پژوهش‌های محیط‌زیست، سال ۷، شماره ۱٤، پاییز و زمستان ۱۳۹۵، از صفحه ۱۵۷ تا ۱۶۸

مقایسه تخصیص اکوسیستمی کاربری سرزمین با استفاده از الگوریتم ژنتیک و رویکرد تخصیص چند هدفه

حمیدرضا کامیاب*[۱]، عبدالرسول سلمان ماهینی[۲]، محمد شهرآیینی[۳]

۱. دانش‌آموخته دوره دکتری رشته ارزیابی و آمایش سرزمین، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۲. دانشیار گروه محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۳. استادیار گروه برق، دانشگاه گلستان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۱/۲۳؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۱۱/۰۴)

چکیده

آمایش سرزمین اصطلاح گسترده‌ای است که به فرایندهای مختلف مدیریت سرزمین مربوط می‌شود. یکی از پیچیده‌ترین فرایندها اختصاص انواع مختلف کاربری زمین به واحدهای مکانی و ایجاد نقشه پهنه‌بندی شده کاربری‌های رقیب است. تعیین واحد کاری مناسب برای پهنه‌بندی کاربری‌ها یکی از چارچوب‌های دسته‌بندی روش‌های مختلف تخصیص کاربری است که بیشتر به دو دسته واحد سلولی (مانند روش MOLA) و پهنه‌ای (مانند روش روی‌هم‌گذاری نقشه و تجزیه و تحلیل سیستمی) تقسیم می‌شوند. الگوریتم‌های بهینه‌سازی نیز از روش‌های تخصیص کاربری هستند که علاوه بر امکان استفاده همزمان از چند هدف در فرایند تخصیص کاربری، می‌توانند هر دو رویکرد سلولی و پهنه‌ای را در خود جای دهند. در این مطالعه، از الگوریتم ژنتیک برای تخصیص کاربری اراضی در شهرستان گرگان استفاده شد که همزمان به تناسب و ویژگی‌های سیمای سرزمین توجه دارد. افزون برآن، در یک رویکرد از طبقه‌بندی شی‌گرای هدفمند (بر اساس ویژگی‌های محیط‌زیستی) برای ایجاد اکوسیستم‌های خرد و تخصیص کاربری برای هر واحد محیط‌زیستی بهره گرفته شد. نتایج نشان داد که در مقایسه با روش MOLA که تنها به تناسب سلولی زمین توجه دارد، تخصیص کاربری با الگوریتم ژنتیک اکوسیستمی منجر به بهبود قابل ملاحظه‌ای در شاخص‌های سیمای سرزمینی شده است. این نکته را می‌توان در بهبود چهار شاخص سیمای سرزمین شامل: تعداد لکه، میانگین توپری، اندازه موثر شبکه و شاخص پیوستگی مشاهده نمود. به عبارت دیگر، کاربری‌ها در الگوریتم ژنتیک شی‌گرا به پهنه‌هایی اختصاص یافته‌اند که دارای همگنی و هم‌شکلی در منابع پایدار اکولوژیک هستند. بنابراین، تنوع ویژگی‌ها در هر یگان محیط‌زیستی به حداقل ممکن می‌رسد.

کلید واژه‌ها: تخصیص کاربری، رویکرد اکوسیستمی، الگوریتم ژنتیک، طبقه‌بندی شی‌گرا، معیار سیمای سرزمین

*نویسنده مسئول: Email: kamyab.hr@gmail.com

سرآغاز

«آمایش سرزمین» اصطلاحی است که امروزه برای مدیریت سرزمین در ابعاد مختلف استفاده می‌شود (Porta et al., 2013). بهینه‌سازی کاربری زمین بخشی از فرایند آمایش سرزمین است که طی آن فعالیت‌ها و کاربری‌های مختلف به واحدهای سرزمین اختصاص می‌یابند (Cao et al., 2011). ابزارهای متعددی برای پشتیبانی از فرایندهای تصمیم‌سازی در برنامه‌ریزی سرزمین وجود دارد (Wu & Murray, 2007) و یکی از پیچیده‌ترین این فرایندها اختصاص طبقات مختلف کاربری زمین به واحدهای مکانی و ایجاد یک نقشه پهنه‌بندی شده کاربری است (Porta et al., 2013). در این فرایند، کاربری‌های چندگانه که گاهی متعارض نیز هستند، بر سر واحدهای سرزمین به رقابت می‌پردازند و سرانجام یکی از آنها در صورت عدم امکان استفاده چندگانه هم زمان، به هر واحد سرزمین اختصاص می‌یابد. روش ها و ابزارهای متعددی برای نحوه اختصاص کاربری‌ها وجود دارد. در یک دسته‌بندی، روش‌ها بر اساس تعارض و تعداد گزینه‌های موجود برای تصمیم‌گیری تفکیک می‌شوند (Devillers et al., 2011). بین دسته‌بندی‌های مختلف روش‌ها، یک دسته‌بندی در این مطالعه بیشتر مد نظر قرار گرفته است که همان تعیین واحد کاری مناسب برای پهنه‌بندی کاربری‌هاست. واحد کاری در روش‌های تخصیص کاربری به دو دسته اصلی تقسیم می‌شود: اول، روش‌هایی که منحصرا بر واحدهای پلی‌گونی (پهنه‌ای) اجرا می‌شوند و دوم، روش‌هایی که دارای تنوع در استفاده از واحدهای کاری هستند. بین روش‌های دسته اول اختصاص سرزمین به کاربری ها که نتایج آن بیشتر پهنه‌ای است، می‌توان به روش روی‌هم‌گذاری نقشه و تجزیه و تحلیل سیستمی اشاره نمود (مخدوم، ۱۳۸۳) و دسته دوم نیز هر دو گروه داده پهنه‌ای و سلولی و یا سایر واحدها را مورد استفاده قرار می‌دهد و شامل الگوریتم‌های متعدد بهینه‌سازی می‌شود که معمول‌ترین آن‌ها روش تخصیص سرزمین به کاربری‌های رقیب (MOLA)[1] (Eastman, 2012) و الگوریتم‌های بهینه‌سازی اکتشافی مانند الگوریتم ژنتیک (Porta et al., 2013; Cao et al., 2011; Liu et al., 2015; Stewart & Janssen, 2014; Stewart et al., 2004)، تبرید تدریجی (Duh & Brown, 2007)، ازدحام ذرات (Liu et al., 2013) و مانند آن می‌باشند. اگرچه، پهنه‌بندی بر اساس هر دو رویکرد قابل انجام است، اما وجود محدودیت‌هایی در این دو دسته سبب تمایز آن‌ها از هم می‌شود.

در روش تجزیه و تحلیل سیستمی، واحد کاری برای برنامه‌ریزی تخصیص کاربری اکوسیستم‌های خرد (واحدهای محیط‌زیستی) است. در این روش، هر اکوسیستم خرد یا واحد محیط‌زیستی منطقه‌ای است که بین منابع اکولوژیکی پایدار آن همگنی و همشکلی وجود دارد و به دلیل آن‌که یگان (واحد محیط‌زیستی) به‌دست آمده در واقع نشان‌دهنده یک اکوسیستم خرد است، بهتر می‌تواند توان سرزمین را نمایان کند (مخدوم، ۱۳۸۳). عدم انعطاف‌پذیری بالا در این روش از نظر تعداد معیارهای ورودی و عدم وجود پارامترهای جبران (جبران توان ضعیف یک معیار با توان بالای معیار دیگر) و ریسک‌پذیری (میزان پذیرش پارامترهای ضعیف در برابر پارامترهای قوی) و عدم توجه به روابط همسایگی در مجموع سیمای سرزمین سبب بروز محدودیت‌هایی در نتایج آن می‌شود.

اما، در دسته دوم (الگوریتم‌های بهینه‌سازی) برای بهبود بخشیدن به **سرعت تحلیل** و امکان اعمال فعالیت‌ها، گاهی واحدهای پهنه‌ای به جای واحدهای سلولی، خطی و نقطه‌ای به کار برده می‌شوند. اگرچه، در بیشتر مطالعات واحدهای پهنه‌ای استفاده شده بر مبنای رویکردهای اکوسیستمی نبوده‌اند. برای نمونه، در برخی از روش‌ها از کاربری فعلی سرزمین برای تعیین واحدهای کاری استفاده می‌شود (Holzka¨mper et al., 2006) و در برخی دیگر، پهنه‌های مدیریتی بر مبنای محدوده‌های سیاسی تعیین می‌شوند (Porta et al., 2013). اما، همچنان مشکل مدیریت واحدها به دلیل عدم تناسب با واقعیت تا حدود زیادی وجود دارد. ضمن آن‌که در برخی از روش‌های این گروه مانند MOLA، تنها به تناسب برای اختصاص کاربری‌ها توجه می‌شود و هیچ رویکرد اکوسیستمی در تحلیل آن وجود ندارد (Sante´-Riveira et al., 2008). از طرف دیگر، در برخی دیگر مانند روش‌های بهینه‌سازی اکتشافی امکان مدیریت همزمان چند هدف؛ به‌ویژه اهداف مرتبط با ساختار مکانی سیمای سرزمین وجود دارد (Cao et al., 2011). اگر چه در این موارد، نگاه هم زمان به تناسب و ویژگی‌های سیمای سرزمین نظیر پیوستگی لکه‌ها، سبب دور شدن از حالت مطلوب در هر یک از اهداف می‌شود. در هر حال، با توجه به آن‌که سیمای سرزمین لکه‌ای دارای آثار منفی متعدد بر فعالیت‌های انسانی، جریان انرژی، پراکنش گونه‌ها و مدیریت سرزمین‌های مجاور است، توجه به ساختار مکانی سیمای سرزمین در فرایند اختصاص کاربری یک نگرانی روبه افزایش است که توجه بیشتری را در مطالعات مربوط به تخصیص کاربری می‌طلبد (Cao et al., 2011).

مرور منابع موجود داخلی نشان از عدم توجه به رویکرد محیط‌زیستی در انجام بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک و رویکرد MOLA دارند. برای مثال، (شایگان و همکاران، ۱۳۹۱) از الگوریتم NSGA2[۲] برای تخصیص کاربری در بخش از حوضه طالقان استفاده کردند که با وجود دخالت دادن اهداف چندگانه و ساختارهای سیمای سرزمینی دارای رویکردی سلولی برای تخصیص کاربری بوده است. در مطالعه‌ای مشابه توسط (سلمان ماهینی و همکاران، ۱۳۹۳)، تخصیص کاربری اراضی با روش تبرید تدریجی و با توجه به معیارهای سیمای سرزمین انجام گرفت که مانند دو مطالعه قبل در این مطالعه نیز مبنا برای تخصیص کاربری سلول بوده است.

آن چه در این مطالعه بدان پرداخته شده است، استفاده از نقطه قوت روش‌ها در یک مدل به طور همزمان است که تعیین واحدهای محیط‌زیستی به‌عنوان واحدهای کاری و توجه به معیارهای سیمای سرزمین از ویژگی‌های آن است. منظور از معیارهای سیمای سرزمین، ویژگی‌های کمّی مکانی سرزمین است (McGarigal et al., 2002). در مطالعه حاضر، واحدهای کاری در الگوریتم ژنتیک[۳] (GA)، براساس یگان‌های محیط‌زیستی قرار دارند و این یگان‌ها به کمک روش طبقه‌بندی شی‌گرا[۴] ایجاد می‌شوند. در این روش، منطقه به پهنه‌هایی تقسیم می‌شود که دارای همگنی متعادلی از لحاظ پارامترهای اکولوژیکی پایدار خواهد بود. پارامترهای اکولوژیکی مورد استفاده جهت تعیین یگان‌ها عبارت از: ارتفاع، شیب، جهت و تراکم پوشش گیاهی می‌باشند. در این روش، واحدهای محیط‌زیستی به‌عنوان مبنا و پایه تحلیل استفاده می‌شوند و همزمان از معیار پیوستگی لکه‌های کاربری‌ها و تناسب نیز بهره گرفته خواهد شد.

در کنار استفاده از روش الگوریتم ژنتیک و برای مقایسه، از رویکرد MOLA نیز برای مکان‌یابی کاربری‌ها استفاده می‌شود. در این روش، امکان دخالت دادن واحدهای کاری پهنه‌ای وجود ندارد و فرایند تخصیص کاربری تنها بر اساس تناسب هر سلول به صورت مجزا و بدون توجه به محیط اطراف انجام می‌شود.

در نهایت، دو روش فوق از لحاظ جنبه‌های تناسب و معیارهای سیمای سرزمین با هم مقایسه می‌شوند تا تاثیر تغییرات اعمال شده در الگوریتم ژنتیک بر خروجی نهایی نمایان شود.

مواد و روش‌ها

روش پژوهش

ایجاد یگان‌های محیط‌زیستی با استفاده از پهنه‌بندی شی‌گرا

طبقه‌بندی، یکی از روش‌های معمول استخراج اطلاعات و به ویژه در مورد داده‌های ماهواره‌ای است. در روش‌های معمول سلول‌پایه، طبقه‌بندی بر اساس ارزش عددی هر یک از سلول‌ها انجام می‌شود. اما، در روش طبقه‌بندی شی‌گرا اطلاعات هر سلول با اطلاعات مکانی ادغام شده و سلول‌ها بر اساس همگنی در سطح لایه‌ها با مقیاس مشخص پهنه‌بندی می‌شوند و طبقه‌بندی تصویر بر اساس این پهنه‌ها انجام می‌شود. روش‌های معمول طبقه‌بندی شی‌گرا در سه مرحله انجام می‌شود (Eastman, 2012):

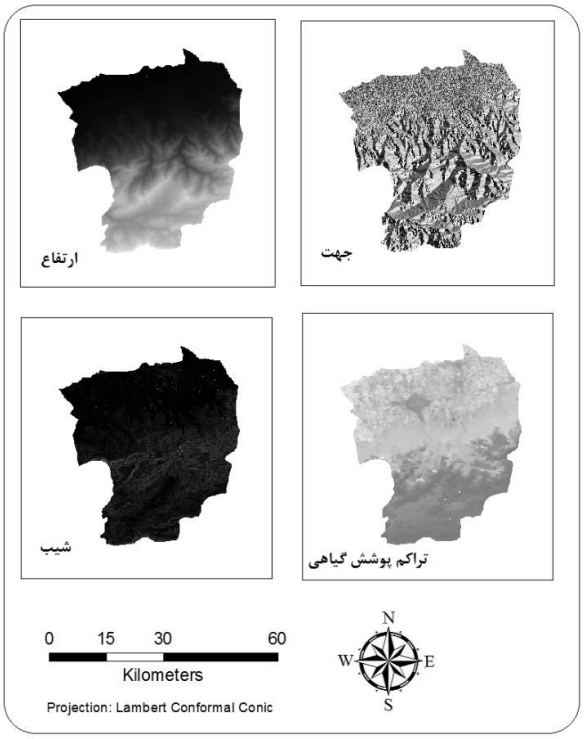
مرحله اول پهنه‌بندی[۵] بر اساس همگنی داده‌های ورودی قرار دارد. مرحله دوم، تعریف نمونه‌های تعلیمی از این داده‌ها است و در مرحله سوم، طبقه‌بندی نهایی داده‌ها انجام می‌شود. از مرحله اول این فرایند جهت پهنه‌بندی منطقه در فرایند تخصیص کاربری استفاده می‌شود. پهنه‌های حاصل از این روش برای تخصیص کاربری اکوسیستم‌های خرد خواهند بود که در آن تعدادی از پارامترهای اکولوژیکی (به جای داده‌های ماهواره‌ای) با هم ترکیب می‌شوند. در پژوهش حاضر، پارامترهایی که برای تهیه نقشه اکوسیستم‌های خرد مورد استفاده قرار گرفته‌اند عبارتند از: شیب، جهت، ارتفاع و تراکم پوشش گیاهی (شکل ۱) که مرحله اول پهنه‌بندی شی‌گرا بر مبنای آن‌ها انجام گرفت.

معیاری که برای پهنه‌بندی در این مطالعه استفاده شد بر اساس مقادیر میانگین و واریانس تغییرات در پارامترهای اکولوژیکی قرار دارد. به‌عبارت دیگر، در این روش مناطقی که پارامترهای اکولوژیکی (شکل ۱) آن‌ها دارای تشابه بیشتر و تغییرات کمتری هستند در یک پهنه قرار می‌گیرند. لایه حاصل از این فرایند در الگوریتم ژنتیک که یک فرایند بهینه‌سازی جمعیت‌گرا می‌باشد، به عنوان جمعیت اولیه مورد استفاده قرار می‌گیرد.

بهینه‌سازی چندهدفه با الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک که نخستین بار توسط هولند در سال ۱۹۷۵ ارایه شد یکی از روش‌های پراستفاده در زمینه جست‌وجوی راه‌حل نزدیک بهینه از بین تعداد بی‌شمار راه‌حل است (Feng & Lin, 1999; Matthews et al., 2006; Michalewicz, 1996). الگوریتم ژنتیک بر پایه محاسبات تکاملی استوار است (Mitchell et al., 1994). در تکامل زیست‌شناختی، الگوریتم ژنتیک روشی

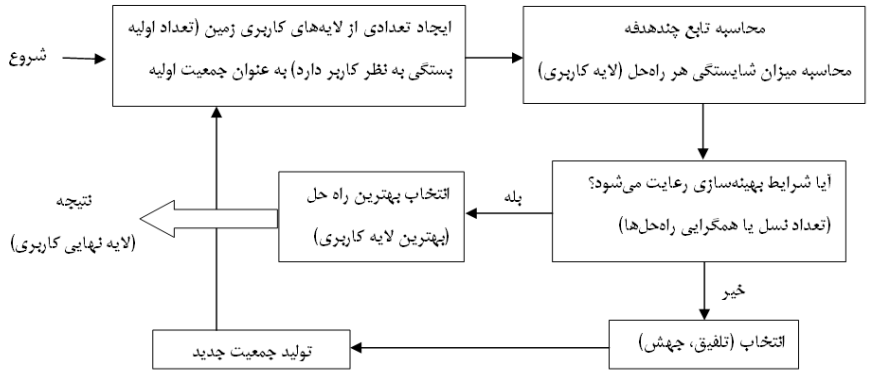
موثر برای تبدیل جمعیتی از کروموزوم‌ها به جمعیت جدید است که این انتقال توسط فرایند انتخاب طبیعی و با اثرگذاری عواملی مانند جهش[۶] و برش[۷] صورت می‌پذیرد. مزیت اصلی این الگوریتم، در جست‌وجوی موازی و فرایند انتخاب تصادفی



شکل (۱): پارامترهای اکولوژیکی مورد استفاده جهت پهنه‌بندی

جمعیت‌ها بدون دخالت اولیه در آن است.

در این روش بهینه‌سازی، هر لایه کاربری زمین به عنوان یک فرد (کروموزوم) از جمعیت معرفی می‌شود. هر یگان این لایه‌ها را می‌توان یک ژن دانست. دو فرایند تلفیق و جهش برای دور شدن راه‌حل‌ها از حالت محلی به راه‌حل کلی به کار می‌رود. فرایند تکامل نیز بر اساس میزان امتیاز کسب شده توسط هر لایه کاربری زمین در هر مرحله به پیش می‌رود. به طور کلی، مراحل انجام کار با استفاده از الگوریتم ژنتیک به صورت شکل (۲) است.



شکل (۲): نمودار جریانی مراحل انجام کار با استفاده از الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک مورد استفاده در این مطالعه بر اساس توپولوژی لکه‌ها فراهم شده است. هر لکه، در حقیقت یک واحد محیط‌زیستی است که به خوبی می‌تواند مبنای برنامه‌ریزی باشد. از ویژگی‌های این روش محاسبات در الگوریتم ژنتیک می توان بیان داشت که علاوه بر تغییر واحدهای مدیریتی از سلول به لکه (یگان محیط‌زیستی)، زمان محاسبات نیز تا حد زیادی کاهش پیدا خواهد

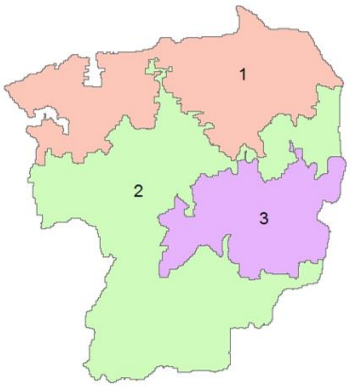
کرد. شکل (۳) روش مورد استفاده جهت استخراج لکه‌ها (یگان محیط‌زیستی) را برای ایجاد کروموزوم نشان می‌دهد. در این روش، هر یگان (هر لکه با کد منحصر به فرد) به عنوان یک ژن کروموزم در تخصیص کاربری مورد استفاده قرار می‌گیرد.

از قابلیت‌های الگوریتم‌های بهینه‌سازی از جمله الگوریتم ژنتیک، چندهدفه بودن آن است که این امکان را فراهم می‌سازد تا علاوه بر تناسب برای تخصیص کاربری، به معیارهای دیگر هم توجه نمود. یکی از معیارهای مورد توجه در تخصیص کاربری معیارهای سیمای سرزمین است. برای نمونه، به حداقل رساندن لکه‌لکه شدگی سیمای سرزمین یک نیاز ضروری برای انجام مطالعات آمایش سرزمین است (Cao et al., 2011). مطالعات متعددی بر استفاده از شاخص‌های پیوستگی مکانی در تخصیص کاربری تاکید داشته‌اند.

در این مطالعه، شاخص پیوستگی لکه‌ها[۸] به عنوان معیار سیمای سرزمین در ترکیب با تناسب زمین برای هر کاربری در الگوریتم بهینه‌سازی استفاده شد (McGarigal et al., 2002). این شاخص، پیوستگی فیزیکی لکه‌های مربوط به یک کاربری را نشان می‌دهد (معادله ۱). با افزایش پیوستگی لکه‌ها مقدار این شاخص نیز افزایش خواهد یافت.

$$COHESION = \left[1 - \frac{\sum_{J=1}^{n} p_{ij}}{\sum_{j=1}^{n} p_{ij}\sqrt{a_{ij}}}\right].\left[1 - \frac{1}{\sqrt{z}}\right]^{-1}.100 \qquad (۱)$$

در این معادله، p_{ij} محیط هر لکه، a_{ij} مساحت هر لکه و z تعداد سلول‌های منطقه است. به دلیل استفاده از محیط و مساحت لکه‌ها در این معادله، هر چه لکه‌ها بزرگ‌تر و به هم نزدیک‌تر باشد شاخص حاصل عدد بالاتری را نشان می‌دهد.



1	2	3

شکل (۳): استخراج لکه‌ها جهت تعریف به عنوان ژنوم در الگوریتم ژنتیک (هر لکه به عنوان یک ژن کروموزوم)

بنابراین، فرایند بهینه‌سازی را می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

حداکثرسازی تابع:

$$\sum_{k=1}^{k}\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M} b_{ijk}x_{ijk} \text{ .Cohesion}_{k} \qquad (۲)$$

به شرط:

$$\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M} x_{ijk} = S_k \ , \ \sum_{k=1}^{k} S_k = N\,M \qquad (۳)$$

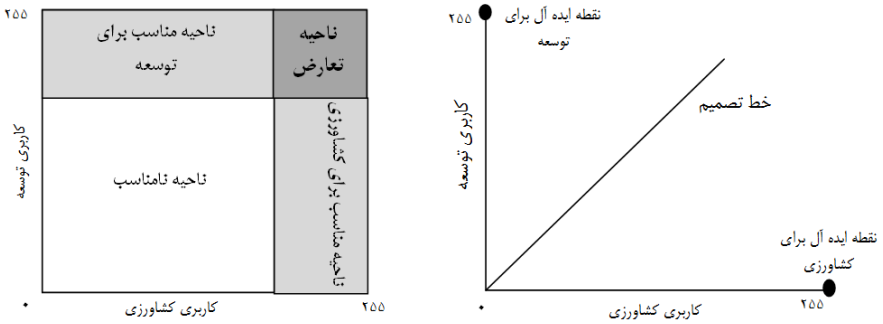
در معادله (۲)، k تعداد طبقات کاربری، i و j تعداد سلول‌های ستون و ردیف تصاویر هستند. b تناسب کاربری و x هم یک متغیر باینری (دودویی) است که در این‌جا به تمام سلول‌های موجود در هر یگان ارزش مشابه ۱ (در صورتی که یگان برای کاربری خاص انتخاب شود) و یا صفر (در صورتی که یگان برای کاربری خاص انتخاب نشود) تعلق می‌گیرد. معادله (۳) نیز برای مدیریت مقدار مساحت اختصاص یافته به هر کاربری مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای مدیریت این مقدار از تابع جریمه استفاده می‌شود که در آن به ازای تخطی از مقدار مساحت مورد نظر، مقداری از مطلوبیت نهایی لایه (متناسب با میزان تخطی) کاهش می‌یابد.

بهینه‌سازی تخصیص کاربری با رویکرد MOLA

رویکرد MOLA یک رویه پشتیبان تصمیم‌گیری با هدف ایجاد راه حل بهینه در تخصیص مکانی به کاربری‌های چندگانه و اغلب ناسازگار است. این روش، تنها به بهینه‌سازی مطلوبیت بدون توجه به توزیع مکانی کاربری‌ها می‌پردازد. زمانی که تنها مطلوبیت برای اختصاص کاربری‌ها مبنا قرار گیرد، این روش بهترین انتخاب است. اما، در صورت توجه به معیارهای دیگر از جمله ساختار مکانی کاربری‌ها در سیمای سرزمین استفاده از این رویکرد پاسخگوی تمام نیازها نخواهد بود. در این رویکرد، فرایند اختصاص کاربری‌ها بر اساس تناسب انجام می‌شود و برای مناطق متعارض که در آن‌ها چند کاربری دارای توان مناسب یا بالا باشند، بر اساس روش نزدیکی به نقطه ایده‌ال کاربری نهایی استخراج خواهد شد (شکل ۴) (Eastman, 2012). همان‌گونه که در شکل (۴) نشان داده شده است، رقابت برای تخصیص کاربری برای دو فعالیت

کشاورزی و توسعه است که در این رویکرد، تناسب مبنای اختصاص زمین به هر یک از کاربری‌هاست. مشکل در اختصاص کاربری برای مناطقی است که در آن‌ها تضاد وجود دارد. رویکرد MOLA در ناحیه تعارض که دو کاربری دارای رقابت با هم هستند، یک خط تصمیم را به کار می‌گیرد که کل فضای تصمیم را به دو بخش تقسیم می‌کند. برای هر کاربری، هدف یک نقطه ایده‌آل[۹] است که برای آن هدف از همه مناسب‌تر است و دارای تناسب کمتر برای کاربری دیگر است (شکل ۴).

هدف استفاده از رویکرد MOLA در این مطالعه، داشتن یک استاندارد برای مقایسه قابلیت الگوریتم ژنتیک مبتنی بر اکوسیستم بوده است.

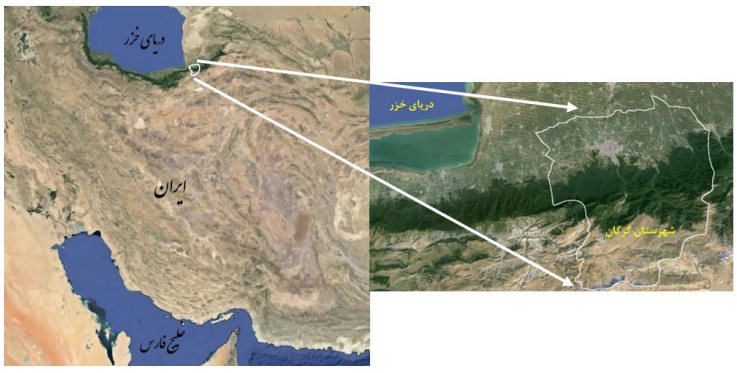


شکل (۴): حل تعارض در MOLA
(ناحیه مناسب برای هر کاربری و ناحیه تعارض که برای هردو کاربری تناسب دارد. انتخاب در این مناطق بر اساس میزان تناسب است)

منطقه مورد مطالعه

شهرستان گرگان واقع در استان گلستان در محدوده جغرافیایی ´۲۰ °۵۴ تا ۷۵ °۵۴ طول شرقی و ´۵۰ °۳۶ تا °۳۷ درجه عرض شمالی قرار گرفته است. این شهرستان با مساحت ۱۶۱۷ کیلومترمربعی و جمعیت حدود ۴۶۲۴۵۵ نفری پرجمعیت‌ترین شهرستان این استان است (سالنامه آماری استان گلستان، ۱۳۹۱). از نظر ناهمواری‌ها این شهرستان به سه ناحیه جلگه‌ای، کوهپایه‌ای و کوهستانی تقسیم می‌شود.

با توجه به کاربری‌های غالب در منطقه که شامل کشاورزی، جنگل، مرتع و مناطق توسعه یافته می‌شود، در فرایند آمایش این شهرستان نیز از این چهار کاربری کلان استفاده شده است. شکل (۵)، موقعیت منطقه را در استان گلستان و ایران نشان می‌دهد.



شکل (۵): موقعیت منطقه مورد مطالعه

یافته‌ها

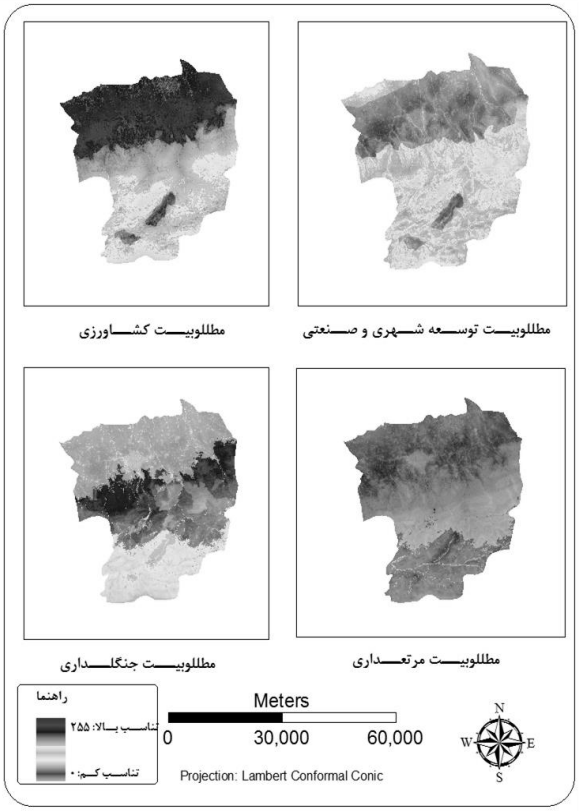
تهیه لایه مطلوبیت برای کاربری‌ها با استفاده از رویه MCE

لایه مطلوبیت کاربری‌ها، میزان تناسب هر منطقه را برای هر کاربری نشان می‌دهد. این لایه‌ها با استفاده از رویه برآورد چندمعیاره[۱۰] تهیه شدند. در این رویه، برای هر کاربری فاکتورها و محدودیت‌های موثر شناسایی شده و فاکتورها پس از وزن‌دهی با استفاده از روشی مانند ترکیب خطی وزن‌دار ترکیب می‌شوند تا لایه مطلوبیت نهایی برای هر کاربری ایجاد شود. معادله (۴)، روش محاسبه مطلوبیت

به روش MCE (سلمان ماهینی و کامیاب، ۱۳۹۱) و شکل (۶)، لایه نهایی مطلوبیت را نشان می‌دهد (منبع لایه‌ها: سلمان‌ماهینی، ۱۳۹۳) .

$$S= \Sigma i=1 \text{ to } n \; WiXi * ДCi \qquad (۴)$$

در این معادله، S تناسب برای زون مورد نظر، W وزن هر یک از لایه‌ها، Xi لایه فازی یا همان فاکتور و Ci لایه بولین یا همان محدودیت هستند. تناسب حاصل برای هر لایه در محدوده اعداد ۲۵۵-۰ است که عدد بالاتر مطلوبیت بیشتری برای اختصاص آن کاربری را دارد.

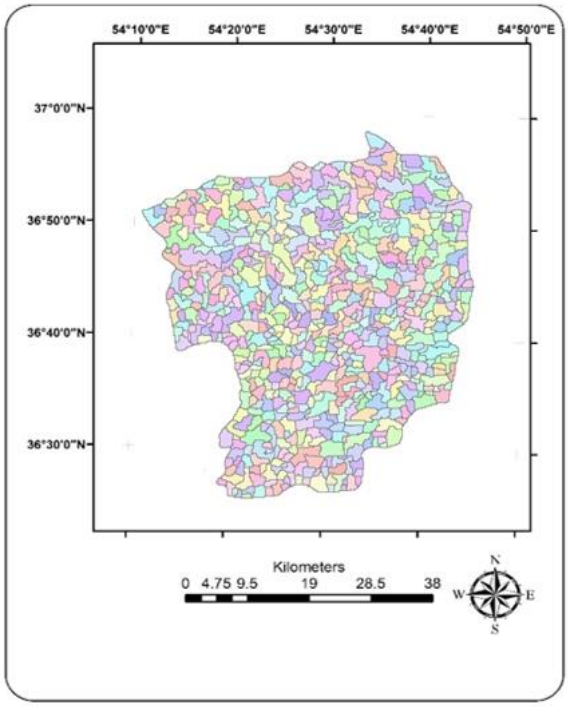


شکل (۶): لایه مطلوبیت کاربری‌های کلان منطقه (منبع لایه‌ها: سلمان‌ماهینی، ۱۳۹۳)

ایجاد یگان‌های محیط‌زیستی با طبقه‌بندی شی‌گرا

بر پایه چهار لایه اکولوژیکی اختصاص یافته جهت ایجاد پهنه‌های محیط‌زیستی با استفاده از روش پهنه‌بندی شی‌گرا (بر اساس معیار واریانس تغییرات پارامترها)، لایه‌ای ایجاد می‌شود که در آن مناطقی که دارای تغییرات کمتری نسبت به محیط پیرامونی خود هستند، در پهنه‌های مجزایی قرار می‌گیرند. نتیجه اجرای این فرایند، پهنه‌بندی منطقه به واحدهای اکوسیستمی خرد است که شکل (۷) نتیجه این قطعه‌بندی را برای شهرستان گرگان نشان می‌دهد. البته، تعداد و قابلیت تفکیک بین قطعات بر اساس میزان تغییرپذیری مورد نظر ممکن است دارای تغییراتی باشد. برای نمونه، در تغییر پذیری بالا معمولا تعداد پهنه‌های کمتر اما با ناهمگنی بیشتر ایجاد می‌شود و در تغییرپذیری پایین نیز تعداد قطعات بیشتری با همگنی بسیار خالص به‌دست می‌آید. بنابراین، در این پژوهش سعی شد تا با اجرای این رویه با مقادیر متفاوت تغییرپذیری، حد متعادلی از همگنی و تعداد پهنه‌های اکوسیستمی تولید شود.

در نتیجه اجرای این رویه، در شهرستان گرگان ۶۴۵ پهنه اکوسیستمی همگن ایجاد شد که می‌توان از آن به عنوان واحد برنامه‌ریزی در اختصاص کاربری استفاده نمود.



شکل (۷): پهنه‌بندی شهرستان گرگان بر اساس اکوسیستم‌های خرد

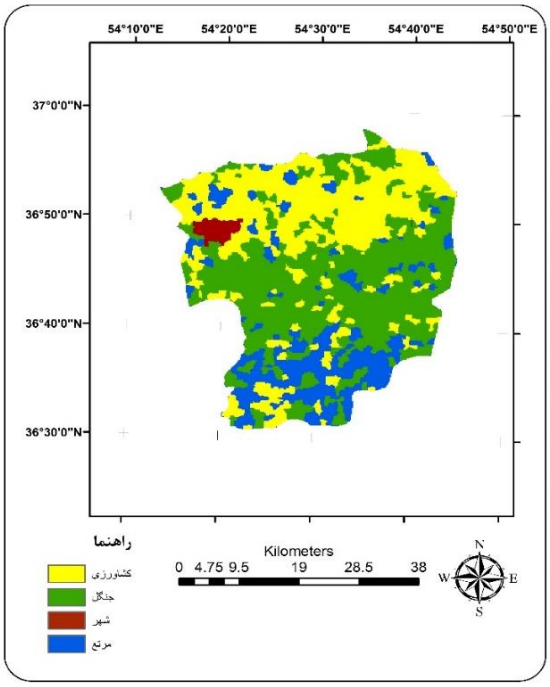
تخصیص کاربری اراضی با استفاده از الگوریتم ژنتیک اکوسیستم-پایه

الگوریتم ژنتیک از الگوریتم‌های بهینه‌سازی جمعیت‌گراست که در این‌جا بر اساس تابع هدف حاصل از مطلوبیت هر کاربری و شاخص پیوستگی و مقدار مساحت مورد نظر برای هر کاربری (جدول ۱)، اجرا شد. نوع تابع جهش استفاده شده در این الگوریتم جهش یکنواخت بوده و برای تلفیق هم از روش تلفیق یکنواخت استفاده شد. فضای جست‌وجوی راه‌حل‌ها نیز واحدهای

محیط‌زیستی هستند و هیچ نوع محدودیتی برای انتخاب یگان برای یک کاربری وجود ندارد. نکته جدید در این الگوریتم استفاده از یگان‌های محیط‌زیستی به عنوان واحد کاری (ژن هر کروموزم) است که عملگرهای الگوریتم ژنتیک بر این یگان‌ها اعمال می‌شوند. شکل (۸)، نتیجه اجرای الگوریتم ژنتیک را با مساحت جدول (۱) برای شهرستان گرگان نشان می‌دهد. این مقادیر مساحت بر اساس نظر کارشناسی و تناسب منطقه برای کاربری‌ها انتخاب شده است.

جدول (۱): مساحت اختصاص یافته برای کاربری‌های منطقه

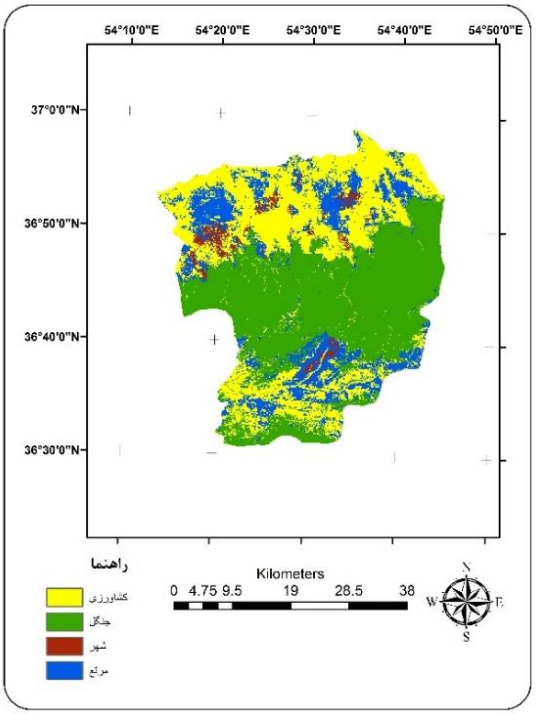
کاربری	مساحت (هکتار)
کشاورزی	۵۵۰۰۰
مرتع	۲۹۵۰۰
جنگل	۷۳۵۰۰
توسعه	۳۷۷۰



شکل (۸): تخصیص کاربری اراضی با الگوریتم ژنتیک شی‌گرا

تخصیص کاربری با رویکرد MOLA

رویکرد MOLA (بخش بهینه‌سازی تخصیص کاربری با رویکرد MOLA) تنها بر اساس مطلوبیت، کاربری‌ها را به واحدهای زمینی (سلول) اختصاص می‌دهد. در صورتی که هدف از تخصیص کاربری‌ها تنها افزایش مطلوبیت باشد، می‌توان رویکرد MOLA را جزو بهترین روش‌ها در تخصیص کاربری دانست. منطق اصلی MOLA در مواجهه با موضوعات متضاد همانند مساله تک هدفه، استفاده از رویه مرتب‌سازی طبقه‌بندی مجدد است. اگرچه، در این رویکرد یکپارچگی سرزمین و کاربری‌ها کمتر مورد توجه قرار می‌گیرد. حداقل پارامترهای مورد نیاز برای این رویکرد دارا بودن لایه تناسب برای هر کاربری و مقدار مساحت است. با توجه به مساحت‌های مورد نیاز برای شهرستان گرگان (جدول ۱)، لایه کاربری بهینه شده برای شهرستان گرگان ایجاد شد (شکل ۹).



شکل (۹): تخصیص کاربری اراضی با رویکرد MOLA

مقایسه رویکردهای GA و MOLA

جهت بررسی قابلیت‌ها و ضعف‌های روش‌های مختلف برنامه‌ریزی سرزمین، می‌توان به روش‌های مختلف عمل کرد. در این‌جا، بخشی از تفاوت‌های حاصل از اجرای دو رویکرد GA و MOLA بررسی می‌شود. لازم به ذکر است که برای ارزیابی الگوریتم‌های بهینه‌سازی مواردی همچون هم‌گرایی و حساسیت به پارامترها هم مطرح است. اما، با توجه به ساختار اصلی این مطالعه که ارزیابی خروجی‌های مدل‌های آمایشی مورد استفاده بوده است. بنابراین، ارزیابی رویکرد دو مدل بر اساس تناسب و ساختار شکلی انجام گرفته است.

میزان تناسب اختصاص یافته به هر کاربری

اصلی‌ترین عامل در اختصاص فعالیتی خاص به منطقه، در نظر گرفتن ظرفیت و توان منطقه برای آن کاربری و فعالیت است. مقایسه نتایج حاصل از تناسب کاربری‌ها (تناسب برای هر لکه که بر اساس میانگین تناسب سلول‌های آن لکه است) برای شهرستان گرگان نشان می‌دهد. همان‌گونه که انتظار می‌رود در رویکرد MOLA در اکثر موارد تناسب بهتری نسبت به رویکرد GA حاصل شده است (جدول ۲).

جدول (۲): میانگین تناسب کاربری‌ها در دو رویکرد MOLA و GA

کاربری	میانگین تناسب در MOLA	میانگین تناسب در GA
کشاورزی	۱۸۸	۱۹۳
جنگل	۱۷۶	۱۷۰
شهر	۱۸۵	۱۸۳
مرتع	۱۸۳	۱۷۲

بررسی ساختار مکانی لکه‌های هر کاربری

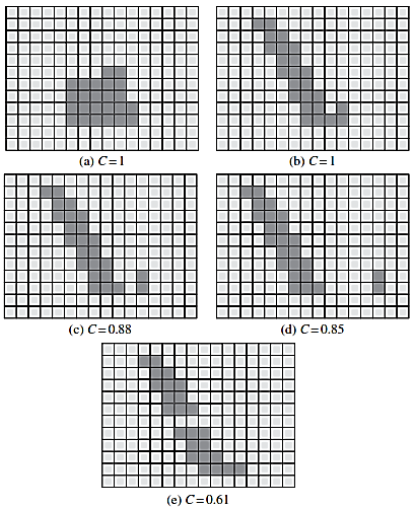
به دلیل آثار منفی وجود لکه‌های ازهم‌گسیخته، بررسی ساختار مکانی در اختصاص کاربری‌ها به عنوان یک نگرانی روبه رشد مورد توجه قرار گرفته است (Cao et al., 2011). بنابراین، توجه به کاهش از هم‌گسیختگی یکی از نیازهای اساسی فرایند آمایش سرزمین به شمار می‌رود (Cao et al., 2011). با توجه به اهمیت موضوع و برای مقایسه نتایج در رویکرد MOLA و GA از چهار معیار سیمای سرزمین به نام‌های تعداد لکه، اندازه موثر شبکه، توپری و پیوستگی استفاده شده است. در ادامه، به شکل مختصر این معیارها توضیح داده می شوند.

تعداد لکه‌ها: این معیار جزو ساده‌ترین محاسبات ساختار مکانی منطقه است. اگرچه این شاخص را می‌توان به نوعی بیان کننده مقدار و شدت لکه‌لکه شدگی مناطق مورد بررسی قرار داد اما اطلاعاتی درباره نحوه توزیع و ساختار شکلی لکه‌ها در اختیار قرار نمی‌دهد (McGarigal et al., 2002).

اندازه موثر شبکه: این شاخص احتمال این‌که دو نقطه تصادفی از منطقه به هم مرتبط باشند را نشان می‌دهد. عوارض خطی و عوارض با گسستگی زیاد می‌توانند احتمال ارتباط دو نقطه تصادفی را کاهش دهند. Jaeger (۲۰۰۲) با مقایسه این معیار با ۲۱ معیار دیگر، اندازه موثر شبکه را بهتر از سایر معیارها تشخیص داد. آسانی تفسیر، سادگی محاسبات و حساسیت کمتر به اندازه لکه از ویژگی‌های این معیار است.

توپری: این شاخص یکی از معیارهای مورد استفاده در بررسی موضوعات مکانی است و به نوعی بیان کننده فشردگی لکه‌های کاربری‌ها در منطقه می‌باشد (Cao et al., 2012). توپری مستلزم این است که تمام سلول‌های یک کاربری به هم متصل و مرتبط باشند. تعریفی که از پیوستگی در مقالات و مطالعات (Wu & Murray, 2007; Fotakis & Sidiropoulos, 2012; Haque & Asami, 2014) آمده نشان می‌دهد که هر لکه از سرزمین در صورتی پیوسته است که بخش‌ها (سلول‌های) مختلف لکه با هم در ارتباط باشند.

این شاخص مستقل از تعداد لکه‌هاست و تغییرات اندازه لکه‌ها در محاسبات آن دخالت داده می‌شود. به عنوان مثال، شکل ۱۰ نشان دهنده تغییرات شاخص پیوستگی در زمانی است که منطقه از لحاظ تعداد لکه‌ها دارای شرایط تقریبا مشابهی است.



شکل (۱۰): تغییرات شاخص توپری در منطقه فرضی (c نشان‌دهنده میزان شاخص پیوستگی است)

شاخص پیوستگی

این شاخص برای بررسی ارتباطات فیزیکی لکه‌های هر کاربری مورد استفاده قرار می‌گیرد. مساحت هر کاربری و ازهم‌گسیختگی کاربری‌ها در محاسبات این شاخص دخالت داده می‌شوند. با کاهش مساحت کاربری‌ها و ازهم‌گسیختگی آن، میزان این شاخص به صفر نزدیک می‌شود. جدول ۳ نتایج محاسبه معیارهای یاد شده سیمای سرزمین را برای خروجی دو مدل MOLA و GA نشان می‌دهد.

جدول (۳): مقایسه معیارهای سیمای سرزمین برای دو رویکرد MOLA و GA

شاخص / کاربری	تعداد لکه‌ها		میانگین توپری		اندازه موثر شبکه		شاخص پیوستگی	
	MOLA	GA	MOLA	GA	MOLA	GA	MOLA	GA
کشاورزی	۶۸۲	۴۶	۰/۰۸	۰/۷۱	۹۸۴۳	۱۱۰۸۱	۹۹/۰۱	۹۹
جنگل	۲۵۲	۳۱	۰/۱۰	۰/۸۴	۲۶۸۹۲	۲۱۲۱۱	۹۹/۳	۹۹/۳
شهر	۱۷۳	۶	۰/۱۳	۰/۱۵	۵/۶	۳۵	۸۶/۳۴	۹۶/۷
مرتع	۷۸۸	۸۳	۰/۱۲	۰/۴۴	۶۲۳	۲۴۰۰	۹۵/۹۲	۹۸/۲

همان‌گونه که نتایج جدول (۳) نشان می‌دهد، ساختار مکانی لکه‌های کاربری‌های مختلف در شهرستان گرگان در رویکرد الگوریتم ژنتیک مناسب‌تر از رویکرد MOLA است. دلیل این تفاوت هم در چندهدفه بودن ساختار الگوریتم ژنتیک است که امکان وارد کردن معیارهای سیمای سرزمین را در فرایند بهینه‌سازی فراهم می‌سازد. این نکته را می‌توان در کاهش ۸۵ تا ۹۵ درصدی تعداد لکه‌های کاربری‌ها مشاهده نمود. غیر از تعداد لکه‌ها که معیاری ساده برای بررسی ساختار مکانی سیمای سرزمین است، معیار اندازه موثر شبکه هم در رویکرد GA در کاربری‌های کشاورزی، مرتع و شهر بیشتر از رویکرد MOLA است که نشان می‌دهد چینش حاصل از رویکرد GA از هم‌گسیختگی کمتری در کاربری‌های منطقه ایجاد نموده است. نتایج شاخص پیوستگی هم تایید کننده این مطلب است که رویکرد GA مورد استفاده در این مطالعه سبب ایجاد ساختار مکانی بهتری برای کاربری‌های منطقه شده است.

بحث و نتیجه‌گیری

آمایش سرزمین فن و هنر چینش مکانی کاربری‌ها و فعالیت‌های مورد نیاز انسان برای هر منطقه است. استفاده از روش‌های متنوع برای دستیابی به بهترین چینش همواره در مطالعات متعدد مورد بررسی قرار گرفته است. در این مطالعه، از دو رویکرد پراستفاده در تخصیص کاربری شامل روش MOLA و الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. نتایج مطالعه ما نشان می‌دهد استفاده از روش MOLA در زمانی که تنها یک هدف برای چینش مورد توجه قرار گیرد، می‌تواند یک گزینه ایده‌آل باشد. نتیجه‌ای که Sante´-Riveira و همکاران در سال ۲۰۰۸ بدان دست یافته‌اند. با این حال، هنگامی که ساختار مکانی چینش به عنوان یک اولویت مطرح شود، رویکرد MOLA به تنهایی نمی‌تواند پاسخگو باشد. بنابراین، رویکردهای بهینه‌سازی چندهدفه را می‌توان به عنوان یک گزینه مورد استفاده قرار داد (Sante´-Riveira et al., 2008). در این روش‌ها اهداف مختلف را می‌توان همزمان در فرایند تخصیص مکانی کاربری‌ها مورد توجه قرار داد (سلمان‌ماهینی و همکاران، ۱۳۹۳). رویکردهای اکوسیستمی در فرایند آمایش سرزمین با وجود قدمت همواره به عنوان یک گزینه مطرح بوده است. دلیل اصلی دوام این رویکرد مبتنی بودن این روش بر ساختار اکوسیستم‌های خرد در تصمیم‌گیری است که در رویکردهای دیگر غایب است. بنابراین، برای تلفیق مزایای روش‌های مختلف، این مطالعه با استفاده از رویکرد طبقه‌بندی شی‌گرا، توجه به ساختار مکانی چینش کاربری‌ها و دخالت دادن توان طبیعی سرزمین برای پذیرش فعالیتی خاص و با استفاده از رویکرد الگوریتم ژنتیک نتیجه ای براساس توان طبیعی سرزمین با ساختار مکانی مناسب برای شهرستان گرگان ارایه داده است. این نکته را باید همواره در نظر داشت که اگرچه الگوی ارایه شده توسط رویکرد الگوریتم ژنتیک دارای مزایایی همچون ساختار مکانی بهتر و منطقی‌تر برای منطقه است (Porta et al., 2013)، اما رسیدن به این نتیجه همواره با هزینه‌هایی همراه است که کاهش تناسب بخشی از زمین برای فعالیتی خاص (کاربری جنگل، شهر و مرتع در جدول (۲) و افزایش زمان اجرای فرایند تخصیص کاربری بخشی از آثار آن است. این نکته نه تنها در این مطالعه بلکه در مطالعه‌ای مشابه که بر اساس رویکرد بهینه‌سازی تبرید تدریجی انجام گرفته است (سلمان ماهینی و همکاران، ۱۳۹۳) نیز مشخص است. در اجرای GA برای شهرستان گرگان با شرایط این مطالعه حدود ۵ ساعت زمان برای رسیدن به نتیجه لازم بوده است، در حالی‌که اجرای این روش با رویکرد MOLA تنها به چند دقیقه زمان نیاز دارد. این نکته در زمانی که فرایند تخصیص کاربری برای مناطقی با مساحت بزرگتر اجرا شود، بیشتر خود را نشان خواهد داد. اگرچه در مساله تخصیص

کاربری سرعت اجرا در درجه‌ی چندم اهمیت قرار دارد. یک پیشنهاد برای ترکیب مزایای روش‌های مختلف استفاده از خروجی رویکرد MOLA به عنوان جمعیت (یا فرد) ورودی در روش‌های مختلف بهینه‌سازی است. به عبارت دیگر، تاکنون بیشتر روش‌های بهینه‌سازی بر اساس تولید جمعیت تصادفی بوده‌اند که می‌توان با تغییر نگرش، علاوه بر کمک به الگوریتم‌های بهینه‌سازی تا حدود زیادی زمان پردازش برای رسیدن به یک راه حل نزدیک بهینه را کاهش داد.

یادداشت‌ها

1. Multi Objective Land Allocation: MOLA
2. Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm II
3. Genetic Algorithm: GA
4. Object Oriented Image Classification
5. Segmentation
6. Mutation
7. Crossover
8. Patch Cohesion Index
9. Ideal Point
10. Multi-Criteria Evaluation: MCE

فهرست منابع

سالنامه آماری استان گلستان. ۱۳۹۱. استانداری استان گلستان.

سلمان ماهینی، ۱۳۹۳. طرح آمایش استان گلستان، استانداری استان گلستان.

سلمان ماهینی، ع. و کامیاب، ح. ۱۳۹۱. سنجش از دور و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی با نرم‌افزار ایدریسی. انتشارات مهر مدیس.

سلمان ماهینی، ع.؛ اسداللهی، ز.؛ صبایی، م.؛ کامیاب، ح. و نصیراحمدی، ک. ۱۳۹۳. مقایسه روش های شبیه سازی تبرید تدریجی و اختصاص چندهدفه زمین در گزینش بهینه کاربری های اراضی، بوم‌شناسی کاربردی، ۹: ۱۳-۱.

شایگان، م.؛ علیمحمدی، ع. و منصوریان، ع. ۱۳۹۱. بهینه سازی چندهدفه تخصیص کاربری اراضی با استفاده از الگوریتمNSGA-II، فصلنامه سنجش از دور و GIS ایران، ۱۴: ۱-۱۳.

مخدوم، م. ۱۳۸۳. شالوده آمایش سرزمین، انتشارات دانشگاه تهران. ۲۸۹ ص.

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, pp. 1-21.

Cao, K.; Huang, B.; Wang, S. & Lin, H. 2012. Sustainable land use optimization using Boundary-based Fast Genetic Algorithm, Computers, Environment and Urban Systems, Vol. 36, pp. 257–269.

Devillers, R.; Luther, J. & Eddy, B. 2011. GIS-Based Multiple-Criteria Decision Analysis. Randal Greene Geography Compass, pp. 412–432.

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

Eastman, J. R. 2012. IDRISI Guide to GIS and Image Processing. Accessed in IDRISI Selva, Worcester, MA: Clark University, pp. 244-247.

Feng, C. & Lin, J. 1999. Using a genetic algorithm to generate alternative sketch maps for urban planning, Computers, Environment and Urban Systems, Vol. 23, pp. 91–108.

Fotakis, D. & Sidiropoulos, E. 2012. A new multi-objective self-organizing optimization algorithm (MOSOA) for spatial optimization problems, Applied Mathematics and Computation, Vol. 218 (9), pp. 5168-5180.

Haque, A. & Asami, Y. 2014. Optimizing urban land use allocation for planners and real estate developers, Computers, Environment and Urban Systems, Vol. 46, pp. 57-69.

Holland, J. H. 1975. Adaptation in natural and artificial systems: an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence, U Michigan Press.

Holzka mper, A.; Lausch, A. & Seppelt, R. 2006. Optimizing landscape configuration to enhance habitat suitability for species with contrasting habitat requirements, Ecological Modelling, Vol. 198, pp. 277-292.

Jaeger, J. 2002. Landscape fragmentation: A transdisciplinary study according to the concept of environmental threat, Germany: Verlag Eugen Ulmer.

Liu, Y.; Tang, W.; He, J.; Liu, Y.; Ai, T. & Liu, D. 2015. A land-use spatial optimization model based on genetic optimization and game theory, Computers, Environment and Urban Systems, Vol. 49, pp. 1-14.

Liu, X.; Ou, J.; Li, X. & Ai, B. 2013. Combining system dynamics and hybrid particle swarm optimization for land use allocation, Ecological Modelling, Vol. 257, pp. 11-24.

Matthews, K. B.; Buchan, K.; Sibbald, A. R. & Craw, S. 2006. combining deliberative and computer-based methods for multi-objective land-use planning", Agricultural Systems, Vol. 87, pp. 18–37.

McGarigal, K.; Cushman, S.; Neel, M. & Ene, E. 2002. FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. University of Massachusetts, Amherst. Available from: <www.umass.edu/ landeco/research/fragstats/fragstats.html>

Michalewicz, Z. 1996. Genetic algorithms+data structures=evolution programs. Berlin: Springer.

Mitchell, M.; Crutchfield, J. & Hraber, P. 1994. Evolving cellular automata to perform computations: Mechanisms and impediments", Physica, Vol. 75, pp. 361–391.

Porta, J.; Parapar, J.; Doallo, R.; Rivera, F.; Santé, I. & Crecente, R. 2013. High performance genetic algorithm for land use planning, Computers, Environment and Urban Systems, Vol. 37, pp. 45-58.

Sante´-Riveira, I.; Boullo´n-Maga´n, M.; Crecente-Maseda, R. & Miranda Barro´s, D. 2008. Algorithm based on simulated annealing for land-use allocation, Computers & Geosciences, Vol. 34, pp. 259–268.

Stewart, T. & Janssen, R.2014. A multi objective GIS-based land use planning algorithm, Computers, Environment and Urban Systems, Vol. 46, pp. 25-34.

Stewart, T.; Janssen, R. & Herwijnen, M. 2004. A genetic algorithm approach to multi objective land use planning, Computers & Operations Research, Vol. 31 (14), pp. 2293-2313.

Wu, X. & Murray, A. 2007. Spatial contiguity optimization in land acquisition, Journal of Land Use Science, Vol. 2 (4), pp. 243–256.