌های کوهستانی، بیابانی و کویری می‌باشد.

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 20:36 IRST on Saturday November 1st 2025

مواد و روش‌ها

تخصیص چند هدفه زمین[5](MOLA)، رویه پشتیبان تصمیم‌گیری با هدف ایجاد راه حل بهینه در تخصیص مکانی به کاربری‌های چندگانه و اغلب ناسازگار است. در این روش، نقشه مطلوبیت برای هر کاربری، از ترکیب معیار و وزن‌های نسبی آن‌ها، در فرآیند ارزیابی چند معیاره[6] تهیه می‌شود. این رویه با توجه به ارزش سلول‌ها در نقشه مطلوبیت ترتیب رتبه‌ای را مشخص می‌نماید. سرانجام، رویه MOLA عملیاتی تکرار شونده را برای ترکیب نقشه‌های رتبه‌بندی شده بر اساس وزن هر یک از آن‌ها انجام می‌دهد که نتیجه آن نیز تولید نقشه نهایی تخصیص کاربری اراضی است که در آن شرط مساحت‌های از پیش تعیین شده برای هر کاربری اعمال شده است. در این روش مناطق متعارض که برای چند کاربری دارای توان مناسب است، بر اساس روش نزدیکی به نقطه ایده آل، کاربری بهینه‌اش انتخاب می‌شود. این فرآیند آن‌قدر تکرار می‌شود تا مساحت مورد نظر برای هر کاربری به‌دست آید. MOLA برای تخصیص سلول‌های متضاد از یک خط تصمیم[7] استفاده می‌کند که این خط فضای تصمیم را به دو بخش تقسیم می‌کند (شکل ۲).

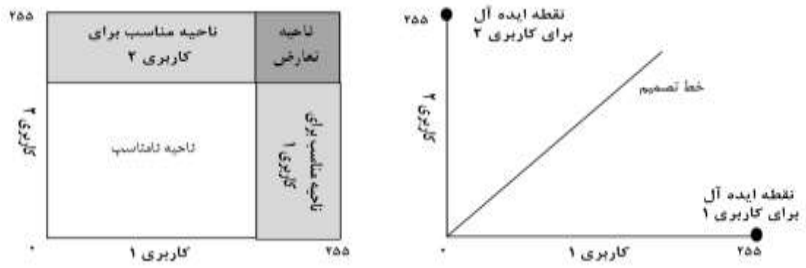


شکل ۱: محدوده مورد مطالعه–حوضه آبخیز سمنان

Figure 1: Study area- Semnan watershed

5- Multi Objective Land Allocation(MOLA)
6- Multi Criteria Evaluation (MCE)
7- Decision Line

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 20:36 IRST on Saturday November 1st 2025



شکل ۲: روش حل تعارض برای انتخاب کاربری‌ها در روش MOLA(Eastman et al., 1993)

Figure 2: Conflict resolution method for selecting uses in MOLA

الگوریتم کلونی زنبور عسل[8]: در این الگوریتم منابع غذایی به‌عنوان راه حل مسئله در نظر گرفته می‌شوند و مقدار شهد موجود در آن‌ها معادل کیفیت راه حل (تابع هدف) متناظر خواهد بود. در آغاز این الگوریتم جمعیت اولیه به‌صورت تصادفی (و یا شبه تصادفی) ایجاد می‌گردد و زنبورها به‌صورت اتفاقی با جست‌وجوی محلی به اصلاح و پیشرفت موقعیتی (راه حل) که در آن قرار دارند، می‌پردازند (Samadzadeganand Yadegari, 2010). در این الگوریتم سه نوع زنبور نقش کلیدی را در یافتن راه حل بهینه بازی می‌نمایند. در ابتدا زنبورهای پیشرو[9] به‌طور تصادفی یک منبع غذایی (راه حل) را در میان فضای راه‌حل‌های ممکن انتخاب می‌کند و میزان برازش آن را محاسبه می‌کند و سپس به‌صورت یک زنبور کارگر[10] تبدیل می‌شود و در مرحله بعد هر زنبور کارگر به‌صورت تصادفی یک راه حل را در اطراف منبع غذایی مربوط بر اساس استراتژی جستجوی محلی تولید می‌نماید و اگر مکان (راه حل) جدید بهتر از قبلی بود آن را به‌عنوان منبع غذایی بهتر در حافظه خود ثبت می‌نماید. در نهایت این زنبورهای کارگر به سالن رقص می‌آیند (محل تبادل اطلاعات) و در آن جا به تبادل اطلاعات با زنبورهای نگهبان[11] می‌پردازند و زنبورهای نگهبان نیز بر اساس میزان برازش راه حل‌های معرفی شده، یکی از آن‌ها را انتخاب کرده و به جستجو در همسایگی آن راه‌حل می‌پردازد و در صورت یافتن راه‌حل بهتر آن را جایگزین راه حل فعلی می‌نماید. اگر راه حل (منبع غذایی) برای مدت زمانی طولانی (تعداد مشخص تکرار) جایگزین نشد، آن راه حل رها خواهد شد و منبع غذایی جدید در ادامه توسط انتخاب تصادفی زنبورهای پیشرو ایجاد می‌گردد (Yang et al., 2015). در شکل (۳) فلوچارت الگوریتم زنبور عسل آورده شده است. برای استفاده از الگوریتم کلونی زنبور عسل برای مسئله تخصیص بهینه کاربری اراضی نیازمند دو استراتژی می‌باشد، یک استراتژی برای ایجاد راه‌حل‌های تصادفی اولیه و استراتژی دیگر جستجوی همسایگی به‌منظور ایجاد راه حل بهبود یافته از راه حل‌های اولیه که در این پژوهش به‌صورت ذیل اقدام شده است.

۱- ایجاد جمعیت اولیه: ایجاد جمعیت اولیه کاملا تصادفی، منجر به ایجاد جواب‌های می‌گردد که در بیشتر مواقع از نظر معیارهای ذاتی (مطلوبیت هر کاربری) و همچنین معیارهای مکانی (فشردگی و سازگاری کاربری‌ها) غیرمنطقی

8- Artificial bee colony algorithm
9- Scout bee
10- Employed Bee
11- Onlooker Bee

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 20:36 IRST on Saturday November 1st 2025

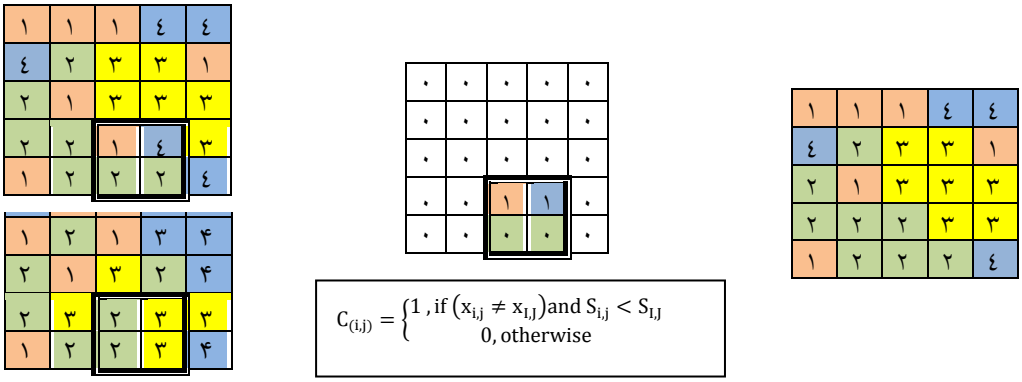
می‌باشند و منجر به افزایش زمان مورد نیاز برای جستجوی در میان جواب‌هایی می‌گردد که از نظر منطقی صحیح نمی‌باشد و زمان انجام آنالیز را به‌شدت افزایش می‌دهد. برای حل این موضوع، از استراتژی مقداردهی شبه تصادفی بر اساس اطلاعات برای ایجاد جمعیت‌های اولیه پیشنهاد شده توسط Yang et al (2015) استفاده گردید. به این منظور معیارهای ذاتی شامل مطلوبیت هر سلول که وزن قابل توجهی از توابع هدف را نیز شامل می‌شوند، با ایجاد یک شبکه‌ای از خانه‌های صفر و یک در محدوده مورد مطالعه و مرتب کردن سلول‌ها بر اساس امتیاز مطلوبیت‌شان در داخل آن سلول‌هایی که در شبکه تصادفی ۱ قرار گرفته‌اند، به‌ترتیب به کاربری‌های مورد نظر تخصیص داده می‌شوند. با این کار جواب‌های شبه تصادفی به‌وجود می‌آید و منجر به ایجاد جواب‌های اولیه منطقی‌تر و قابل قبول تر می‌گردد که در سرعت رسیدن به جواب بهینه کمک شایانی می‌نماید. تعداد مساحت مورد نظر برای هر کاربری به‌عنوان یک شرط تعریف می‌گردد.

شکل ۳: فلوچارت الگوریتم کلونی زنبور عسل

Figure 3: Flow chart of bee colony algorithm

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 20:36 IRST on Saturday November 1st 2025

۲- الگوریتم جستجوی محلی: برای به‌کارگیری الگوریتم زنبور عسل در مسئله تخصیص بهینه کاربری اراضی، بایستی از استراتژی جستجوی همسایگی برای به‌دست آوردن یک راه حل نزدیک به راه حل موجود استفاده نمود. از دو عملگر کراس اور و جهش برای استراتژی جستجوی محلی استفاده گردید. الف- کراس اور[۱۲]: در روش‌های کراس اور پیشنهاد شده توسط پژوهشگران (Liu, et al., 2014; Lazoglou et al., 2016) صرفا جابجایی تصادفی بین سلول‌های انتخاب شده انجام می‌گیرد که این منجر به افزایش زمان جستجو می‌گردد. در این پژوهش جهت انجام کراس اور بین دو راه حل موجود از روش پیشنهاد شده توسط Yang et al (2015) استفاده گردید. برای این کار پنجره متحرک با ابعاد N*N در طول ردیف و ستون منطقه مورد مطالعه به‌طورتصادفی حرکت می‌نماید و سلول‌هایی در این پنجره متحرک از راه حل X_n که دارای مقدار مطلوبیت پایین‌تری نسبت به راه حل X_m می‌باشد با یکدیگر جابجا می‌گردد. با تغییر ابعاد این پنجره متحرک می‌توان شعاع همسایگی را تغییر داد (شکل ٤).



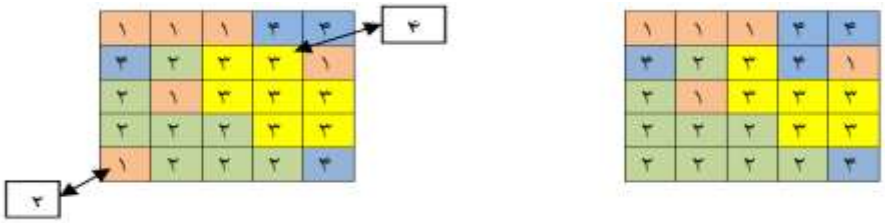
شکل ٤: کراس اور بین دو راه حل برای ایجاد راه حل جدید

Figure 4: Crossover between two solutions to create a new solution

همان‌طور که در شکل (٤) مشاهده می‌شود در پنجره متحرک تنها در خانه‌هایی که دو شرط وجود داشته باشد خانه‌ها جابجا می‌شوند. ۱) خانه‌ها کاربری‌های غیر یکسان داشته باشند ۲) مطلوبیت سلول در راه حل Xn پایین‌تر از مطلوبیت متناظر همان سلول در راه حل Xm باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود یک سلول با کاربری ٤ با سلول با کاربری ۳ جابجا گردید و همچنین سلول با کاربری ۱ با کاربری ۲ جابجا گردید. با توجه به جاجایی سلول‌ها بین دو راه حل موجود، باعث بر هم خوردن شرط مساحت تعیین شده برای هر کاربری می‌گردد. به منظور رعایت شرط مساحت، در خارج از محدوده کراس اور (پنجره متحرک) سلول‌هایی که دارای کاربری‌هایی می‌باشند که مساحت آن‌ها در اثر کراس اور افزایش یافته تبدیل به کاربری‌هایی می‌گردد که مساحت آن‌ها در اثر کراس اور کاهش یافته است به‌عنوان مثال در منطقه مورد مطالعه برای جبران مساحت، در خارج از محدوده کراس اور، یک سلول با کاربری ۳ به کاربری ٤ و یک سلول با کاربری ۱ به کاربری ۲ تبدیل می‌شود (شکل ۵).

12- Crossover

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 20:36 IRST on Saturday November 1st 2025



شکل ۵: تعدیل مساحت‌های تغییر یافته در اثر کراس اور

Figure 5: Adjustment of areas changed by crossover

ب- جهش: به‌منظور انجام عمل جهش دریک راه حل و به‌منظور بهبود عملکرد جهش در رسیدن به جواب بهینه، بخشی از جهش‌های انجام شده در منطقه مورد مطالعه بین سلول‌هایی با پایین‌ترین میزان مطلوبیت اتفاق می‌افتد تا سلول‌های با مطلوبیت پایین با جابجایی مکان‌شان در جایی قرار بگیرند که مطوبیت‌شان در آن مکان بهتر می‌باشد (شکل ٦).

شکل ٦: انجام جهش بین سلول‌های منطقه مورد مطالعه

Figure 6: Mutation between cells in the study area

تعریف تابع هدف: در روش‌های اکتشافی میزان نزدیک شدن به راه‌حل بهینه در تخصیص کاربری اراضی با تعیین و بررسی توابع هدف مورد سنجش قرار می‌گیرد. لذا تعریف تابع هدف (برازش) از ارکان اصلی الگوریتم‌های اکتشافی می‌باشد. تحت محدودیت‌های مشخص ساختاری کاربری اراضی، راه حل بهینه مکانی کاربری اراضی با توجه به مجموعه‌ای از اهداف فرعی[13] مورد جستجو قرار می‌گیرد و تابع هدف نهایی با توجه به اهمیت نسبی[14] متغیرهای تصمیم (توسط وزن‌دهی به اهداف فرعی برنامه‌ریزی سرزمین شامل مطلوبیت سرزمین، فشردگی و سازگاری واحدهای سرزمینی که به یک نوع کاربری اراضی اختصاص می‌یابند) تشکیل می‌گردد (Liu et al., 2012: 1331). تعداد تیپ کاربری اراضی مورد تخصیص در منطقه مورد مطالعه ٤ تیپ کشاورزی، مرتع‌داری، شهری و صنعتی می‌باشد. منطقه مورد مطالعه دارای R ردیف و C ستون می‌باشد که به‌صورت ماتریسی در نرم‌افزار متلب تعریف گردید. با توجه به محدودیت‌های تعریف شده در تخصیص کاربری، به هر سلول تنها یک کاربری اختصاص می‌یابد. مطلوبیت هر کاربری برای سلول مورد نظر بر اساس توابع هدف تعریف شده به‌دست می‌آید (رابطه ۷). معیار امتیاز هر کاربری برای سلول مورد نظر، به دو گروه تقسیم می‌شود، معیارهایی که با همسایگان آن سلول مرتبط می‌شود که با عنوان معیارهای همسایگی نامیده می‌شود و معیارهایی که به موقعیت جغرافیایی آن سلول و تناسب آن

13- Sub-Objectives
14- Relative Dominance

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 20:36 IRST on Saturday November 1st 2025

سلول برای هر کاربری فارغ از کاربری پیرامونی آن می‌باشد که به آن معیار ذاتی گفته می‌شود. در نهایت در این پژوهش امتیاز نهایی هر نقشه کاربری اراضی از تلفیق معیارهای ذاتی و معیارهای همسایگی با تخصیص وزن به هر یک ازمعیارها به‌دست می‌آید (رابطه ۷). وزن معیارها با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی به‌دست آمد. توابع هدف مورد استفاده در این تحقیق شامل تابع مطلوبیت (رابطه ۱) می‌باشد که مطلوبیت زیست‌محیطی هر سلول برای کاربری تخصیص یافته را نشان می‌دهد. این امتیاز تحت تاثیر متغیرهای اکولوژیکی (شیب، پوشش گیاهی، خاک) و متغیرهای اقتصادی و اجتماعی (فاصله از جاده‌ها و شهرها) می‌باشد. تابع سازگاری کاربری‌ها (رابطه ۲) که نشان دهنده اولویت قرارگیری کاربری‌های سازگار در کنار هم می‌باشد. تابع هزینه تغییر (رابطه ۳)، تابعی است که هزینه تغییر هر کاربری موجود زمین را به کاربری جدید با تیپ k محاسبه می‌نماید. با ورود این فاکتور در محاسبه تابع مطلوبیت، سعی در تخصیص کاربری اراضی با حداقل هزینه تغییر کاربری و حفظ کاربری‌هایی با حساسیت‌های بالا مانند پوشش گیاهی با تراکم بالا می‌شود. همچنین حداقل رساندن تبدیل کاربری اراضی می‌تواند به سود اقتصادی کمک نماید (Cao et al., 2012: 261). تابع فشردگی (رابطه ٤ و ٥) اینیک هدف مهم در مسئله بهینه یابی کاربری اراضی بر اساس ساختار شبکه‌ای می‌باشد. (Cao et al., 2012: 262). فشردگی بر روی مجاورت سلول‌ها (واحدهای سرزمین) با کاربری یکسان تاکید می‌کند و منجر به ایجاد حالت خوشه‌ای برای سلول‌هایی با کاربری یکسان می‌گردد. پیوستگی از اهداف مکانی در تخصیص کاربری اراضی می‌باشد (Bakhtiarifar et al., 2011; Cao et al., 2012). معیار پیوستگی[۱۵] نیازمند این است که همه سلول‌های با کاربری یکسان به هم متصل باشند؛ و فشردگی همه سلول‌ها با کاربری یکسان را در داخل یک خوشه قرار می‌دهد. به‌طور کلی فشردگی شامل پیوستگی نیز می‌باشد (Cao et al., 2012: 262). مسئله ما یک مسئله بیشینه‌سازی حداکثری می‌باشد. همه معیارها (توابع هدف) در بازه ۰ تا یک استاندارد می‌شود تا بتوان آن‌ها را با یکدیگر تلفیق نمود. مساحت اختصاص یافته به هر کاربری نیز یکی از قیدهای مسئله تخصیص کاربری اراضی می باشد که این پژوهش لحاظ شده است (رابطه ٦). مطلوبیت نهایی هر سلول از مجموع وزن‌دار شده معیارهای مورد نظر به‌دست می‌آید (رابطه ۷).

رابطه (۱)

$$\mathbf{Suitability} = \sum_{k=1}^{k}\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M} \mathbf{Suit_{ijk}x_{ijk}}$$

رابطه (۲)

$$\mathbf{Compatibility} = \sum_{k=1}^{k}\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M} \mathbf{C_{ijk}x_{ijk}}$$

رابطه (۳)

$$\mathbf{Con} = \sum_{k=1}^{k}\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M} \mathbf{Con_{type\ ijk}x_{ijk}}$$

15- Contiguity

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 20:36 IRST on Saturday November 1st 2025

رابطه (٤)

$$\mathbf{Compact} = \sum_{k=1}^{k}\sum_{i=1}^{R}\sum_{j=1}^{C} \mathbf{Com_{ijk}.x_{ijk}}$$

رابطه (٥)

$$Com_{ijk} = \sum_{p=-2}^{2} \frac{x_{i+p,j+p,k}}{25} \quad k=1,2,\ldots,k;i=1,\ldots.R;j=1,\ldots., C$$

رابطه (٦)

$$\sum_{i=1}^{R}\sum_{j=1}^{C} \mathbf{x_{ijk} = Area_k}$$

رابطه (٧)

Final suit=w1 Suit +w2 Con+w3Compatibility + w4 Compact

– میزان تقاضا: مساحت مورد نیاز هر کاربری در سال افق طرح، بر اساس مدل‌ساز تغییر سرزمین تعبیه شده در مدل Land Change Modeler در نرم‌افزار TerrSet و با استفاده از روش پرسپترون چند لایه[16] به‌دست آمد. در این مدل با استفاده از متغیرهای دسترسی به زیرساخت‌های اقتصادی (فاصله از جاده، فاصله از شهر)، پارامترهای اکولوژیک (شیب، ارتفاع، فاصله از منابع آب) و با استفاده از نقشه‌های کاربری اراضی مستخرج شده از تصاویر ماهواره‌ای لندست مربوط به سال‌های ۱۹۹۱، ۲۰۰۱ و ۲۰۱۵ میلادی، نسبت به پیش‌بینی میزان تغییرات کاربری اراضی مورد نظر برای ۱۵ سال آینده (سال ۲۰۳۰–افق طرح) اقدام گردید و مساحت آن به‌عنوان مساحت کاربری مورد نیاز (تقاضا) برای هر یک از کاربری‌های مورد نظر به‌دست آمد.

– مقایسه کارایی دو روش: برای مقایسه کارایی دو رویکرد، از دو معیار مهم در تخصیص کاربری اراضی شامل مطلوبیت و سنجه‌های بوم‌شناسی سیمای سرزمین برای هر کاربری استفاده گردید.

۱– میزان مطلوبیت اختصاص یافته به هر کاربری: تخصیص کاربری اراضی بر اساس توان اکولوژیک از ملزومات اساسی توسعه پایدارو بهره‌برداری پایدار از سرزمین می‌باشد. برای مقایسه دو رویکرد، میزان مطلوبیت هر کاربری به مورد مقایسه قرار گرفت.

۲– معیارهای بوم‌شناسی سیمای سرزمین[17]: بوم‌شناسی سیمای سرزمین برمبنای این تفکر شکل گرفته سرزمین است که تغییر در الگوهای سیمای سرزمین به‌شدت ویژگی‌هایبوم‌شناسی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Schindler et al., 2008: 507). اولین گام برای ارزیابی اثرات اکولوژیک پوشش/کاربری اراضی کمی کردن این الگوهاست، چرا که کمی سازی ویژگی‌های ساختاری سیمای سرزمینبه‌منظور برنامه‌ریزی پایداری سرزمین اهمیت ویژه‌ای داردو باعث تسهیل ابداع مدل‌ها و ارزیابی مقایسه‌ای گزینه‌ها و پایش آن‌ها می‌گردد (Leitao and Ahern, 2002: 72). فرآیند

16- Multi-Layer Perceptron (MLP)
17- Landscape Ecology

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 20:36 IRST on Saturday November 1st 2025

کمی‌سازی با استفاده از سنجه‌های اندازه‌گیری سیمای سرزمین صورت می‌گیرد که این سنجه‌ها وضعیت هندسی و مکان یک لکه یا شبکه‌ای از لکه‌ها را مشخص می‌کنند (Apan et al., 2002: 46). در این تحقیق از ٦ سنجه، به علت توانایی آن‌ها در تفسیر ترکیب و توزیع فضایی عناصر ساختاری در سیمای سرزمین استفاده شده است (Kong & Nakagoshi, 2006: 153). سنجه‌های یاد شده به تفصیل در ادامه آورده شده است: ۱- تعداد لکه[18] (NP): این سنجه بیان‌گر تعداد لکه در سیمای سرزمین است که با توجه به ثابت بودن مساحت تخصیص یافته به هر کاربری، کاهش تعداد لکه نشان دهنده فشردگی لکه‌های کاربری اراضی می‌باشد. ۲- میانگین سطح لکه[19]: اندازه متوسط لکه‌ها برحسب هکتار می‌باشد. ۳- شاخص بزرگ‌ترین لکه[20] (LPI): درصدی از سیمای سرزمین که توسط بزرگ‌ترین لکه اشغال شده، یک اندازه‌گیریساده از چیرگی است. ٤- شاخص شکل سیمای سرزمین[21] (LSI): نسبت محیط هر طبقه به حداقل محیط ممکن برای آن طبقه با حداکثر تجمع (انباشتگی) بوده است که این امر زمانی اتفاق می‌افتد که طبقه تا حد ممکن در یک لکه فشرده شده باشد. هرچه طبقه پراکنده‌تر شود، این سنجه بدون محدودیت افزایش می‌یابد. این سنجه فاقد واحد است. ۵- شاخص مجاورت[22] (CONTIG): این شاخص برای بررسی ارتباطات فیزیکی لکه‌های هر کاربری مورد استفاده قرار می‌گیرد. مساحت هر کاربری و از هم گسیختگی کاربری‌ها در محاسبات این شاخص دخالت داده می‌شوند. با از هم‌گسیختگی لکه‌ها، میزان این شاخص به صفر نزدیک می‌شود. ٦- شاخص پیوستگی لکه کوهژن[23]: این شاخص پیوستگی فیزیکی لکه‌های مربوط به یک کاربری را نشان می‌دهد. با افزایش پیوستگی لکه‌ها مقدار این شاخص نیزافزایش می‌یابد. برای بررسی میزان فشردگی و پیوستگی در تخصیص بهینه کاربری اراضی در دو روش یاد شده از سنجه‌های سیمای سرزمین مذکور با استفاده از نرم‌افزار FRAGSTATS استفاده گردید.

یافته‌ها و بحث

- نقشه مطلوبیت مکانی کاربری‌ها: در این مطالعه پس از استانداردسازی معیارهای زیست‌محیطی، از جمله شکل زمین، اقلیم، پوشش گیاهی، خاک، میزان فرسایش خاک، دسترسی به منابع آب، معیارها با استفاده از روش ترکیب خطی وزن‌دار شده با یکدیگر ترکیب شده‌اند تا لایه مطلوبیت نهایی برای کاربری‌های کشاورزی، مرتع‌داری، توسعه شهری و صنعتی ایجاد شود (شکل ٦). در این پژوهش با توجه به محدودیت‌های اکولوژیک، اقتصادی و اجتماعی، مناطقی که نیازمند به حفاظت دارند از جمله رویشگاه‌های ارس، کانون‌های بحرانی فرسایش بادی، شیب‌های بالای ٦۵ درصد و همچنین مناطقی که به دلیل وجود کاربری فعلی‌شان محدودیت توسعه دارند از جمله فاصله ۵۰۰ متری

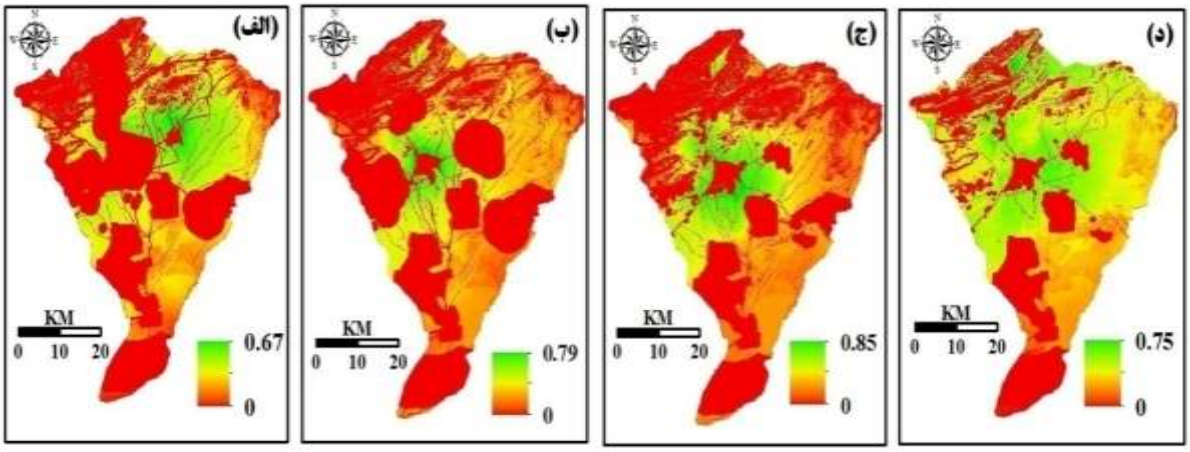
18- Number Patch:
19- MN-Area
20- Largest Patch Index
21- Landscape Shape Index
22- Contiguity index
23- Patch Cohesion Index

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 20:36 IRST on Saturday November 1st 2025

از معادن و فاصله ۵۰۰ متری از محل دفن زباله، فاصله ۱۰۰ متری از جاده‌ها، محدوده شهرها و روستاها و شهرک‌های صنعتی به‌عنوان نقشه محدودیت تعریف گردید و از روند آنالیز تخصیص کاربری اراضی کنار گذاشت.
نقشه نهایی تخصیص بهینه کاربری اراضی: کلونی زنبور عسل در منطقه مورد مطالعه، با تعداد ٤٠ زنبور عسل و ۲۰۰ تکرار انجام شد. به دلیل استفاده از رویکرد شبه تصادفی در ایجاد راه‌حل‌های اولیه، کیفیت جواب‌های اولیه ایجاد شده نسبتا خوب است؛ بنابراین در اثر تکرار الگوریتم و جستجوی شبه تصادفی در بین جواب‌های با بالاترین تابع هدف، بهبود قابل توجهی در مقادیر تابع هدف از جمله فشردگی لکه‌های کاربری اراضی و مطلوبیت کاربری‌ها ایجاد می‌گردد. همان‌طور که مشاهده می‌شود تقریبا بعد از ۱۰۰ تکرار، الگوی کاربری اراضی تثبیت شده است (اشکال ۸ و ۹). همچنین نقشه تخصیص کاربری اراضی با استفاده از رویکرد MOLA به‌دست آمد (شکل ۱۰) و دو رویکرد با یکدیگر از نظر میزان مطلوبیت و سنجه‌های بوم‌شناسی سیمای سرزمین مورد مقایسه قرار گرفتند (جدول ۱).

مقایسه کارایی دو رویکرد

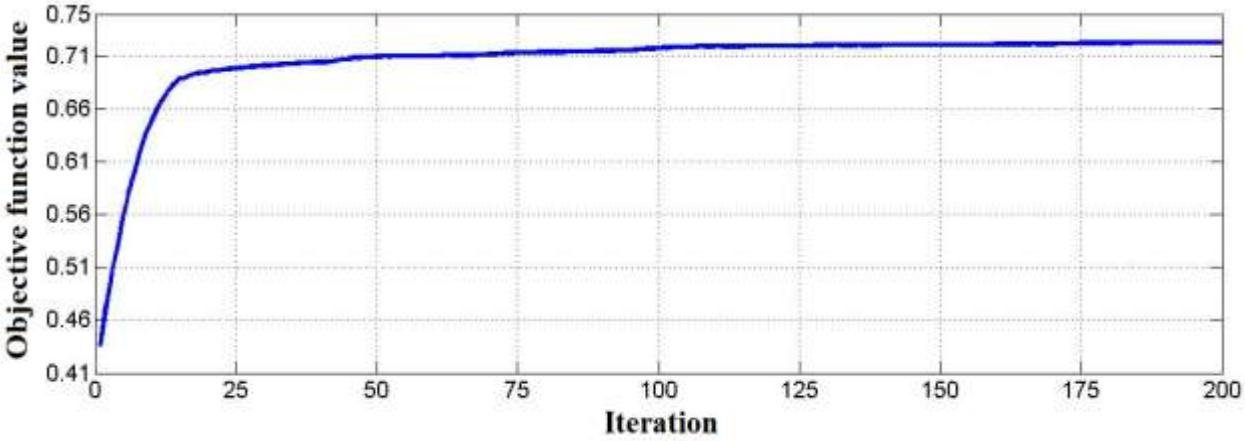
همان‌طور که در جدول (۱) مشاهده می‌شود، الگوریتم اکتشافی زنبور عسل با تعداد ۲۰۰ تکرار، جواب قابل قبولی از نظر میزان مطلوبیت هر کاربری و همچنین نتایج بسیار خوبی از منظر پیوستگی و فشردگی لکه‌های کاربری اراضی به‌دست آورده است. همان‌طور که از نتایج مشاهده می‌شود مطلوبیت کاربری کشاورزی در رویکرد اکتشافی زنبور عسل نسبت به رویکرد MOLA، با افزایش مطلوبیت همراه بوده است که این به دلیل فشردگی لکه‌های کاربری کشاورزی و تخصیص بخشی از سرزمین‌های مطلوب‌تر برای کاربری کشاورزی می‌باشد که در رویکرد قبلی به کاربری مرتع‌داری تخصیص داده شده بود. البته بخشی کوچکی از کاهش مطلوبیت مرتع‌داری به این دلیل و بخش بیش‌تری از آن به دلیل افزایش پیوستگی و تخصیص سلول‌هایی با مطلوبیت پایین‌تر در مجاورت سلول‌های مطلوب‌تر، برای کاربری‌ها به منظور افزایش پیوستگی و تراکم لکه‌های کاربری اراضی می‌باشد.



شکل ۷: نقشه مطلوبیت مکانی کاربری‌های الف (صنعتی، ب) شهری، ج) کشاورزی و د) مرتع‌داری

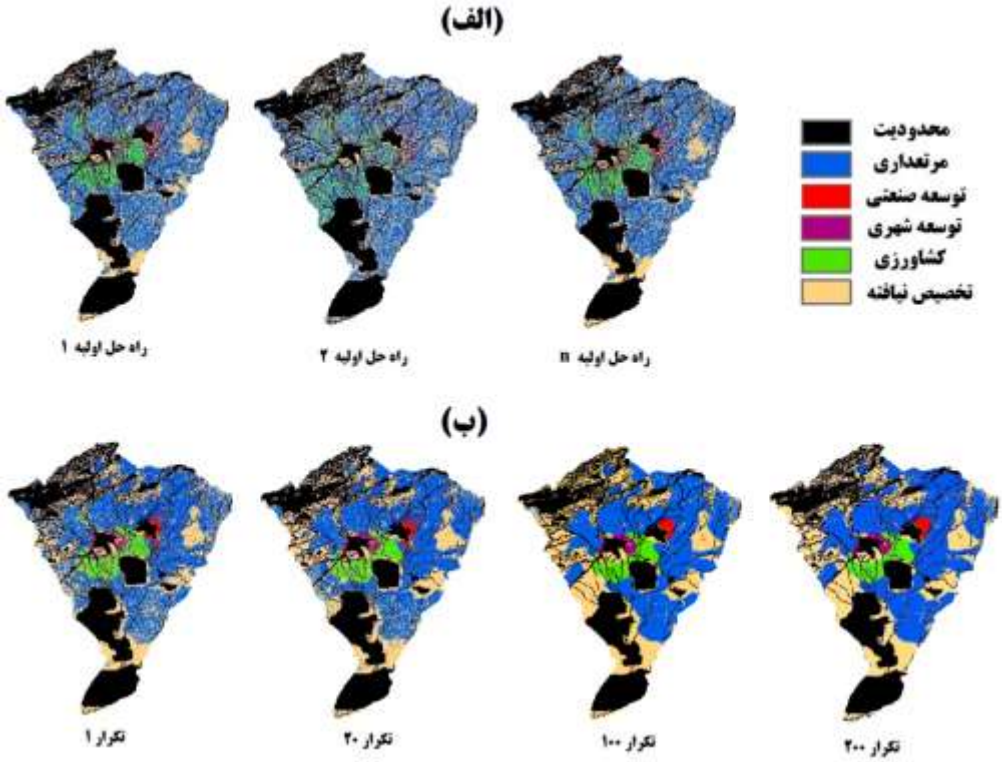
Figure 7: Suitability map of landusesA) IndustrialB) UrbanC) AgricultureD) Rangeland

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 20:36 IRST on Saturday November 1st 2025



شکل ۸: نمودار مقادیر تابع هدف در هر تکرار

Figure 8: Diagram of the objective function values in each iteration



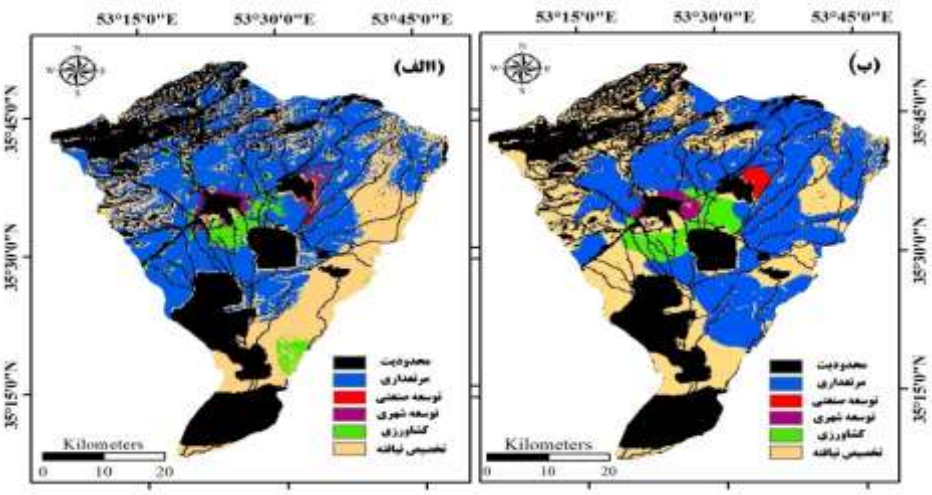
شکل ۹: فرآیند بهینه‌سازی تخصیص کاربری اراضی در طی تکرارهای مختلف در الگوریتم کلونی زنبور عسل، شامل الف) ایجاد جواب‌های شبه تصادفی، ب) بهبود راه‌حل‌ها در طی تکرار الگوریتم

Figure 9: Optimization process of land allocation during different iterations in bee colony algorithm, including A) Creating a pseudo-random solution,B) Improving solutions during algorithm repetition

بررسی سنجه‌های سیمای سرزمین، از جمله کاهش تعداد لکه‌ها و شاخص شکل زمین به ازای هر کاربری و نیز افزایش میانگین سطح لکه، شاخص بزرگ‌ترین لکه (درصدی از سیمای سرزمین که توسط بزرگ‌ترین لکه هر

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 20:36 IRST on Saturday November 1st 2025

کاربری اشغال شده)، شاخص مجاورت و شاخص پیوستگی کوهژن در رویکرد اکتشافی زنبور عسل نسبت به رویکرد MOLA، همگی نشان دهنده پیوستگی و فشردگی بسیار خوب لکه‌های کاربری اراضی در رویکرد مذکور می‌باشد. ضمن اینکه کاهش مطلوبیت هر کاربری کم و قابل قبول می‌باشد.



شکل ۱۰: نقشه تخصیص بهینه کاربری اراضی کشاورزی، مرتع‌داری، شهری و صنعتی

الف) رویکرد سادهب- الگوریتم کلونی زنبور عسل

Figure 10: Map of optimal allocation for agricultural, rangeland, urban and industrial landuse
A) Simple approachB)Beecolonyalgorithm

جدول ۱- مقایسه دو روش از منظر مطلوبیت و سنجه‌هایبوم‌شناسی سیمای سرزمین هر کاربری

Table 1- Comparison of two methods from the perspective of suitability and landscape ecology metrics for each landuse

فاکتورهای تاثیر گذار	کاربری	مساحت (هکتار)	مطلوبیت	فاکتورهای بوم‌شناسی سیمای سرزمین					
				NP	LPI	LSI	AREA-MN	CONTIG_MN	Cohesion Index
روش MOLA	شهر	۲۰۰۰	۰/۷۷۵	۳٤	۰/۱۳۱	٦/۳۲	۵۰	۰/۲۷۲۹	۸۱/٤٦٤
	صنعت	۱٦۰۰	۰/٦۹۲	۸٤	۰/۰۷	۱۰/٦۷	۱٦	۰/۱۲۱۱	٦۸/۳۰۷
	کشاورزی	۸٤۰۰	۰/۷۰۱	۱۷۸	۰/۹۵	۱٦/۱۲	٤۲	۰/۱۳۵۱	۹۰/۹۲۲
	مرتع	۹٦۰۰۰	۰/٦۱۱	۵۹۵	٤/۸۳	۲۹/۳۳	۱٤۵	۰/۱۷۰۷	۹٦/۳۲۳
روش الگوریتم زنبور عسل	شهر	۲۰۰۰	۰/۷٤۹	۱۰	۰/۱۷۹	۳/۵۱	۲۰۰	۰/۳۸٦	۹۰/۳۹۳
	صنعت	۱٦۰۰	۰/٦۷٦	۲	۰/۳۰۳	۱/۷۷	۸۰۰	۰/۵۱۱	۹٤/۸۲٤
	کشاورزی	۸٤۰۰	۰/۷٦۰	۲۲	۰/۵۵۸	٦/۰۳	۳۸۲	۰/٤۸٦	۹٤/۲۹٤
	مرتع	۹٦۰۰۰	۰/۵٤۵	۷٦	٤/۸۹	۱۵/۰۳	۱۱۰۵	۰/۳۹٤	۹۸/۱۰۹

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 20:36 IRST on Saturday November 1st 2025

نتیجه‌گیری

همان‌طور که اشاره گردید یکی از نقاط ضعف رویکرد MOLA عدم در نظر گرفتن پیوستگی و فشردگی در تخصیص سرزمین به کاربری اراضی می‌باشد. پیوستگی به معنی اتصال سلول‌های اختصاص یافته به یک کاربری به همدیگر می‌باشد؛ و فشردگی به معنی قرار گرفتن سلول‌های یک کاربری در یک لکه با حداقل نسبت محیط به مساحت می‌باشد (Eastman, 2015). رویکرد MOLA توسط بسیاری از پژوهشگران جهت تخصیص کاربری اراضی در مناطق مورد مطالعه به‌کار برده شده است (Akbari et al., 2017; Rezvani et al., 2018) ولیکن عدم توجه به معیار پیوستگی و تراکم لکه‌های کاربری اراضی در آن‌که اکثرا موجب ایجاد پراکندگی در موقعیت پیکسل‌های اختصاص یافته به یک کاربری می‌شود یکی از نقاط ضعف این رویکرد می‌باشد که در تحقیقات متعدد به آن اشاره شده است (Sante´-Riveira et al., 2008; Dai, 2010; Salman Mahiny et al., 2014; Kamyab et al., 2016Sharma & Less, 2004;). اگرچه استفاده از فیلتر مدتا حدی منجر به کاهش پراکندگی لکه‌ها می‌شود ولی این کار منجر به برهم خوردن مساحت هر کاربری و همچنین از بین رفتن اطلاعات موجود در منطقه می‌شود. ولیکن استفاده از رویکرد اکتشافی کلونی زنبور عسل ضمن ارائه نتایج خوب برای مطلوبیت هر کاربری، نتایج بسیار خوبی را از نظرسنجه‌های سیمای سرزمین و فشردگی و پیوستگی لکه‌های کاربری اراضی گردیده است که از ارکان مهم در برنامه‌ریزی سرزمین می‌باشد. نتایج پژوهش‌های دیگر در زمینه استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری مانند الگوریتم ژنتیک (Cao et al.,2012; Kamyab et al., 2016)، کلونی مورچه (Liu et al., 2014)، سیستم ایمنی مصنوعی (Ma and Zhao, 2015)، تبرید تدریجی شبیه سازی شده (Salmanmahiny et al., 2014) برای در نظر گرفتن معیار فشردگی و پیوستگی در تخصیص کاربری اراضی تایید کننده کارایی استفاده از الگوریتم‌های فرا اکتشافی در این زمینه می‌باشد. با توجه این‌که تعدد و تنوع راه‌حل‌های ممکن تخصیص بهینه کاربری اراضی با افزایش محدوده مورد مطالعه، افزایش تفکیک مکانی داده‌ها و افزایش تعداد کاربری اراضی به‌صورت نمایی افزایش می‌یابد و این پیچیدگی منجر به افزایش نمایی، زمان محاسبات می‌گردد لذا استفاده از استراتژی‌های جستجوهای شبه تصادفی و همچنین ایجاد راه‌حل‌های شبه تصادفی منجر به افزایش راندمان الگوریتم مورد استفاده و کاهش زمان مورد استفاده برای رسیدن به جواب نزدیک بهینه می گرددکه نتایج این پژوهش تایید کننده نتایج به‌دست آمده توسط Yang et al (2015) می‌باشد.

الگوریتم‌کلونی زنبور عسل در برخورد با مسائل بسیار پیچیده سرعت همگرایی پایینی دارد (Cui et al., 2018) و به راحتی در دام بهینه محلی گرفتار می‌گردد (Cui et al., 2016; Shi et al., 2016; Song et al., 2017). در این پژوهش با استفاده از رویکرد ایجاد جمعیت اولیه شبه تصادفی بر اساس اطلاعات و مکانیسم جستجوی محلی شبه تصادفی سعی در افزایش کارایی و سرعت همگرایی الگوریتم زنبور عسل گردید. همانطور که در قسمت نتایج مشاهده گردید الگوریتم در ۵۰ تکرار اول به نتایج قابل قبولی از مطلوبیت و در ۱۰۰ تکرار اول به همگرایی رسیده

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 20:36 IRST on Saturday November 1st 2025

است که نشانازسرعت بالای الگوریتم مذکور در همگرایی جواب‌ها می‌باشد. سرعت بالای همگرایی در الگوریتم‌ها، نشان از کارایی الگوریتم دارد (Cui et al., 2016).

در نظر گرفتن معیار پیوستگی و فشردگی در فرآیند تخصیص اگرچه مزایایی همچون ساختار مکانی بهتر و منطقی‌تر برای یک منطقه دارد اما رسیدن به این نتیجه همواره با هزینه‌هایی مانند کاهش تناسب بخشی از زمین برای فعالیتی خاص همراه می‌باشد (Kamyab et al., 2016). همان‌طور که از نتایج به‌دست آمد استفاده از معیار پیوستگی و فشردگی در تخصیص کاربری اراضی منجر به کاهش مطلوبیت مکانی کاربری‌ها می‌شود که این نتایج تایید کننده تحقیقات متعدد در این زمینه از جمله (Kamyab et al., 2015: 2016) می‌باشد. نگاه همزمان به تناسب و ویژگی‌های سیمای سرزمین نظیر پیوستگی لکه‌ها، اگرچه سبب فاصله از حالت مطلوب در هدف مطلوبیت مکانی هر کاربری می‌شود ولیکن با توجه به آن‌که سیمای سرزمین لکه‌ای دارای آثار منفی متعدد بر فعالیت‌های انسانی، جریان انرژی، پراکنش گونه‌ها و مدیریت سرزمین‌های مجاور است (Cao et al., 2011). در الگوریتم مورد استفاده می‌توان با تغییر وزن توابع هدف مورد استفاده و به‌خصوص تابع هدف فشردگی، توازنی را بین حداکثر مطلوبیت هر کاربری و فشردگی و پیوستگی لکه‌های کاربری اراضی به‌وجود آورد. لذا توجه به ساختار مکانی سیمای سرزمین در فرآیند اختصاص کاربری و موازنه بین حداکثر مطلوبیت و حداکثر پیوستگی و فشردگی، جزء لاینفک تخصیص بهینه کاربری اراضی می‌باشد که توجه بیش‌تری را در مطالعات مربوط به تخصیص کاربری می‌طلبد.

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 20:36 IRST on Saturday November 1st 2025

References

- Akbari, H., Fatahi, M., Aghajani, H., Fatahi, M. R., (2017), "Evaluation suitable area for ecotourism using fuzzy multi-criteria decision making GIS environment (Case study: Mashhad city)", ***Journal of Geographical Space***, 17 (57): 87-104. [In Persian].
- Apan, A. A., Raine S. R., Paterson, M. S., (2002), "Mapping and analysis of changes in the riparian landscape structure of the Locker valley catchment, Queensland, Australia". ***Journal of Landscape and Urban***, 59 (1): 43-57.
- Ayoubi, Sh., Jalalian, A., (2006), "***Land evaluation (agriculture and natural resources)***". Isfahan: Isfahan University of Technology Pub, 396 p. [In Persian].
- Bakhtiari Far, M., Mesgari, M. S., Karimi, M., Chehreghani, A., (2011), "Land use change modeling using multi-criteria decision making and GIS methods", ***Journal of Environmental Studies***, 33(58): 43-52. [In Persian].
- Cao, K., Batty, M., Huang, B., Liu, Y., Yu, L., Chen, J. F., (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.
- Cao, K., Huang, B., Wang, S., Lin, H., (2012),"Sustainable land use optimization using boundary-based Fast genetic algorithm. Computers", ***Environment and Urban Systems***, 36: 257-269.
- Cui, L., Li, G., Lin, Q., Du, Z., Gao,W.,Chen, J., Lu, N., (2016), "A novel artificial bee colonyalgorithm with depth-first search framework and elite-guided searchequation". ***Information Sciences***, 367: 1012-1044.
- Dai, W., (2010),"Spatial decision support for multi-objective land allocation: With application to conservation reserve design. Ph.D Thesis. Faculty of GIS, Clark University.
- Eastman, J.R., Toledano, J., Jin, W., Kyem, P.A.K., (1993),"Participatory multi-objective decision-making in GIS.Proceedings of the 11th International Symposium on Computer-Assisted Cartography,Minneapolis, Clark University, Taylor & Francis, 33-43.
- Eastman, J. R., (2015), "***TerrSet manual***, Clark: Clark University", pub. [on line]: https:// clarklabs.org /wp-content/uploads/2016/10/Terrset-Manual. pdf
- Ghambari, S., Rahati, A.,(2017),"An improved artificial bee colony algorithm and its application to reliability optimization problems", ***Applied Soft Computing***, 62 : 736–767.
- Kamyab, H. R., Mahini, A., Shahraeani, M., (2015),"A genetic algorithm enhancement of MOLA approach using landscape metrics", ***Town and country planning***, 7(1): 29-48. [In Persian].
- Kamyab, H. R., Mahini, A., Shahraeani, M., (2016), "Comparison of ecosystem- based land allocation using genetic algorithm and MOLA", ***Environmental Researches***, 7(41): 157-168. [In Persian].
- Karaboga, D., (2005), "An idea based on honey bee swarm for numerical optimization. Technical Report, Erciyes University.
- Karimi, M., (2010), "Development of multi-criteria decision making methods for determinig optimal land cover", PhD Thesis. Khaje Nasir University, humanity faculty. [In Persian].
- Kong, F., Nakagoshi, N.,(2006),"Spatial - temporal gradient analysis of urban green spaces in Jina, China", ***Landscape and Urban Planning***, 78: 147-164.
- Lazoglou, M., Kolokoussis, P., Dimopoulou, E., (2016), "Investigating the use of a modified NSGA-II solution for land-use planning in Mediterranean Islands", ***Journal of Geographic Information System***, 2016 (8): 369-386

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 20:36 IRST on Saturday November 1st 2025

- Leitao, B., Ahern, A. J., (2002), "Applying landscape ecological concepts metrics in sustainable landscape planning", ***Journal of Landscape and Urban Planning***, 69(2): 65-93.
- Liu, Y. L., Tang, D. W., Kong, X. S., Liu, Y. F., Ai T. H., (2014), "A land-use spatial allocation model based on modified ant colony optimization", ***International Journal of Environmental Research***. 8 (4):1115-1126.
- Liu, X., Li, X., Shi, X., Huang, K., Liu, Y., (2012), "A multi-type ant colony optimization (MACO) method for optimal land use allocation in large areas", ***International Journal of Geographical Information Science***, 26 (7): 1325-1343.
- Makhdoom, M., (2012), "***The foundation of land use planning***", Tehran: Tehran University Press: Tehran. 300 p. [In Persian].
- Ma, X., Zhao, X., (2015), "Land use allocation based on a multi-objective artificial immune optimization model: An application in anlu County, China, ***Sustainability***, 7: 15632-15651.
-Rezvani, M., Alikhah, M., Farokhi, A., (2018), "Ecological evaluation for extensive and centralized recreational uses in Balghoor watershed using GIS and fuzzy analysis hierarchical process ", ***Journal of Geographical Space***, 18 (64): 1-19. [In Persian].
- Salman Mahiny, A., Asadolahi, Z., Saied Sabaee, M., Kamyab, H. R., NasirAhmadi K. A., (2014), Comparison of simulated annealing (SA) and multi objective land allocation (MOLA) for Solving the problem of multi-objective land allocation, ***Ijae***, 3 (9): 1-13. [In Persian].
- Samadzadegan, F.,Yadegari, M. R., (2010), "Presentation of a method based on bees colony optimization in determining the optimal distribution of inhabitants of urban areas in safe places", ***Geospatial Engineering Journal***, 1 (2): 47-59. [In Persian].
- Sante-Riveira, I., Boullon-Magan, M., Crecente-Maseda, R., Miranda-Barros, D.,(2008), "Algorithm based on simulated annealing for land-use allocation", ***Computers & Geosciences***, 34 (3): 259-268.
- Schindler, S., Poirazidis, K., Wrbka, T., (2008), "Towards a core set of landscape metrics for biodiversity assessments: A case study from Dadia National Park, Greece", ***Ecological indicators***, 8(5): 502-514.
- Sharma, S.K., Lees, B.G., (2004),"A comparison of simulated annealing and GIS based MOLA for solving the problem of multi-objective land use assessment and allocation". Proceedings of the 17th International Conference on Multiple Criteria Decision Analysis, Whistler, Canada. Australian national university. Scopus Press:101-111.
Shao, J., Yang, L., Peng, L., Chi, T.,Wang, X., (2015),"An improved artificial bee colony-based approach for zoning protected ecological areas, ***Plos One***, 10 (9):1-19
- Shaygan, M., Ali Mohammadi, A., Mansourian, A., (2013), "Multi-objective optimization of land use using goal attainment method and MOLA algorithms", ***Journal of Remote Sensing and GIS of Iran***, 5 (1): 11-12. [In Persian].
- Yang, L., Sun, X., Peng, L., Shao, J., Chi, T., (2015), "An improved artificial bee colony algorithm for optimal land-use allocation", ***International Journal of Geographical Information Science***, 29 (8): 1470-1489.
- Yang, L., Zhu, A., Shao, J., Chi, T., (2018), "A knowledge-informed and pareto-based artificial bee colony optimization algorithm for multi-objective land-Use allocation", ***Geo-Information***, 7 (63): 1-25.
- Yao, J., Zhang, X., Murray, A. T., (2017), "Spatial optimization for land-use allocation: Accounting for sustainability concerns". ***International Regional Science Review***. 1: 1-22.
- Zhang, Y., Zhang, H. Q., Ni, D. Y., Song, W., (2012), "Agricultural land use optimal allocation system in developing area: Application to Yili watershed, Xinjiang Region". ***Chinese Geographical Science***, 22 (2): 232-244.