آمایش سرزمین
دورهٔ هفتم، شمارهٔ اول، بهار و تابستان ۱۳۹۴
صفحات ۴۸ – ۲۹
Print ISSN: 2008-7047
Onlin ISSN: 2423-6268
http://jtcp.ut.ac.ir

ارتقای روش MOLA با توجه به معیارهای سیمای سرزمین و بهره‌گیری از الگوریتم ژنتیک

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

۱. دانشجوی دکتری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران
۲. دانشیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران
۳. استادیار، دانشکدهٔ فنی و مهندسی، دانشگاه گلستان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۶/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۱/۲۵)

چکیده

در فرایند اختصاص مکانی کاربری‌ها به یک پهنه، به‌طور معمول میان کاربری‌ها رقابت وجود دارد. برای حل این رقابت، دو رویکرد تخصیص زمین به چند کاربری (MOLA) و الگوریتم ژنتیک (GA) برای شهرستان گرگان به‌کار گرفته شدند. رویکرد MOLA بر اساس تناسب و روش نزدیکی به نقطهٔ مطلوب عمل می‌کند و برای GA، با به‌کارگیری لایهٔ تناسب و شاخص پیوستگی (Cohesion Index) کاربری تخصیص می‌شود. جهت بهبود رویکرد MOLA، لایهٔ نهایی به عنوان جمعیت اولیه در GA استفاده شد. همچنین، با تعریف شاخص پیوستگی به عنوان معیار سیمای سرزمین، تلاش شد لکه‌های ایجادشده شکل منسجم‌تری داشته باشند، که این ویژگی در رویکرد MOLA غایب است. نتایج نشان داد به‌کارگیری GA بر اساس خروجی رویکرد MOLA در بهبود قابلیت این رویکرد از نظر معیارهای سیمای سرزمین تأثیری بسزا دارد. اگرچه واردکردن معیارهای سیمای سرزمین باعث ازدست‌رفتن بخشی از تناسب برای کاربری‌ها می‌شود، با متوازن‌کردن تناسب و شاخص سیمای سرزمین در GA می‌توان حد متعادلی از آن‌ها را لحاظ کرد. لایهٔ ایجادشده توسط GA از لحاظ معیارهای سیمای سرزمین و تناسب، قابلیت به‌کارگیری ترکیبی از رویکردهای مختلف را در آمایش برای رسیدن به راه‌حل بهینه نشان داد.

کلیدواژگان

الگوریتم ژنتیک، تخصیص سرزمین به چندکاربری، تعارض مکانی، شاخص پیوستگی.

---

* نویسندهٔ مسئول، رایانامه: a_mahini@yahoo.com

بیان مسئله

مدیریت کاربری زمین مستلزم ارزیابی صحیح توان بالقوهٔ اراضی در زمینهٔ خدمات مورد نیاز جامعه است (Huston, 2006, p.23). فعالیت‌های مختلفی در چارچوب کاربری زمین مانند توسعه (صنعتی و شهری)، تولید (کشاورزی، مرتع و نظیر آن‌ها)، تفرج، گردشگری و حفاظت تعریف‌شدنی است. به‌طور کلی، فرایند اختصاص کاربری شامل فعالیت‌های گوناگونی است که گاهی این فعالیت‌ها در رقابت با هم هستند. ساختارهای مکانی، الگوی قرارگیری کاربری‌ها را مد نظر قرار می‌دهند و در آن چند کاربری برای یک پهنه رقابت می‌کنند.

راهکارهای متعددی برای حل رقابت بین کاربری‌ها در اختصاص مکانی مطرح شده است. این روش‌ها را می‌توان به دو دستهٔ کلی تقسیم کرد. اول روش‌هایی که تلاش می‌کنند تنها یک ویژگی را بهینه کنند. به عبارت دیگر، در این روش‌ها فقط تناسب زمین برای اختصاص کاربری‌ها در نظر گرفته می‌شود. تخصیص سرزمین به چند کاربری[1] در نرم‌افزار ایدریسی، از این روش‌ها محسوب می‌شود. تخصیص سرزمین به چند کاربری، مسئلهٔ تصمیم‌گیری اختصاص کاربری است که مطلوبیت هر واحد سرزمین برای گزینه‌های مختلف کاربری اراضی را ارزیابی می‌کند. هدف از این روش دستیابی به تخصیص بهینهٔ کاربری‌ها و حداکثرسازی میزان تناسب بین آن‌ها است. این رویکرد که روش نزدیکی به نقطهٔ مطلوب را به‌کار می‌گیرد، به‌طور منحصربه‌فرد رقابت بین تناسب کاربری‌های مختلف هر منطقه را حل می‌کند. توجه اصلی در این رویکرد تناسب زمین برای اختصاص کاربری است، لذا توجه زیادی به شکل و ساختار لکه‌ها ندارد. دستهٔ دوم شامل روش‌هایی است که همزمان چند ویژگی را در بهینه‌سازی مد نظر قرار می‌دهند. در این روش‌ها، علاوه بر تناسب (به عنوان هدف اصلی)، برخی معیارهای دیگر را نیز می‌توان دخالت داد. در مطالعات زیادی، معیارهای سیمای سرزمین در کنار تناسب برای اختصاص کاربری‌ها به‌کار گرفته شده است (Matthews et al., 2006; Goldberg, 1989; Michalewicz, 1996; Feng & Lin, 1999).

1. Multi Objective Land Allocation (MOLA)

منظور از معیارهای سیمای سرزمین، روش‌هایی است که برای کمّی‌کردن ویژگی‌های مکانی سرزمین به‌کار گرفته می‌شود (McGarigal et al., 2002, Help Online). روش‌های بهینه‌سازی چندهدفه از روش‌های مؤثر و پرکاربرد در حل مسائلی است که سعی در یافتن راه‌حل منطقی برای برآورد اهداف مختلف دارند (Bettinger et al., 2002, p.563). بهینه‌سازی چندهدفهٔ کاربری زمین روشی برای اختصاص کاربری است به‌طوری که فعالیت‌ها و کاربری‌های مختلف به واحدهای مدیریتی در سرزمین تعلق می‌گیرند (Aerts & Heuvelin, 2002, p.572). بهینه‌سازی چندهدفه کاربری زمین بر اساس این واقعیت شکل می‌گیرد که تصمیم‌گیری دربارهٔ موقعیت کاربری‌ها نه‌تنها بر اساس قابلیت زمین (هدف اصلی)، بلکه بر اساس اهداف دیگری نیز است که در اختصاص موقعیت برای هر کاربری کمک‌کننده خواهد بود. این موضوع را می‌توان در مطالعات پورتا و همکاران (۲۰۱۳) مشاهده کرد که با الگوریتم ژنتیک[1]، استفادهٔ همزمان از تناسب و ساختار شکلی لکه‌ها را برای تخصیص کاربری بهبود بخشیدند. مطالعه‌ای مشابه را لیو و همکاران (۲۰۱۳) بر همین اساس و با روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات[2]، و کائو و همکاران (۲۰۱۲) با روش الگوریتم ژنتیک برای بهبود روند اختصاص کاربری انجام دادند.

در بهینه‌سازی از یافتن بهترین جواب برای یک مسئله صحبت می‌شود، به‌طوری که بتواند اهداف مختلفی را که گاهی متعارض با هم هستند، محقق کند. از آنجا که رسیدن به راه‌حل بهینه همیشه ممکن نیست، یا رسیدن به آن نیاز به صرف زمان بسیار زیاد دارد، به رسیدن به جواب نزدیک به حالت بهینه بیشتر توجه شده است. روش‌هایی که برای رسیدن به جواب نزدیک به حالت بهینه (با توجه به اهداف مختلف) به‌کار گرفته می‌شود با عنوان الگوریتم‌های اکتشافی[3] شناخته می‌شوند که از جملهٔ آن‌ها می‌توان الگوریتم ژنتیک، کلونی مورچگان، تبرید تدریجی و نظیر آن‌ها را نام برد. در ایران هم روش‌های بهینه‌سازی و الگوریتم ژنتیک برای اختصاص منابع

1. Genetic Algorithm (GA)
2. Particle Swarm Optimization
3. Heuristic

به‌کار گرفته شده است (شایگان و همکاران، ۱۳۹۱، ص ۱۸-۱). در این مطالعه الگوریتم ژنتیک برای اجرای فرایند بهینه‌سازی به‌کار گرفته شده است که نسبت به مطالعات مشابه دو ویژگی متمایز دارد. اول آنکه تعریف جمعیت اولیه برای بهینه‌سازی بر اساس رویکرد تصادفی نیست و روش آمایشی MOLA برای این کار اجرا شده است. دوم آنکه مبنای تحلیل به جای سلول به لکه تغییر یافته است که در سرعت‌بخشیدن به اجرای فرایند بهینه‌سازی نقشی مؤثر دارد. بنابراین، ساختار کلی این پژوهش بر مبنای مراحل زیر است:

- تخصیص سرزمین به چندکاربری بر اساس نقشه‌های مطلوبیت هر کاربری با روش MOLA؛
- به‌کارگیری نتایج روش MOLA به عنوان جمعیت اولیه در الگوریتم ژنتیک برای بهبود ساختار مکانی لکه‌های هر کاربری؛
- مقایسهٔ قابلیت دو مدل بر اساس معیارهای کمّی سیمای سرزمین و تناسب هر کاربری.

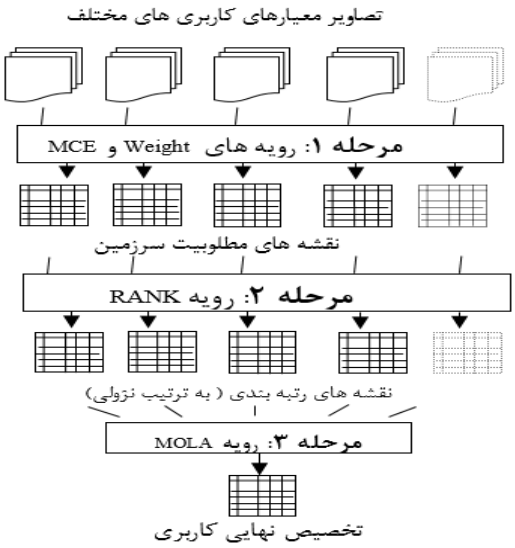
روش پژوهش

چارچوب نظری رویکردهای به‌کارگرفته‌شده

تخصیص سرزمین به چندکاربری

درحالی‌که برخی فرایندهای تصمیم‌گیری بر مبنای یک کاربری‌اند، اما در موارد بسیاری نیاز به تصمیم‌گیری دربارهٔ تعداد زیادی از کاربری‌های مختلف است. این موضوع‌ها ممکن است مکمل، یا با هم در تعارض باشند (Carver, 1991, p.323). در تصمیم‌گیری چندکاربری که ساختار مکمل را به‌کار می‌گیرد، می‌توان برای یک منطقه بیش از یک هدف را طراحی و اجرا کرد (مانند برنامه‌ریزی احیا و حفاظت حیات وحش). با این حال، موضوع‌های متعارض برای هر منطقه با هم در رقابتند، لذا تنها یکی از آن‌ها را می‌توان برای منطقه اختصاص داد. روش MOLA، رویه‌ای پشتیبان تصمیم‌گیری با هدف ایجاد راه حل بهینه در تخصیص مکانی به کاربری‌های چندگانه و اغلب ناسازگار است. رویهٔ به‌کارگرفته‌شده در MOLA در شکل ۱ نشان داده است. نقشهٔ مطلوبیت

برای هر گزینهٔ کاربری، از ترکیب معیارها و وزن‌های نسبی آن‌ها در فرایند ارزیابی چندمعیاره[1] تهیه می‌شود. وزن نسبی هر معیار با مقایسهٔ زوجی و بر پایهٔ فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی[2]، یا روش‌های دیگر تخمین زده می‌شود. این رویه با توجه به ارزش سلول‌ها در نقشهٔ مطلوبیت، ترتیب رتبه‌ها را مشخص می‌کند. سرانجام، رویهٔ MOLA عملیاتی تکرارشونده را برای ترکیب نقشه‌های رتبه‌بندی‌شده بر اساس وزن هر یک از آن‌ها انجام می‌دهد که نتیجهٔ آن نیز تولید نقشهٔ نهایی تخصیص کاربری اراضی است که در آن شرط مساحت‌های از پیش تعیین‌شده برای هر گزینهٔ کاربری اعمال شده است.

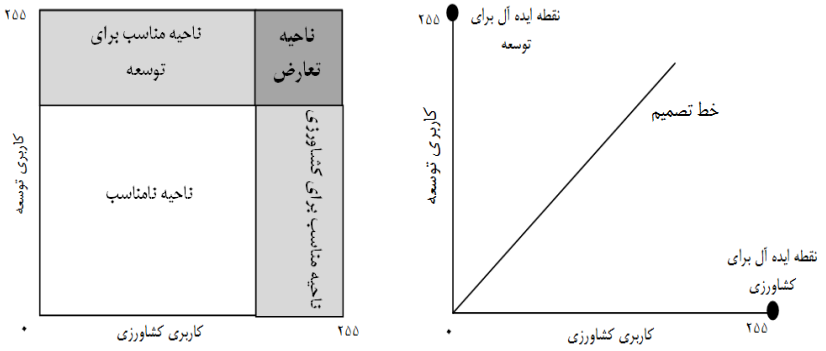


شکل ۱. مراحل اجرای MOLA

بر اساس شکل ۱، در مرحلهٔ اول معیارهای مؤثر بر توان هر کاربری مشخص می‌شود و با به‌کارگیری رویه‌های WEIGHT و MCE، نقشهٔ تناسب برای هر کاربری ایجاد می‌شود. در مرحلهٔ

1. Multi Criteria Evaluation (MCE)
2. Analytic Hierarchy Process (AHP)

دوم، تصاویر تناسب ایجادشده در مرحلهٔ اول رتبه‌بندی می‌شوند و سلول‌ها برای هر تصویر بر اساس میزان تناسب برای آن کاربری به‌طور نزولی مرتب می‌شوند. در مرحلهٔ آخر که مرحلهٔ اصلی MOLA است بر اساس تصاویر مرحلهٔ قبل، فرایند اختصاص کاربری‌ها انجام می‌گیرد و برای مناطق متعارض که در آن‌ها چندکاربری توان مناسب یا بالا داشته باشند، بر اساس روش نزدیکی به نقطهٔ مطلوب کاربری نهایی استخراج خواهد شد. شکل ۲ شمایی کلی از فرایند و نحوهٔ حل تعارض در MOLA را نشان می‌دهد. در حقیقت، پس از مشخص‌کردن مساحت مورد نیاز برای هر کاربری، در یک مرحله و بر اساس لایهٔ مطلوبیت، تخصیص کاربری انجام می‌گیرد و در ادامه، با توجه به اینکه امکان دارد مناطق تخصیص‌یافته برای کاربری‌های مختلف با هم تعارض داشته باشند، بر اساس روش نزدیکی به نقطهٔ مطلوب آن کاربری برای منطقه انتخاب می‌شود که مطلوبیت بالاتری دارد. این فرایند آنقدر تکرار می‌شود تا مساحت مورد نظر برای هر کاربری به دست آید.



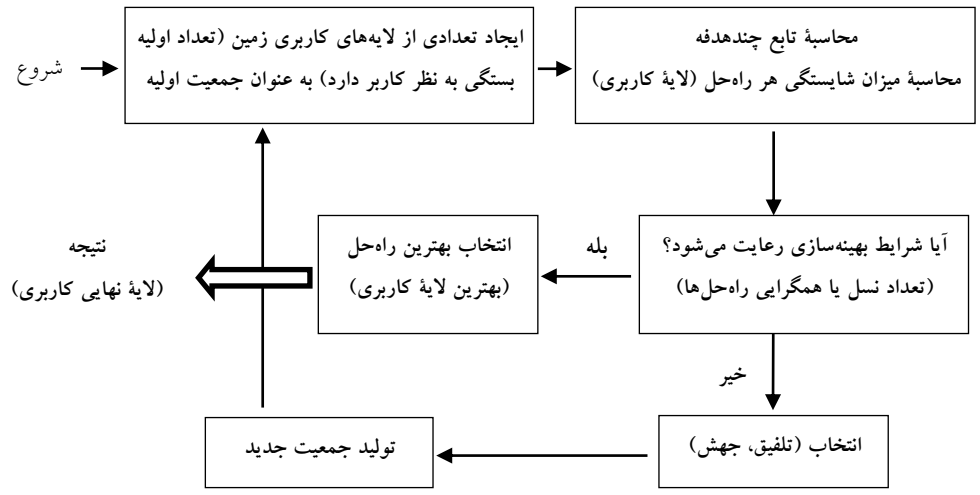
شکل ۲. حل تعارض در MOLA

بهینه‌سازی چندهدفه با الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک که نخستین‌بار توسط هولند در سال ۱۹۷۵ معرفی شد، یکی از روش‌های پرکاربرد در زمینهٔ جست‌وجوی راه‌حل بهینه از بین تعدادی بی‌شمار راه‌حل است (Matthews et al., 2006, pp.18-37; Goldberg, 1989, pp.1-412; Michalewicz, 1996, pp.1-387; Feng & Lin, 1999,

pp.91–108). الگوریتم ژنتیک بر مبنای محاسبات تکاملی استوار است (Mitchell et al., 1994, p.364). در تکامل زیست‌شناختی، الگوریتم ژنتیک روشی مؤثر برای تبدیل جمعیتی از کروموزوم‌ها به جمعیت جدید است که این انتقال توسط فرایند انتخاب طبیعی و با اثرگذاری عواملی مانند جهش[1] و تلفیق[2] صورت می‌پذیرد. مزیت اصلی این الگوریتم در جست‌وجوی موازی و فرایند انتخاب تصادفی جمعیت‌ها بدون دخالت اولیه در آن است.

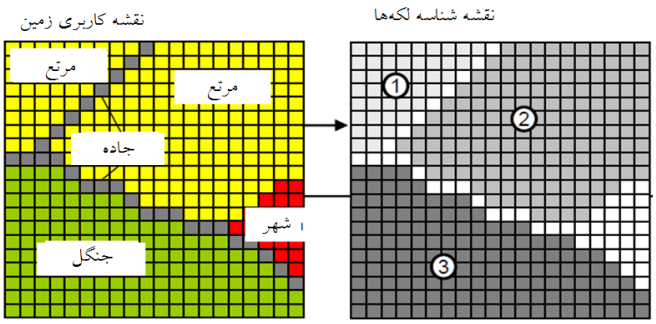
در این روش هر لایهٔ کاربری زمین به عنوان یک فرد (کروموزوم) از جمعیت معرفی می‌شود. هر سلول این لایه‌ها را می‌توان یک ژن دانست. دو فرایند تلفیق و جهش برای دورشدن راه‌حل‌ها از حالت محلی به راه‌حل کلی به‌کار گرفته می‌شود. فرایند تکامل نیز بر اساس میزان امتیاز کسب‌شده توسط هر لایهٔ کاربری زمین در هر مرحله پیش می‌رود. به‌طور کلی، مراحل انجام‌دادن کار با به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک به شرح شکل ۳ است.



شکل ۳. نمودار جریانی مراحل کار با به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک

1. Mutation
2. Crossover

برای اجرای الگوریتم ژنتیک کد طراحی‌شده که در محیط Cygwin اجراشدنی است، به‌کار گرفته شده است (Holzka¨mper et al., 2006, p.280). این کد برای موضوع‌های مرتبط با ارزیابی زیستگاه ایجاد شده است که با اندکی تغییر توسط نویسندگان، برای آمایش سرزمین کالیبره شد. از جمله ویژگی‌های این کد این است که بر اساس توپولوژی لکهٔ[1] طراحی شده است. در این رویکرد به‌جای به‌کارگیری ساختار شبکه‌ای سلولی برای هر منطقه، ساختار لکه‌ای به‌کار گرفته می‌شود که در کاهش زمان محاسبات سهمی بسزا دارد. در این روش هر لکه شامل همهٔ سلول‌های همسایه با کاربری مشابه است. شکل ٤ روش به‌کارگرفته‌شده جهت استخراج لکه‌ها را نشان می‌دهد.

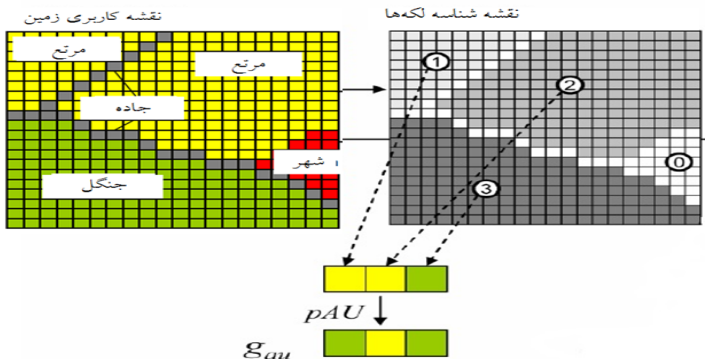


شکل ٤. ساختار توپولوژی لکه‌ها (لکهٔ شهری این نقشه، در تحلیل وارد نشده است)

مطالعات نشان داده است تعریفی درست و مناسب از جمعیت اولیه در الگوریتم ژنتیک تأثیری بسزا در کیفیت خروجی و نیز زمان انجام‌دادن محاسبات دارد (Kai et al., 2011, p.7). در این مطالعه برای ارتقای روش MOLA در آمایش لایهٔ ایجادشده توسط آن برای تعریف جمعیت اولیه در روش الگوریتم ژنتیک به‌کار گرفته می‌شود. جمعیت اولیه یعنی لایه‌ای که به عنوان پایه برای تحلیل در الگوریتم ژنتیک به‌کار گرفته می‌شود و لکه‌ها نیز بر اساس آن ایجاد می‌شوند. هر فرد جمعیت مجموعه‌ای از ژن‌ها را دارد. در این رویکرد به‌جای اختصاص هر سلول شبکه به عنوان

1. Patch

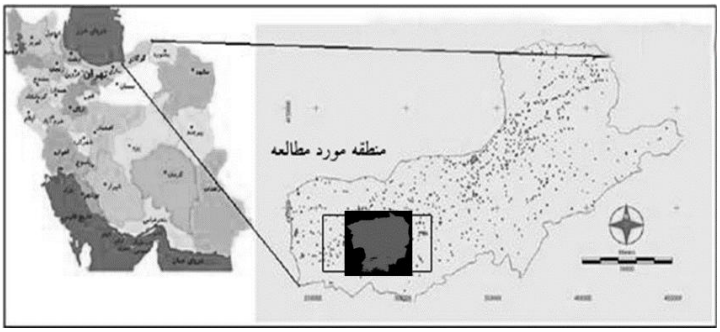
یک ژن، لکه‌ها به‌کار گرفته می‌شود. شکل ۵ ساختار تبدیل لکه‌های کاربری به ژن‌های هر فرد در جمعیت را نشان می‌دهد.



شکل ۵. روش استخراج ژن افراد جمعیت (لکهٔ شهری این نقشه، در تحلیل وارد نشده است)

شناخت محدودهٔ مطالعاتی

شهرستان گرگان واقع در استان گلستان در محدودهٔ جغرافیایی ´۲۰ °۵۴ تا ۷۵ °۵۴ طول شرقی و ´۵۰ °۳۶ تا °۳۷ عرض شمالی قرار گرفته است. این شهرستان با مساحت ۱۶۱۷ کیلومترمربع و جمعیت حدود ۴۶۲۴۵۵ نفر پرجمعیت‌ترین شهرستان این استان است. 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 به‌کار گرفته شده است. شکل ۶ موقعیت منطقه را در استان گلستان و ایران نشان می‌دهد.



شکل ۶. موقعیت منطقهٔ مورد مطالعه

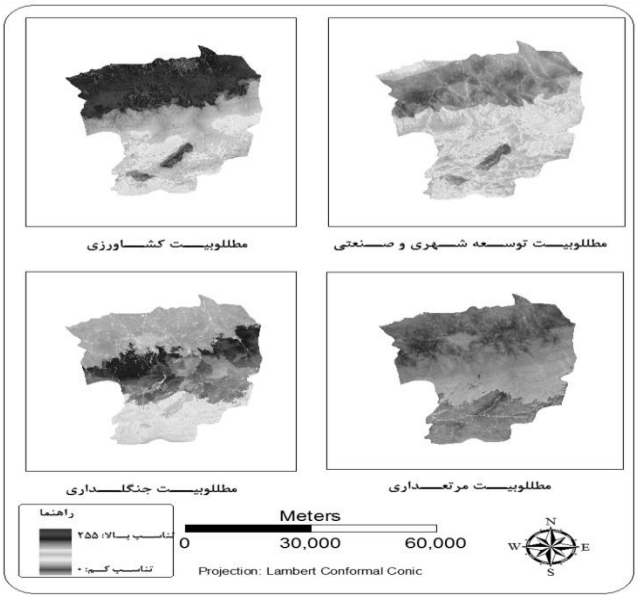
روش تحقیق

تهیهٔ لایهٔ مطلوبیت برای کاربری‌ها با به‌کارگیری رویهٔ MCE

لایهٔ مطلوبیت کاربری‌ها، میزان تناسب هر منطقه را برای هر کاربری نشان می‌دهد. این لایه‌ها با به‌کارگیری رویهٔ MCE تهیه شدند. در این رویه برای هر کاربری عوامل و محدودیت‌های مؤثر شناسایی شده، و عوامل پس از وزن‌دهی با به‌کارگیری روشی مانند ترکیب خطی وزن‌دار ترکیب می‌شوند تا لایهٔ مطلوبیت نهایی برای هر کاربری ایجاد شود. معادلهٔ ۱ روش محاسبهٔ مطلوبیت به روش MCE (ماهینی و کامیاب، ۱۳۹۰، ص۲۷۱) و شکل ۷ لایهٔ نهایی مطلوبیت را نشان می‌دهند (منبع لایه‌ها: ماهینی، ۱۳۹۲، ص۲۲۰-۱۱۲)

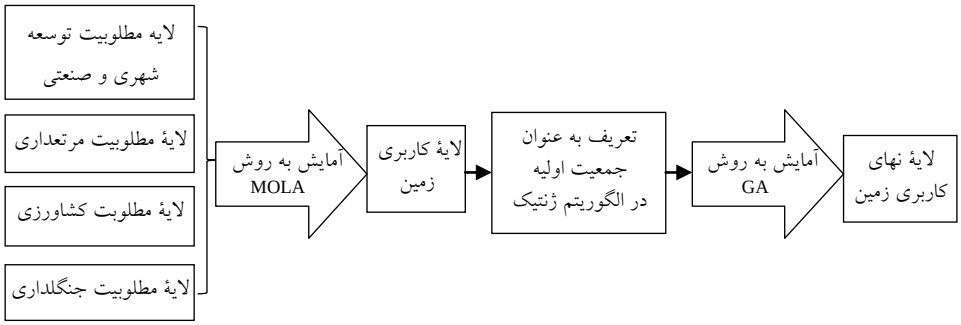
$$S = \sum_{i=1}^{n}(W_i X_i) * C_i \qquad (۱)$$

در این معادله، S تناسب برای وزن مورد نظر، W وزن هر یک از لایه‌ها، Xi لایهٔ فازی یا همان عامل و Ci لایهٔ بولین یا همان محدودیت‌اند.



شکل ۷. لایهٔ مطلوبیت کاربری‌های کلان منطقه

لایه‌های مطلوبیت در دو بخش این مطالعه به‌کار گرفته شدند (شکل ۸). مرحلهٔ اول در آمایش به روش MOLA که برای اختصاص کاربری‌ها به‌کار گرفته شد و در مرحلهٔ دوم در رویکرد الگوریتم ژنتیک برای بررسی امتیاز نقشه‌های کاربری زمین در هر نسل به‌کار گرفته شد.



شکل ۸. نمودار گردش کار

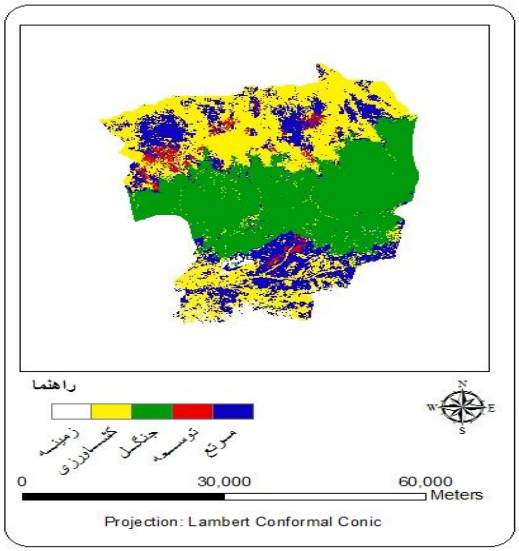
یافته‌های پژوهش

آمایش با رویکرد MOLA

در این روش، با توجه به شرایط منطقه، مساحت لازم برای اختصاص هر کاربری همراه لایهٔ تناسب آن تعریف می‌شود تا بهترین پاسخ از لحاظ تناسب برای منطقه ایجاد شود. جدول ۱ مساحت مورد استفاده برای هر کاربری، و شکل ۹ لایهٔ کاربری ایجادشده توسط روش MOLA را نشان می‌دهد. مساحت‌ها در این مطالعه بر اساس نقشهٔ کاربری فعلی زمین منطقه، و همچنین بررسی میزان تناسب در لایه‌های مطلوبیت کاربری‌ها استخراج شد. در دو روش MOLA و GA برای هر کاربری باید وزنی اختصاص داده شود. در این مطالعه برای همهٔ کاربری‌ها وزن یکسان در نظر گرفته شده است.

جدول۱. مساحت اختصاص‌یافته برای هر کاربری

کاربری	مساحت (هکتار)
کشاورزی	٥٤٠٠٠
مرتع	٣٣٠٠٠
جنگل	٦٤٠٠٠
توسعه	٣٧٠٠



شکل ۹. لایهٔ کاربری ایجادشده با به‌کارگیری روش MOLA

بهینه‌سازی لایهٔ کاربری زمین بر اساس تناسب و سیمای سرزمین با به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک

لایهٔ خروجی رویکرد MOLA به عنوان لایهٔ ورودی در الگوریتم ژنتیک به‌کار گرفته شد. به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک جهت بهینه‌سازی به تنظیم پارامترهایی نیاز دارد که این پارامترها در فایل همراه کد، قابل دسترسی و تغییر است.

در طی مراحل کار، نخست تعداد محدودی لایهٔ کاربری زمین (بر اساس لایهٔ کاربری ایجادشده توسط روش MOLA) به عنوان لایه‌ها یا جمعیت اولیه ایجاد می‌شود. تعداد افراد جمعیت اولیه در این مطالعه ۲۰ فرد بوده است. میزان شایستگی هر لایه بر اساس تابعی که طراحی می‌شود، محاسبه می‌شود و از بین تعداد اولیه، لایه‌های با بالاترین امتیاز برای نسل (تکرار) بعد باقی مانده و بقیهٔ لایه‌ها حذف می‌شوند. این فرایند آنقدر تکرار می‌شود تا همگرایی لایه‌ها زیاد شود، یا به تعداد تکرار تعریف‌شده توسط کاربر برسد. دو فرایند جهش و تلفیق نیز برای دورکردن لایه‌های کاربری از درافتادن در شرایط بهینهٔ محلی به‌کار گرفته می‌شوند.

تابعی که در این مطالعه برای بررسی به‌کار گرفته شده است بر مبنای تناسب و یک معیار سیمای سرزمین است. در این تابع برای تناسب و ساختار سیمای سرزمین وزن مساوی اختصاص داده شده است. شاخص پیوستگی لکه‌ها[1] به عنوان معیار سیمای سرزمین در ترکیب با تناسب به‌کار گرفته شد (McGarigal et al., 2002, Help Online). این شاخص، پیوستگی فیزیکی لکه‌های مربوط به یک کاربری را نشان می‌دهد (معادلهٔ ۲). با افزایش پیوستگی لکه‌ها مقدار این شاخص نیز افزایش خواهد یافت.

$$COHESION = \left[1 - \frac{\sum_{j=1}^{n} p_{ij}}{\sum_{j=1}^{n} p_{ij}\sqrt{a_{ij}}}\right].\left[1 - \frac{1}{\sqrt{z}}\right]^{-1}.100 \qquad (۲)$$

در این معادله، p_{ij} محیط هر لکه، a_{ij} مساحت هر لکه و z تعداد سلول‌های منطقه است.

در اجرای الگوریتم ژنتیک، تابع هدف برای هر کاربری (بر اساس شاخص کوهژن و تناسب) به شرح معادلهٔ ۳ تعیین شد:

$$\text{Landuse} = (0.5 * \text{ suitability}) + (0.5 * \text{Cohesion index}) \qquad (۳)$$

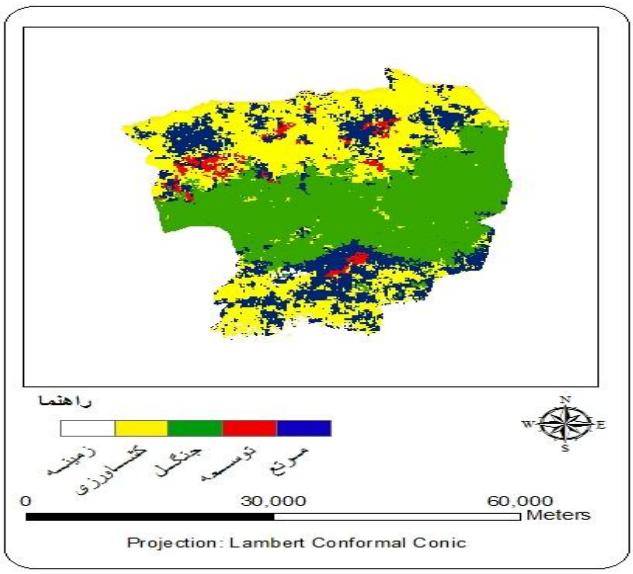
و تابع نهایی نیز میانگین وزنی چهار کاربری به‌کارگرفته‌شده در این مطالعه است.

الگوریتم ژنتیک برای رسیدن به حداکثر مقدار تابع به تعداد نسل‌های مختلف (در این مطالعه، ۱۰۰۰۰ نسل در نظر گرفته شد) اجرا می‌شود تا یکی از شرایط توقف فراهم شود. همچنین، جهت حفظ شرط مساحت می‌توان مساحت مورد نیاز برای هر کاربری (جدول ۱) را نیز در این فرایند وارد کرد.

اجرای الگوریتم ژنتیک با به‌کارگیری لایهٔ کاربری زمین حاصل از روش MOLA باعث ایجاد لایهٔ کاربری زمین جدیدی شد (شکل ۱۰) که در آن علاوه بر تناسب زمین، به ساختار سیمای سرزمین هم توجه شده است. به دلیل آنکه لایهٔ MOLA به عنوان چارچوبی برای ایجاد جمعیت

1. Patch Cohesion Index

اولیه به‌کار گرفته شد، برای متفاوت‌بودن افراد جمعیت اولیه مقداری جهش بـر روی لایـهٔ MOLA اعمال می‌شود تا به تعداد افراد جمعیت اولیه، لایهٔ کاربری جهش‌یافته (به میزان اندک) ایجاد شود.



شکل ۱۰. لایهٔ کاربری ایجادشده با به‌کارگیری روش الگوریتم ژنتیک

برای بررسی تفاوت دو روش، و قابلیت و کارایی آن‌ها می‌توان روش‌های مختلفی را اجرا کرد. مقایسهٔ چشمی و مقایسه بر اساس رویکرد سیمای سرزمین دو نوع مختلـف تحلیـل‌انـد کـه بـرای مقایسهٔ دو روش در اینجا بیان می‌شوند.

همان‌طور که از شکل ۱۰ نیز مشـخص اسـت، لایـهٔ ایجادشـده توسـط ایـن روش در مقایسـهٔ چشمی با لایهٔ حاصل از روش MOLA (شکل ۹)، سـاختار شـکلی منسـجم‌تـری دارد. دلیـل ایـن انسجام به‌کارگیری معیارهای سیمای سرزمین در تعریف مسئلهٔ الگوریتم ژنتیک است.

برای بررسی آماری خروجی حاصل از دو روش نیز معیارهای سیمای سرزمین به‌کار گرفته شد (جدول ۲). معیارهای سیمای سرزمین با نرم‌افزار تحلیل سیمای سـرزمین FRAGSTATS بررسـی شدند (McGarigal et al., 2002, Help Online).

جدول۲. معیارهای سیمای سرزمین به‌کارگرفته‌شده در مطالعه

معیار	توصیف	واحد
تعداد لکه‌ها (NP)	«تعداد لکه‌ها» در سیمای سرزمین.	بزرگ‌تر یا مساوی ۱
درصد سیمای سرزمین (PLAND)	فراوانی نسبی هر نوع کاربری در کل منطقه	درصد
میانگین مساحت (Area_Mean)	میانگین «مساحت تقسیم بر ۱۰۰۰۰» لکه‌ها	هکتار
شاخص شکل سیمای سرزمین (LSI)	شاخص شکل کاربری‌ها، عدد یک نشان‌دهندهٔ محیط سادهٔ و شکل فشردهٔ لکه است.	بزرگ‌تر یا مساوی ۱
شاخص پیوستگی (Cohesion)	پیوستگی فیزیکی لکه‌های کاربری مشابه	۰ تا ۱۰۰
میانگین چین‌خوردگی لکه‌ها (Frac_Mean)	میانگین چین‌خوردگی لکه‌ها. عدد یک شکل‌های با محیط سادهٔ لکه و عدد دو شکل‌های با محیط پیچیده است.	بین ۱ تا ۲

منبع: McGarigal et al., 2002, Help Online

معیارهای جدول برای خروجی هر یک از روش‌ها به‌طور مستقل تحلیل شد. جدول‌های ۳ و ٤ مقایسهٔ معیارهای سیمای سرزمین حاصل از دو رویکرد به‌کارگرفته‌شده در این مطالعه را برای هر کاربری نشان می‌دهند.

همان‌طور که نتایج تحلیل کمّی معیارهای سیمای سرزمین نشان می‌دهد، به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک باعث کاهش تعداد لکه‌های حاصل از هر کاربری در مقایسه با رویکرد MOLA شده است. از طرف دیگر، کاهش تعداد لکه‌های کاربری‌ها باعث بزرگ‌ترشدن لکه‌ها می‌شود که میانگین مساحت لکه‌های هر کاربری تأییدکنندهٔ این مطلب است. شاخص پیوستگی لکه‌ها معیاری بود که در الگوریتم ژنتیک به‌طور صریح و برای برقراری تناسب بین آن و تناسب زمین به‌کار گرفته شد. این شاخص در همهٔ کاربری‌ها، به‌جز کاربری مرتع افزایش یافته است. افزایش‌نیافتن این شاخص در کاربری مرتع نیز به این دلیل بوده است که الگوریتم برای افزایش مقدار این شاخص، مطلوبیت مرتعی متناسب با آن را استخراج نکرده است. شاخص شکل لکه‌ها نیز نشان می‌دهد که الگوریتم ژنتیک و واردکردن معیار پیوستگی در فشرده‌ترکردن کاربری‌ها موفق بوده و توانسته است اشکالی ساده‌تر و فشرده‌تر را ایجاد کند.

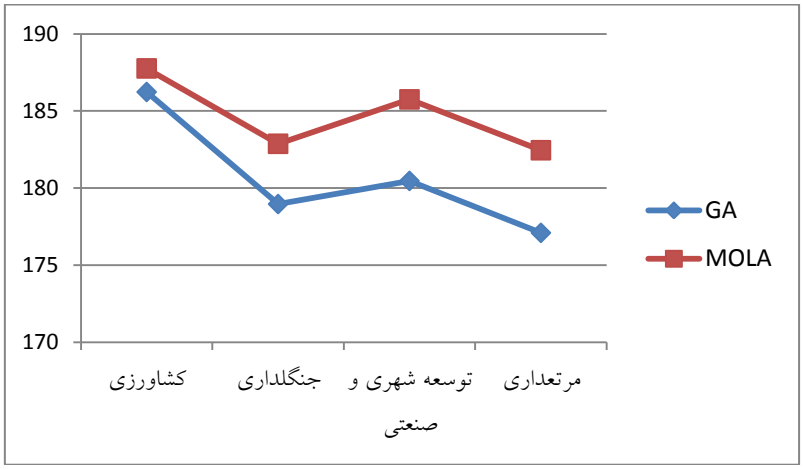
جدول ۳. معیارهای سیمای سرزمین در خروجی MOLA

	کشاورزی	جنگل	مرتع	توسعه
NP	۷۰۰	۱٦۷	۷۷٦	۱۹۸
PLAND	۱٤٫۸٤	۱۷٫۵	۹٫۰٤	۱٫۰۲
Area_Mean	۷۷٫۰٤	۳۸۰٫۸۲	٤۲٫۳۷	۱۸٫۸۵
LSI	۳۱٫۹۰	۸٫٦٤	۳۷٫۱۲	۲۰٫۵۱
Cohesion	۹۸٫۸٤	۹۹٫۵	۹٦٫۲۳	۸٤٫۹۲
Frac_Mean	۱٫۰۲	۱٫۰۱	۱٫۰۳	۱٫۰۳

جدول ٤. معیارهای سیمای سرزمین در خروجی GA

	کشاورزی	جنگل	مرتع	توسعه
NP	۳۰۳	۷۵	۳۸٤	۷۳
PLAND	۱٤٫۳٤	۱۷٫٤۱	۸٫۹٤	۱٫۱
Area_Mean	۱۷۲٫۰۹	۸٤٤٫۰٦	۸٤٫٦۸	۵۵٫۰۲
LSI	۲۲٫۷۳	۷٫۱۱	۲۵٫۵۱	۱۲٫٦
Cohesion	۹۸٫۸۸	۹۹٫۵۲	۹٦٫۱۱	۹۱
Frac_Mean	۱٫۰۲	۱٫۰۲	۱٫۰۳	۱٫۰۳

شایان ذکر است اگرچه به‌کارگیری روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک در بهبود ساختار سیمای سرزمین تأثیر مثبت داشته است، نباید نادیده گرفت که این بهبود همراه با چشم‌پوشی از بخش کوچکی از تناسب سرزمین برای هر کاربری است. به عبارت دیگر، روش MOLA اختصاص هر منطقه را برای یک کاربری بر اساس بهترین تناسب ارائه می‌دهد و لایهٔ کاربری ایجادشده توسط این روش از نظر تناسب بهترین حالت ممکن است. بنابراین، به‌کارگیری رویکردهای بهینه‌سازی که ویژگی‌های دیگر را نیز دنبال می‌کنند، برخلاف بهبود ساختار سیمای سرزمین کمی باعث دورشدن تناسب از حالت بهینه خواهد شد. شکل ۱۱ تغییرات ایجادشده در میانگین تناسب زمین برای اختصاص هر کاربری را در GA نسبت به MOLA نشان می‌دهد.



شکل ۱۱. مقایسهٔ تناسب کاربری‌ها برای دو مدل GA و MOLA

نتیجه‌گیری

روش‌های متعدد بهینه‌سازی که امروزه بسیار به‌کار گرفته می‌شوند، جزء رویکردهای چندهدفه‌اند که می‌توان توسط آن‌ها اهداف مختلف و از جمله توجه به تناسب و معیارهای سیمای سرزمین را همزمان در آمایش به‌کار گرفت. اگرچه در این روش‌ها اهداف مختلف را می‌توان همزمان بررسی کرد، با توجه به ذات این روش‌ها که پاسخ‌های محتمل برای کاربری در منطقه را بررسی می‌کنند، تا بهترین حالت انتخاب شود، به دلایل متعدد (از جمله محدودیت‌های زمانی) پاسخ نهایی لزوماً بهترین پاسخ نیست. روش MOLA پاسخی برای تعیین کاربری منطقه ایجاد می‌کند که بهترین پاسخ ممکن از لحاظ تناسب برای آن کاربری است. بنابراین، یک راه برای حل تعارض بین این روش‌ها که در این مطالعه نیز به آن توجه شده است، بهبود روش MOLA بر اساس توجه به معیارهای سیمای سرزمین با به‌کارگیری یکی از روش‌های بهینه‌سازی، یعنی الگوریتم ژنتیک است. همان‌طور که جدول ٤ نشان می‌دهد، به‌کارگیری رویکرد الگوریتم ژنتیک در بهبود ساختار سیمای سرزمین حاصل از آمایش تأثیری بسزا داشته است. این تأثیر را می‌توان از کاهش تعداد لکه‌های حاصل از کاربری‌ها در زمان به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک مشاهده کرد.

به‌کارگیری روش‌های بهینه‌سازی چندهدفه که در آن‌ها مثلاً از معیارهای سیمای سرزمین نیز بهره گرفته می‌شود، در مقایسه با رویکرد MOLA به قیمت تنزل‌بخشی از تناسب برای هر کاربری در ازای درنظرگرفتن ویژگی جدید می‌شود (شکل ۱۱). لذا، به‌کارگیری مناسب الگوریتم ژنتیک می‌تواند حدی متعادل از تناسب سرزمین برای هر کاربری و معیارهای سیمای سرزمین را ایجاد کند. در رویکردهای چندهدفه می‌توان معیارهای مختلفی را برای منطقه به‌کار گرفت و با روش‌های مختلف بهینه‌سازی آن‌ها را در مناطق مختلف بررسی کرد. در این مطالعه شاخص پیوستگی برای ارتقای روش MOLA به‌کار گرفته شده است. این شاخص و شاخص‌های دیگر سیمای سرزمین بیشتر بر ساختار شکلی لکه‌های کاربری تمرکز دارند. از ویژگی‌های الگوریتم‌های اکتشافی و الگوریتم ژنتیک امکان واردکردن توابع هدف متنوع برای حل مسئله است. بنابراین، می‌توان علاوه بر شاخص‌های ساختاری، اهداف کارکردی را نیز در تعریف مسئله به‌کار گفت. پیچیده‌ترکردن توابع چندهدفه باعث پیچیدگی فرایند حل مسئله و طولانی‌ترشدن زمان می‌شود. این مشکل را می‌توان تا حدودی با تغییر ساختار جمعیت از سلول به لکه، که در این مطالعه نیز به‌کار گرفته شده است، حل کرد. به هر حال باید به این نکته نیز توجه کرد که تغییر ساختار تحلیل از سلول به لکه تحت تأثیر اندازهٔ لکه‌های جمعیت‌ها خواهد بود. بنابراین، اگر لایه‌های کاربری جمعیت اولیه لکه‌های بزرگ و با پیوستگی بالا داشته باشد، رسیدن به پاسخ مناسب کمی مشکل می‌شود. همچنین، تعریف هدفمند جمعیت اولیه کمکی مؤثر در رسیدن به پاسخ‌های مناسب خواهد بود. در این مطالعه، این الگو با واردکردن روش آمایشی MOLA بررسی و قابلیت آن نشان داده شد. بنابراین، بخشی از زمان مورد نیاز الگوریتم برای رسیدن به جواب بهینه با ارائهٔ جمعیتی با قابلیت تناسب بالا مدیریت شد. در نهایت، به نظر می‌رسد رویکرد ترکیبی برای حل مسائل مربوط به اختصاص کاربری زمین باعث بهبود نتایج می‌شود و الگوهای عملی‌تری را در اختیار مدیران قرار می‌دهد.

منابع و مآخذ

۱. سلمان ماهینی، عبدالرسول (۱۳۹۲). «طرح آمایش استان گلستان». *گزارش فاز اول*، استانداری گلستان.

۲. سلمان ماهینی، عبدالرسول؛ کامیاب، حمیدرضا (۱۳۹۰). *سنجش از دور و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی با نرم‌افزار ایدریسی*. چاپ دوم، تهران، انتشارات مهر مهدیس.

۳. شایگان، مهران؛ علیمحمدی، عباس؛ منصوریان، علی (۱۳۹۱). «بهینه‌سازی چندهدفهٔ تخصیص کاربری اراضی با استفاده از الگوریتم NSGA-II»، *فصل‌نامهٔ سنجش از دور و GIS ایران*، سال چهارم، شمارهٔ دوم، صفحات ۱۸-۱.

4. Aerts, Jeroen; Eisinger, Erwin; Heuvelink, Gerard. B. M; Stewart, Theodor (2003). "Using linear integer programming for multi-site land-use allocation". *Geographical Analysis*, 35(2), 148–169.
5. Aerts, Jeroen; Heuvelin, Gerard (2002). "Using simulated annealing for resource allocation". *International Journal of Geographical Information Science*,16(6), 571-587.
6. Aerts, Jeroen; Van Herwijnen, Marjan; Janssen, Ron; Stewart, Theodor. J. (2005). "Evaluating spatial design techniques for solving land-use allocation problems". *Journal of Environmental Planning and Management*, 48(1), 121–142.
7. Bettinger, Pete; Graetz, David; Boston, Kevin; Sessions, John; Chung, Woodam (2002). "Eight heuristic planning techniques applied to three increasingly difficult wildlife planning problems". *Silva Fennica*, 36(2), 561–584.
8. Cao, Kia.; Batty, Michael.; Huang, Bo.; Liu, Yan.; Yu, Le; Jiongfeng, Chen (2011). "Spatial multi-objective land use optimization: extensions to the non-dominated sorting genetic algorithm-II". *International Journal of Geographical Information Science*, 1-21.
9. Cao, Kia; Huang, Bo; Wang Shawen; Lin, Hui. (2012). "Sustainable land use optimization using Boundary-based Fast Genetic Algorithm", *Computers, Environment and Urban Systems*, 36, 257-269.
10. Cao, Kia; Huang, Bo; Zhao, Qing; Wang, Shengxiao, (2009). "Land use allocation optimization towards sustainable development based on genetic algorithm". In *Geoinformatics*, 2009 17th international Conference. Fairfax, USA. 1–5.
11. Carver, Stephen. J. (1991). "Integrating multi-criteria evaluation with geographical information systems". *International Journal of Geographical Information Science*, 5(3), 321-339.
12. Duh, Jiunn-Der; Brown, Daniel. G. (2007). "Knowledge-informed pareto simulated annealing for multi-objective spatial allocation". *Computers, Environment and Urban*

Systems, 31, 235–281.
13. Feng, Cheng-Min; Lin, Jen-Jia (1999). "Using a genetic algorithm to generate alternative sketch maps for urban planning". *Computers, Environment and Urban Systems*, 23, 91–108.
14. Goldberg, David E. (1989). *Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning*. Boston, MA: Addison-Wesley Longman.
15. Holland, John-Henry (1975). *Adaptation in natural and artificial systems: an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence*. Ann Arbor, MI: University of Michigan Press.
16. Holzka¨mper, Annelie; Lausch, Angela; Seppelt, Ralf (2006). "Optimizing landscape configuration to enhance habitat suitability for species with contrasting habitat requirements". *Ecological Modelling*, 198, 277-292.
17. Huston Michel (2006). *The Need for Science and Technology in Land Management*, Online Book: The International Development Research Centre. http://www.idrc.ca/en/ev-29587-201-1-DO_TOPIC.html (Last Visit: 08.2014).
18. Janssen, Ron; Van Herwijnen, Marjan; Stewart, Theodor. J.; Aerts, Jeroen. C. J. H. (2008). "Multi objective decision support for land-use planning. Environment and Planning ". *Planning and Design*, 35, 740–756.
19. Liu, Xiaoping, Ou, Jinpei; Ai, Bin (2013). "Combining system dynamics and hybrid particle swarm optimization for land use allocation", Ecological Modeling, 257, 11-24.
20. Matthews, K. B.; Buchan, K.;Sibbald, A. R.; Craw, Susan (2006). "Combining deliberative and computer-based methods for multi-objective land-use planning". *Agricultural Systems*, 87, 18–37.
21. McGarigal, Kewin; Cushman, Sam. A.; Neel, Maile. C.; Ene, Eduard (2002). "FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps". University of Massachusetts, Amherst. Available from: <www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html> (Last Visit: 09.2014).
22. Michalewicz, Zbigniew (1996). *Genetic algorithms+data structures=evolution programs*. Berlin, Springer.
23. Mitchell, Melanie; Crutchfield, James P.; Hraber, Peter T. (1994). "Evolving cellular automata to perform computations: Mechanisms and impediments*"*. *Physica D*, 75, 361–391.
24. Porta, Juan; Paraper, Jorge; Doallo, Ramon; Rivera, Francisco; Sante, Ines; Crecente, Rafael (2013). "High performance genetic algorithm for land use planning". *Computers, Environment and Urban Systems*, 37, 45-58.
25. Stewart, Theodor. J.; Janssen, Ron.; Van Herwijnen, Marjan (2004). "A genetic algorithm approach to multi objective land use planning". *Computers & Operations Research*, 31, 2293–2313.