

## مقایسه روش‌های شبیه‌سازی تبرید تدریجی و اختصاص چندهدفه زمین در گزینش بهینه کاربری‌های اراضی

عبدالرسول سلیمان ماهینی، زهرا اسدالهی\*، مریم سعید صبائی، حمیدرضا کامیاب و کامران نصیراحمدی<sup>۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۲/۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۴/۳)

### چکیده

هدف از ارزیابی و تخصیص چند هدفه کاربری اراضی (MOLAA) دستیابی به تخصیص بهینه کاربری‌ها و به حداکثر رساندن میزان تناسب بین آنها است. ثابت شده است که فنون متفاوت تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌تواند به‌عنوان ابزار پشتیبان تصمیم‌گیری در حل مسائل مورد استفاده قرار گیرد. شبیه‌سازی تبرید تدریجی (SA) و اختصاص چند هدفه زمین (MOLA) دو رویکرد متفاوت تصمیم‌گیری چندمعیاره رایانه‌ای قادر به ارائه راه‌حل برای تخصیص چندهدفه کاربری اراضی با استفاده از قواعد تصمیم متفاوت هستند. هدف از این مقاله مقایسه عملکرد و کارایی دو روش شبیه‌سازی تبرید تدریجی و اختصاص چندهدفه زمین در تخصیص منطقه مورد مطالعه به چهار کاربری کشاورزی، مرتعداری، جنگلداری و توسعه است. منطقه مورد مطالعه شامل زیرحوضه‌ای واقع در شمال شرقی حوضه آبخیز گرگانرود در استان گلستان است. بررسی چشمی نتایج نشان داد که روش شبیه‌سازی تبرید تدریجی نسبت به اختصاص چندهدفه زمین، مناطق با کاربری‌های مشابه را بیشتر به هم نزدیک کرده و لذا لکه‌های یکپارچه‌تری ایجاد نموده است. بررسی نتایج براساس میانگین مطلوبیت هر کاربری در نقشه نهایی نشان داد که شبیه‌سازی تبرید تدریجی تنها در کاربری کشاورزی مناطقی را انتخاب نموده که نسبت به روش اختصاص چندهدفه زمین، میانگین مطلوبیت بالاتری دارد و در مابقی کاربری‌ها مدل اختصاص چندهدفه زمین نتایج بهتری ارائه نموده است. بررسی نتایج دو روش از لحاظ معیارهای سیمای سرزمین نشان داد که روش شبیه‌سازی تبرید تدریجی نسبت به اختصاص چندهدفه زمین، لکه‌های یکپارچه‌تری تولید نموده است. مشکل عمومی اختصاص چندهدفه زمین عدم توجه به فاکتور یکپارچگی است که باعث پخش‌شدگی پیکسل‌ها در نقشه نهایی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: ارسباران، استان گلستان، تصمیم‌گیری چندمعیاره، مسئله بهینه‌سازی، الگوریتم

۱. گروه محیط زیست، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان  
\* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: z\_asadlahi@yahoo.com

## مقدمه

ارزیابی و تخصیص چندهدفه کاربری اراضی (Multi Objective Land Use Assessment and Allocation). 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 (۱۹). به طور کلی، ارزیابی مطلوبیت نسبی هر گزینه کاربری بر اساس معیارهای چندگانه انجام می‌شود. معیارها شامل ویژگی‌های مرتبط با کاربری از نظر اهداف اجتماعی، اقتصادی و محیط زیستی است (۸). در مسائل تصمیم‌گیری چندهدفه به واسطه حضور ذینفعان مختلف با علائق متفاوت تعارض بین کاربری‌های ناسازگار، امری اجتناب‌ناپذیر است (۶). ثابت شده است که فنون متفاوت تصمیم‌گیری چندمعیاره (Multi Criteria Decision Making) می‌توانند به عنوان ابزار پشتیبان تصمیم‌گیری در حل مسائل ارزیابی و تخصیص چندهدفه کاربری اراضی مورد استفاده قرار گیرد (۱۶) و از این راه تعارض میان کاربری‌ها را به حداقل برساند. یک مسئله بهینه‌سازی، یافتن بهترین راه حل از میان همه راه حل‌های عملی است. همانند سایر مسائل بهینه‌سازی در ارزیابی و تخصیص چندهدفه کاربری اراضی، راه‌حل بهینه در میان ترکیبات نامحدود و ممکن ویژگی‌های واحدهای سرزمین و گزینه‌های کاربری اراضی قرار دارد (۱۰).

از لحاظ محاسبه‌ای، جست‌جوی هر یک از این ترکیبات به وسیله رویکردهای بهینه‌سازی ریاضی یا سیستماتیک امکان‌پذیر نیست (۲۲). بهینه‌سازی تقریبی یا روش‌های اکتشافی (Heuristic Methods) به طور موفقیت آمیزی یک راه‌حل نزدیک به بهینه برای این دسته از مسائل با لحاظ نمودن دو عامل کیفیت مسئله و زمان محاسبه، ارائه می‌دهند (۲۱). لازم به ذکر است که روش‌ها و الگوریتم‌های بهینه‌سازی به دو دسته الگوریتم‌های دقیق و الگوریتم‌های تقریبی تقسیم‌بندی می‌شوند. الگوریتم‌های دقیق نظیر برنامه‌ریزی خطی قادر به یافتن جواب بهینه به صورت دقیق

هستند، اما درمورد مسائل بهینه‌سازی پیچیده کارایی ندارند و زمان حل آنها در این مسائل به‌طور نمایی افزایش می‌یابد. الگوریتم‌های تقریبی قادر به یافتن جواب‌های نزدیک به بهینه در زمان حل نسبتاً کوتاه برای مسائل بهینه‌سازی سخت هستند. الگوریتم‌های تقریبی نیز به دو دسته الگوریتم‌های اکتشافی و فرا اکتشافی تقسیم‌بندی می‌شوند (۴). در بین الگوریتم‌های فرا اکتشافی، شبیه‌سازی تبرید تدریجی (Simulated Annealing) روشی سودمند و کارا برای یافتن راه‌حل بهینه مسائل ارزیابی و تخصیص چند هدفه کاربری اراضی محسوب می‌شود (۵). یک روش دیگر تصمیم‌گیری چندمعیاره که می‌تواند مسئله ارزیابی و تخصیص چند هدفه کاربری اراضی را حل کند، اکتشافی انتخابی (Choice Heuristic) نامیده می‌شود. این روش، یک قاعده تصمیم خاص را دنبال می‌کند تا یک راه حل برای مسئله‌ای با معیارها و اهداف چندگانه بیابد. ایستمن و همکاران (۱۱) یک روش اکتشافی انتخابی بر پایه نزدیکی به نقطه ایده‌آل برای حل تعارضات کاربری‌های اراضی ناسازگار ارائه دادند. الگوریتم ارائه شده ایشان به‌عنوان رویه پشتیبان تصمیم‌گیری در نرم افزار IDRISI Kilimanjaro وارد شده است. رویه ذکر شده اختصاص چند هدفه زمین (Multi Objective Land Allocation) خوانده می‌شود. شبیه‌سازی تبرید تدریجی و اختصاص چندهدفه سرزمین دو رویکرد متفاوت تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌باشند و قادر به ارائه راه‌حل در ارزیابی و تخصیص چند هدفه کاربری اراضی با استفاده از قواعد تصمیم متفاوت هستند. در این حالت می‌توان با بررسی میزان بهینگی راه‌حل‌های دو روش به مقایسه عملکرد و کارایی نسبی آنها پرداخت (۷).

هدف از این مقاله معرفی دو روش شبیه‌سازی تبرید تدریجی و اختصاص چندهدفه زمین و مقایسه کارایی آنها در حل یک مسئله ارزیابی و تخصیص چندهدفه کاربری اراضی است. از مطالعات انجام شده با هدف تخصیص چندکاربری با الگوریتم شبیه‌سازی تبرید تدریجی می‌توان به مارتینز-فالرو و همکاران (۱۳) اشاره نمود که با استفاده از تابع هدف متشکل از شش فاکتور سود، هزینه انتقال کاربری اراضی، هزینه اجتماعی،

۱۹۸۳ و ۱۹۸۵ است. برای حل یک مسئله بهینه‌سازی، الگوریتم شبیه‌سازی تبرید تدریجی ابتدا از یک جواب اولیه شروع می‌کند و سپس در یک حلقه تکرار جواب‌های جدید تصادفی با تغییر جای سلول‌ها به وجود می‌آورد. اگر جواب جدید، بهتر از جواب قبلی باشد، الگوریتم آن را به عنوان جواب فعلی قرار می‌دهد، در غیر این صورت، الگوریتم آن جواب را با احتمال  $\exp(-\Delta E/T)$  به همان شکل جواب قبلی می‌پذیرد. در این رابطه  $\Delta E$  تفاوت سطح انرژی بین تابع هدف جواب قبلی و جواب جدید است و  $T$  یک پارامتر به نام دما است. در هر دما، چندین تکرار اجرا می‌شود و سپس دما به آرامی کاهش داده می‌شود. در گام‌های اولیه دما خیلی بالا قرار داده می‌شود تا احتمال پذیرش جواب‌های نه چندان مطلوب هم وجود داشته باشد. با کاهش تدریجی دما، درگام‌های پایانی احتمال کمتری برای پذیرش جواب‌های بدتر وجود خواهد داشت و بنابراین الگوریتم به سمت یک جواب خوب همگرا می‌شود (۴). در شبیه‌سازی تبرید تدریجی این امکان وجود دارد که با یک احتمال مشخص (که به صورت تصادفی تولید می‌شود) پاسخ-های بدتر نیز پذیرفته شود. اجرای شبیه‌سازی تبرید تدریجی نیاز به تعریف پارامترهای فضای جستجو (Space Searching)، تابع هزینه (Cost Function) و برنامه سردسازی شامل دمای اولیه (Initial Temperature)، نرخ کاهش دما (Cooling Rate)، تعداد تکرارهای داخلی (Swaps) در هر دمای کنترل و قاعده توقف دارد (۱۶ و ۱۹). نمودار جریان الگوریتم شبیه‌سازی تبرید تدریجی در شکل (۱) نمایش داده شده است.

### اختصاص چندهدفه زمین

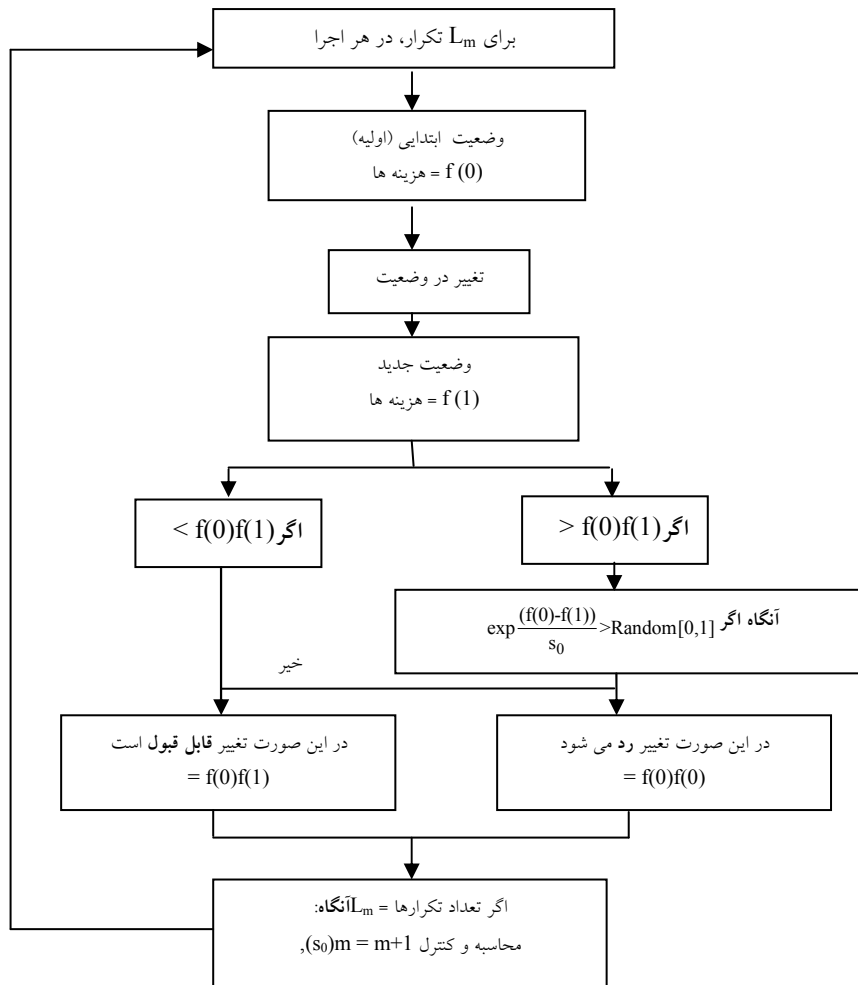
اختصاص چند هدفه زمین رویه پشتیبان تصمیم‌گیری در نرم افزار Kilimanjaro IDRISI است و با هدف ایجاد راه‌حل بهینه در تخصیص فضا به کاربری‌های چندگانه و اغلب ناسازگار طراحی شده است. مراحل انجام این روش در شکل (۲) نمایش داده شده است. نقشه مطلوبیت در مقیاس ۲۵۵-۰ برای هر گزینه کاربری، از ترکیب معیارها و وزن‌های نسبی در رویه

اثر محیط زیستی، مساحت کل سرزمین و پیوستگی، به تخصیص منطقه مورد مطالعه برای ۱۰ فعالیت کشاورزی پرداختند. ارتز و هولینک (۵) با در نظر گرفتن تابع هدف حداقل‌سازی هزینه توسعه و حداکثرسازی فشردگی مکانی، به تخصیص بهینه کاربری‌ها پرداختند. شارما و لی (۱۸) در مطالعه خود به مقایسه دو روش شبیه‌سازی تبرید تدریجی و اختصاص چندهدفه زمین در تخصیص چندهدفه کاربری اراضی پرداختند و نتیجه مطالعه نشان داد که شبیه‌سازی تبرید تدریجی در مقابل اختصاص چندهدفه زمین در تعیین مطلوبیت کاربری اراضی موفق‌تر بوده است و نسبت به روش اختصاص چندهدفه زمین محیطی فشردتر و منسجم‌تر را برای هر کاربری ایجاد نموده است. نتایج مطالعه سانته-ریوریا و همکاران (۱۷) نشان داد که وجود فاکتور فشردگی در تابع هدف شبیه‌سازی تبرید تدریجی از پخش‌شدگی بالای کاربری‌های تخصیص یافته در مقایسه با روش اختصاص چندهدفه زمین جلوگیری می‌کند. براساس مرور منابع در دسترس، تاکنون مطالعه‌ای با به‌کارگیری روش شبیه‌سازی تبرید تدریجی با هدف گزینش بهینه کاربری‌های اراضی آمایش سرزمین در ایران صورت نگرفته است. مومنی (۳) به شناسایی شبکه‌ای از مناطق تحت حفاظت در استان گلستان با استفاده از الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده در نرم افزار Marxan پرداخت. مهری (۲) در پژوهش خود روش‌های هوش مصنوعی با تاکید بر الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده را برای بررسی کارایی مناطق تحت حفاظت موجود و اولویت‌بندی مناطق مناسب حفاظت در استان مازندران، مورد بررسی قرار داده است.

### مواد و روش‌ها

#### الگوریتم شبیه‌سازی تبرید تدریجی

الگوریتم شبیه‌سازی تبرید تدریجی، یک الگوریتم بهینه‌سازی اکتشافی کارا و سودمند در حل مسائل بهینه‌سازی است. منشأ الگوریتم شبیه‌سازی تبرید تدریجی، بر پایه مطالعات کرک پاتریک و همکاران (۱۲)، سرنی و همکاران (۹) در سال‌های



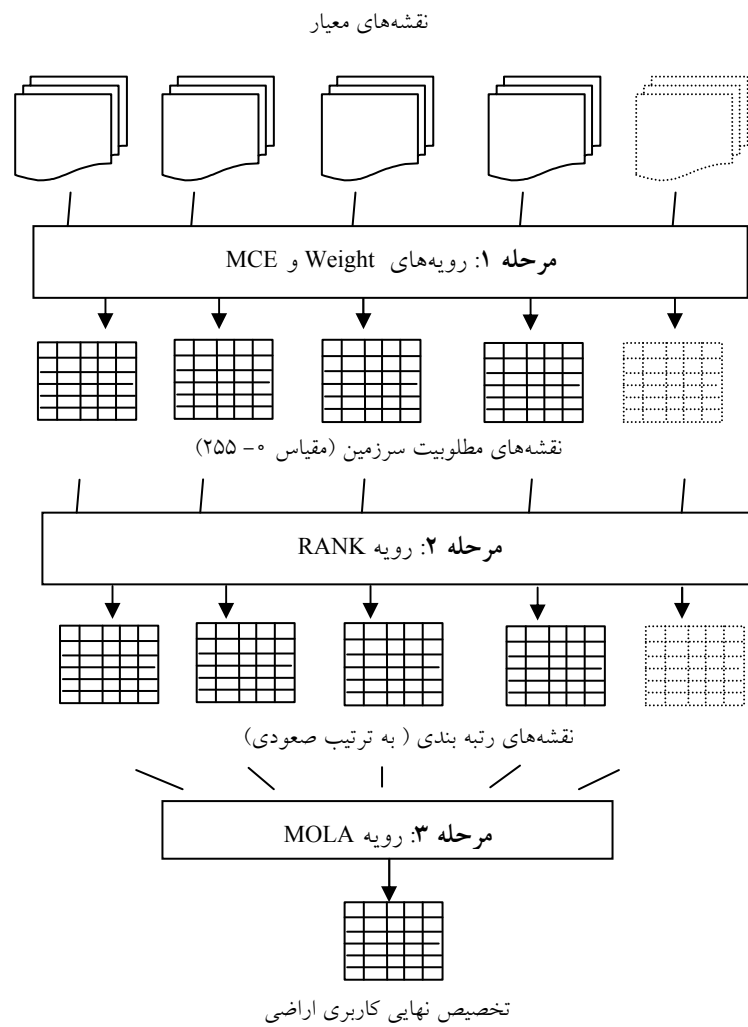
شکل ۱. نمودار جریان الگوریتم شبیه‌سازی تبرید تدریجی

اراضی است که در آن شرط مساحت‌های از پیش تعیین شده برای هر گزینه کاربری اعمال شده است (مرحله ۳). روش اختصاص چندهدفه زمین تعارض بین کاربری‌ها را در یک واحد سرزمین (سلول) بر اساس نزدیکی به نقطه ایده‌آل حل می‌کند و سلول را در نهایت به کاربری اختصاص می‌دهد که بالاترین وزن رتبه بندی را دارد. شکل ۳ رویه اختصاص چندهدفه زمین را در نرم افزار Kilimanjaro IDRISI نشان می‌دهد.

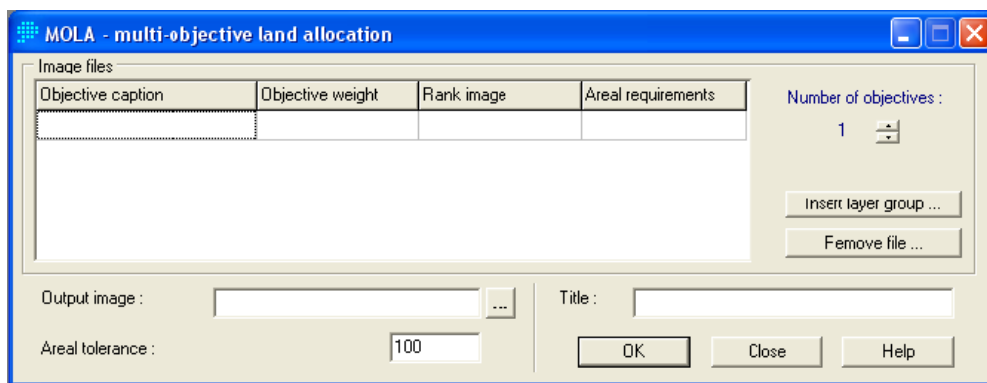
#### معرفی منطقه مورد مطالعه

مطالعه حاضر در زیرحوزه‌ای واقع در شمال شرقی حوضه گرگانود استان گلستان اجرا شد. این منطقه با مساحت کل ۱۳۲۵۲۹ هکتار از نظر تقسیمات کشوری در محدوده دهستان‌های

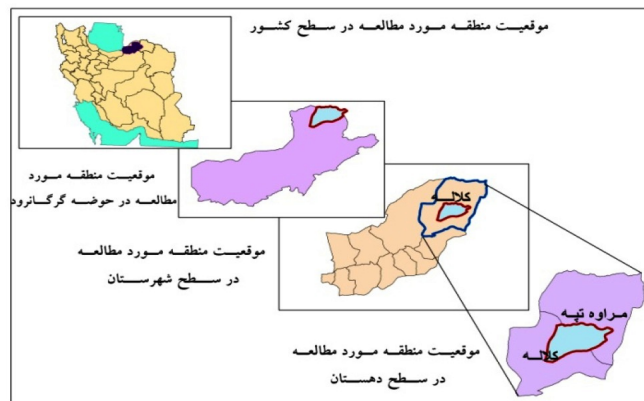
ارزیابی چند معیاره (Multi Criteria Evaluation) تهیه می‌شود (مرحله ۱). با رویه وزن (WEIGHT)، وزن نسبی هر معیار با مقایسه زوجی بر پایه فرایند تحلیل سلسله مراتبی (Analytical Hierarchy Process) تخمین زده می‌شود، البته استفاده از روش‌های دیگر وزن‌دهی نیز قابل قبول است. رویه رتبه‌دهی (RANK) برای ایجاد نقشه رتبه‌بندی شده صعودی از هر یک از نقشه‌های مطلوبیت، مورد استفاده قرار می‌گیرد (مرحله ۲). این رویه با توجه به ارزش پیکسل‌ها در نقشه مطلوبیت، ترتیب رتبه‌ها را مشخص می‌کند. سرانجام رویه اختصاص چندهدفه زمین، عملیاتی تکرار شونده را برای ترکیب نقشه‌های رتبه‌بندی شده بر اساس وزن هر یک از آنها انجام می‌دهد که نتیجه آن تولید نقشه نهایی تخصیص کاربری



شکل ۲. مراحل اجرای اختصاص چند هدفه زمین



شکل ۳. رویه اختصاص چندهدفه زمین در نرم افزار IDRISI Kilimanjaro



شکل ۴. موقعیت محدوده مورد مطالعه

شد. وزن نسبی هر فاکتور از طریق مقایسه زوجی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی محاسبه شد. نقشه‌های فاکتور با روش ترکیب خطی وزن‌دار (Weighted Linear Combination) ادغام و نقشه مطلوبیت هر کاربری با توجه به رابطه (۱) به دست آمد (۲۲).

$$S_k = \sum W_{ik} X_{ijk} \quad [1]$$

در این رابطه  $W_{ik}$  وزن نسبی فاکتور  $i$  در کاربری  $k$  و  $X_{ijk}$  ارزش سلول در فاکتور  $i$  در کاربری  $k$  است.

شبیه‌سازی تبریید تدریجی راه‌حل شبه بهینه را از طریق به حداقل رساندن تابع هزینه ایجاد می‌کند. از این‌رو، لایه‌های هزینه به‌عنوان ورودی مدل شبیه‌سازی تبریید تدریجی با معکوس نمودن ارزش‌های لایه‌های مطلوبیت به دست آمدند. بنا به فرض، نقشه هزینه به‌طور معکوس با ارزش مطلوبیت در ارتباط است. از این‌رو، در مطالعه حاضر بالاترین ارزش در نقشه هزینه به‌عنوان کمترین ارزش در نقشه مطلوبیت و پایین‌ترین ارزش به‌عنوان بالاترین مطلوبیت و برعکس در نظر گرفته شد (رابطه ۲).

$$\text{نقشه مطلوبیت} / ۱ = \text{نقشه هزینه} \quad [2]$$

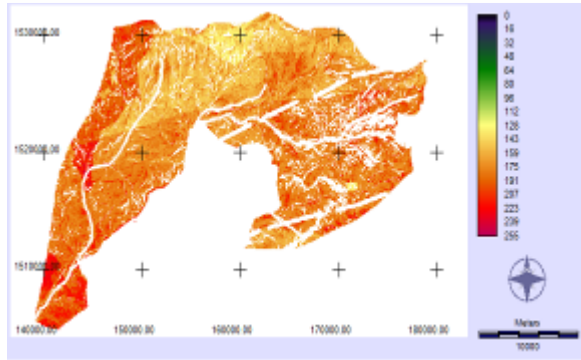
فرمول ریاضی تابع هزینه به‌صورت رابطه ۳ مشخص است (۵). تابع هزینه اولیه از جمع هزینه هر سلول به دست می‌آید که مقدار آن از طریق هزینه اختصاص یافته به هر کاربری در نقشه تخصیص منابع اولیه‌ای که به‌طور تصادفی بر اساس مساحت‌های از پیش

کالاه و مراوه تپه واقع شده است (شکل ۴). نقشه مورد استفاده ابعادی برابر با ۹۴۷ در ۱۵۵۵ سلول با اندازه تفکیک ۳۰ متر مربع دارد و هر سلول  $X_{ij}$  معرف یک واحد سرزمین است. از مجموع ۱۴۷۲۵۸۵ سلول، تعداد ۹۵۹۰۸۲ سلول شامل شبکه جاده، رودخانه و برخی کاربری‌های تغییر ناپذیر در محدوده مورد مطالعه بودند. بخش‌های یاد شده باید از فضای جست‌جو خارج شده و در نتیجه ارزش NODATA به آنها تعلق گرفت. با در نظر گرفتن اهداف اجتماعی، اقتصادی و محیط زیستی، ناحیه باقیمانده (۵۱۳۵۰۳ سلول با مساحت ۴۶۲۱۴ هکتار) باید به چهار کاربری کشاورزی، مرتعداری، جنگلداری و توسعه اختصاص می‌یافت که سهم هر کاربری از نظر درصد مساحت و تعداد سلول مورد نیاز در جدول ۱ قابل مشاهده است. مسئله نهایی، تخصیص بهینه چهار کاربری در محدوده مورد مطالعه بود، به‌نحوی که در نهایت مساحت‌های از پیش تعیین شده برای هر کاربری تامین شود. برای تخصیص بهینه کاربری‌ها از دو روش شبیه‌سازی تبریید تدریجی و اختصاص چندهدفه زمین استفاده شد. لازم به ذکر است که در فرایندی تکرار پذیر می‌توان درصد مساحت‌ها را بسته به نظر کاربران تغییر داد.

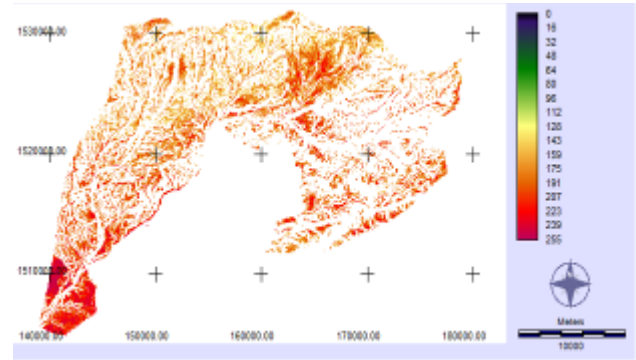
برای اجرای روش شبیه‌سازی تبریید تدریجی از نقشه‌های مطلوبیت تهیه شده توسط سلمان ماهینی و همکاران (۱) برای هر یک از گزینه‌های کاربری استفاده شد. به منظور تهیه هر یک از نقشه‌های مطلوبیت، معیارهای مختلف (شامل فاکتور و محدودیت) اکولوژیک، شبه‌اقتصادی و شبه‌اجتماعی به کار گرفته

جدول ۱. درصد مساحت و تعداد سلول مورد نیاز هر گزینه کاربری

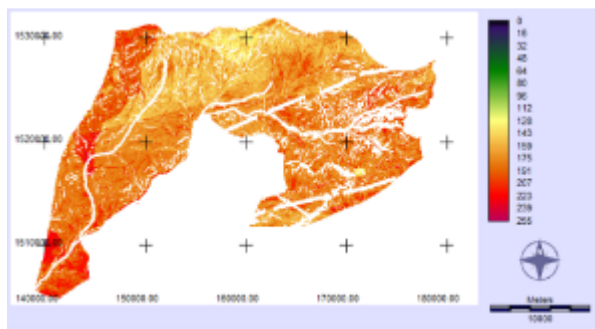
کاربری	کشاورزی	مرتعداری	توسعه	جنگلداری
در صد مساحت مورد نیاز	۴۰	۳۰	۲۰	۱۰
تعداد سلول	۲۰۵۴۰۱	۱۵۴۰۵۱	۱۰۲۷۰۱	۵۱۳۵۰



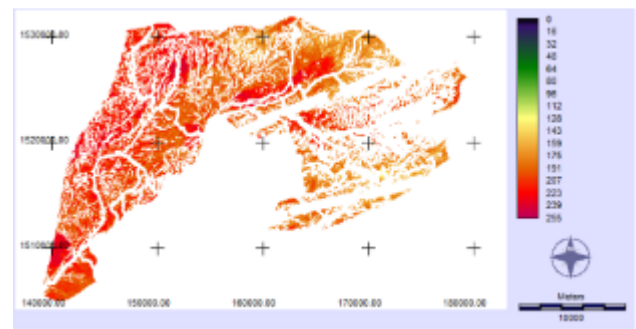
شکل ۸. نقشه مطلوبیت کاربری مرتعداری



شکل ۷. نقشه مطلوبیت کاربری کشاورزی



شکل ۱۰. نقشه مطلوبیت کاربری جنگلداری



شکل ۹. نقشه مطلوبیت کاربری توسعه

دمای اولیه و میزان تکرار داخلی است که مقادیر نهایی به‌کار گرفته شده در این مطالعه شامل نرخ سردسازی ۰/۹، دمای اولیه ۱۰۰۰۰۰۰۰ و تکرار داخلی ۱۰۰۰۰ است (۱۹). خروجی نهایی این برنامه، دو نقشه شامل نقشه نهایی تخصیص بهینه کاربری‌های موردبررسی و نقشه هزینه است.

### نتایج

همان‌طور که گفته شد جهت تهیه نقشه تخصیص بهینه چهار کاربری کشاورزی، مرتع، جنگل و توسعه، از نقشه‌های هزینه و مطلوبیت برای هر کاربری استفاده شد. در هر دو مدل از داده‌های

تعیین شده کاربری‌ها به‌وجود آمده است محاسبه می‌شود.

$$\sum_{i=1}^{947} \sum_{j=1}^{1555} \sum_{k=0}^3 C_{ijk} X_{ij} \quad [3]$$

که در آن  $C_{ijk}$  ارزش هزینه اختصاص یافته به هر سلول برای کاربری  $k$  است.  $X_{ijk}$  یک متغیر دوگانه (۰ و ۱) است. این متغیر برای هر کاربری به صورت صفر و یک تعریف می‌شود. زمانی که مقدار آن در مورد یک کاربری برابر صفر است، سلول مورد نظر به آن کاربری اختصاص نخواهد یافت. زمانی که این مقدار برابر یک باشد، سلول مورد نظر به آن کاربری اختصاص می‌یابد. مهم‌ترین پارامترهای قابل معرفی در الگوریتم استفاده شده در روش شبیه‌سازی تبرید تدریجی تعیین نرخ سردسازی،

## بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصل از بررسی میانگین مطلوبیت کاربری‌ها در جدول ۲، شبیه‌سازی تبرید تدریجی تنها در کاربری کشاورزی مناطقی را انتخاب نموده که نسبت به روش اختصاص چندهدفه زمین میانگین بالاتری از مطلوبیت را دارا است و در مابقی کاربری‌ها مدل اختصاص چندهدفه زمین نتایج بهتری را ایجاد نموده است. شارما و لی (۱۸) و سانتِه-ریوریا و همکاران (۱۷) نیز در مطالعه خود به چنین نتیجه‌ای دست یافتند. با این حال به نظر می‌رسد این بحث به هیچ عنوان بیان‌کننده یک قاعده کلی نیست، چراکه مدل شبیه‌سازی تبرید تدریجی اجرا شده در این تحقیق در طراحی خود دارای یک الگوی اولیه تعریف شده برای فشردگی کاربری‌ها است. بخشی از این تفاوت در میانگین مطلوبیت را می‌توان به این دلیل توجیه نمود که کاهش مطلوبیت به هزینه حفظ یکپارچگی سیمای سرزمین ایجاد شده است. نتایج قسمت بعد نیز تایید‌کننده این موضوع است. همان‌گونه که از جداول ۴ و ۵ مشخص است، روش شبیه‌سازی تبرید تدریجی تعداد لکه‌های کمتری را ایجاد و محیطی فشرده‌تر را برای هر کاربری به‌صورت مجزا و مجموع کاربری‌ها تولید نموده است. از طرف دیگر، لکه‌های ایجاد شده توسط روش شبیه‌سازی تبرید تدریجی بزرگ‌تر از روش اختصاص چندهدفه زمین است و از لحاظ شکلی نیز فشرده‌تر هستند. نتایج این مطالعه نشان داد که روش اختصاص چندهدفه زمین تنها به بهینه‌سازی مطلوبیت زمین برای هر یک از کاربری‌ها پرداخته و به توزیع فضایی هر یک از کاربری‌ها توجهی ندارد، همان‌گونه که سانتِه-ریوریا و همکاران (۱۷) در مطالعه خود به این نتیجه دست یافتند. در مجموع می‌توان چنین اشاره کرد که روش شبیه‌سازی تبرید تدریجی نسبت به اختصاص چندهدفه زمین دارای این قابلیت است که با وارد نمودن عامل یکپارچگی می‌تواند در ایجاد لکه‌های نزدیک به حالت ایده‌آل و یکپارچه موفق‌تر باشد و مشکل عمومی اختصاص چندهدفه زمین به واسطه عدم توجه به عامل یکپارچگی، پخش‌شدگی پیکسل‌ها در نقشه نهایی را تا

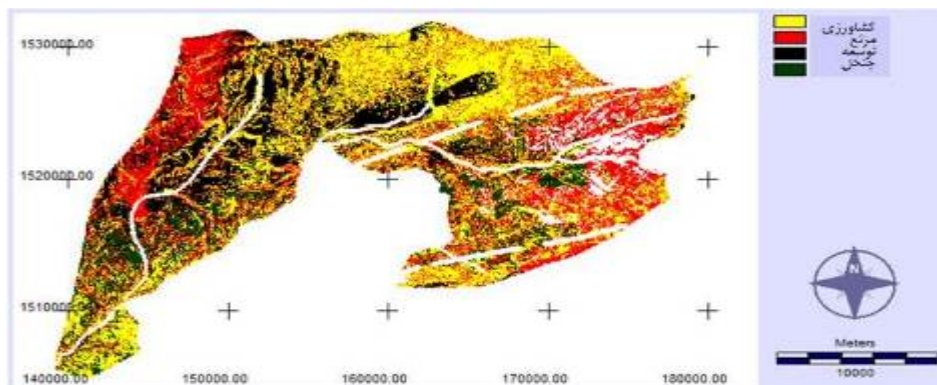
مشابه و یکسان استفاده شد تا امکان مقایسه نتایج دو روش فراهم شود. در روش اختصاص چندهدفه زمین از نقشه مطلوبیت آن کاربری و در روش شبیه‌سازی تبرید تدریجی از نقشه هزینه کاربری استفاده شد. با اختصاص مساحت‌های از پیش تعیین شده برای هر کاربری و اجرای روش‌ها، نقشه کاربری بهینه منطقه به‌دست آمد (شکل‌های ۱۱ و ۱۲). دو نقشه ایجاد شده دارای شباهت‌ها و تفاوت‌هایی هستند. برای بررسی تفاوت بین دو روش و قابلیت و کارایی آنها می‌توان از روش‌های مختلفی استفاده نمود. مقایسه چشمی، تحلیل آماری هزینه و مقایسه بر اساس رویکرد معیارهای سیمای سرزمین سه نوع مختلف تحلیل هستند که برای مقایسه دو روش در اینجا ذکر می‌شوند.

با بررسی چشمی مشخص شد که روش شبیه‌سازی تبرید تدریجی نسبت به اختصاص چندهدفه زمین مناطق با کاربری‌های مشابه را بیشتر به هم نزدیک کرده و لذا لکه‌های یکپارچه‌تری ایجاد نموده است که در بخش تحلیل سیمای سرزمین بیشتر به آن پرداخته می‌شود.

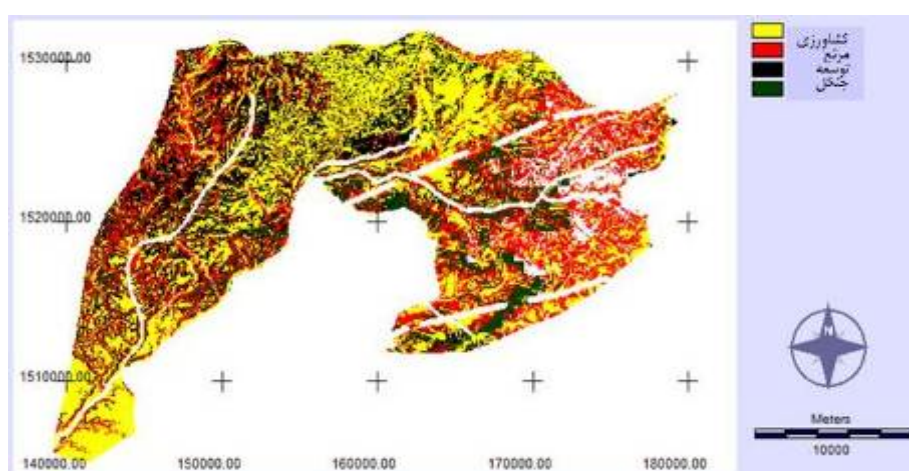
رویکرد دوم برای مقایسه دو روش، آمار میانگین مطلوبیتی است که هر کاربری در نقشه نهایی دارا است. برای این تحلیل، هر کاربری به‌صورت مجزا و بر اساس نقشه مطلوبیت همان کاربری بررسی شد. نتایج این تحلیل در جدول ۲ آورده شده است. لازم به‌ذکر است که بهترین تناسب ارزش ۲۵۵ و کمترین تناسب ارزش صفر داشته است.

جهت بررسی نتایج دو مدل از لحاظ الگوهای سیمای سرزمین نیز از نرم‌افزار FRAGSTATS استفاده گردید. معیارهای مورد استفاده در این نرم‌افزار برای تحلیل سیمای سرزمین در جدول ۳ نشان داده شده است. تخصیص بهینه کاربری‌ها، هنر چینش آنها در کنار یکدیگر است به‌نحوی که ضمن رسیدن به بالاترین سود در برابر هزینه، شرایط را برای مدیریت منسجم‌تر و آسان‌تر فراهم نماید. لذا برای بررسی خروجی حاصل از دو روش برخی از معیارهای سیمای سرزمین مقایسه شده‌اند که نتایج این تحلیل در جداول ۴ و ۵ آورده شده است.





شکل ۱۱. نقشه کاربری بهینه ایجاد شده بر اساس روش اختصاص چندهدفه زمین



شکل ۱۲. نقشه کاربری بهینه ایجاد شده بر اساس شبیه‌سازی تبرید تدریجی

جدول ۲. میانگین مطلوبیت کاربری‌ها در دو مدل

کشاورزی	مرتع	جنگل	توسعه	
۸۷/۹۷	۱۶۸/۲۰	۲۲۸/۵۵	۲۰۵/۴۶	اختصاص چندهدفه زمین
۱۵۱/۹۵	۸۴/۶۹	۱۹۳/۵۳	۲۳/۲۰	شبیه‌سازی تبرید تدریجی

در این مقاله از دو روش شبیه‌سازی تبرید تدریجی و اختصاص چندهدفه زمین برای بررسی اهداف مدیریتی در تخصیص منابع استفاده شد. هر کدام از این روش‌ها دارای قاعده خاصی برای اختصاص کاربری‌های موردنظر به مناطق مختلف سرزمین هستند. آن‌چه که در این دو روش مورد استفاده قرار گرفته است نقشه مطلوبیت مربوط به چهار کاربری کلان است که در هر یک با توجه به نوع قوانین تعریف شده برای حل مسائل مرتبط با اختصاص این کاربری‌ها، نتایج متفاوتی ایجاد گردیده است.

حدودی رفع‌کند. در واقع، در روش شبیه‌سازی تبرید تدریجی همواره تعادلی بین حفظ یکپارچگی سلول‌های مجاور و کاهش هزینه وجود دارد. چه بسا در برخی موارد یکی بر دیگری ارجحیت می‌یابد. اگرچه می‌توان روش اختصاص چندهدفه زمین را با یکپارچگی ضمنی، مثلاً با استفاده از فیلتر میانگین در لایه‌های هزینه استفاده نمود، اما استفاده از این روش باعث از دست رفتن بخشی از اطلاعات مربوط به مطلوبیت و یا هزینه در لایه‌های ورودی می‌گردد.

جدول ۳. معیارهای سیمای سرزمین مورد استفاده در مطالعه (۱۴)

واحد	توصیف	معیار
بزرگ‌تر یا مساوی ۱	"تعداد لکه‌ها" در سیمای سرزمین.	تعداد لکه‌ها
تعداد در ۱۰۰ هکتار	"تراکم لکه‌ها"ی سیمای سرزمین.	تراکم لکه‌ها
بزرگ‌تر از صفر	میانگین "نسبت محیط به مساحت" لکه‌ها	میانگین "نسبت محیط به مساحت"
بزرگ‌تر یا مساوی ۱	میانگین شاخص شکل لکه‌ها، عدد یک نشان دهنده محیط ساده و شکل فشرده لکه است.	میانگین شاخص شکل
هکتار	میانگین "مساحت تقسیم بر ۱۰۰۰۰" لکه‌ها	میانگین مساحت

جدول ۴. معیارهای سیمای سرزمین در خروجی مدل اختصاص چندهدفه زمین

کاربری	تعداد لکه‌ها	تراکم لکه‌ها	میانگین مساحت لکه‌ها	میانگین شاخص شکل	میانگین محیط به مساحت لکه‌ها
کشاورزی	۷۳۴۷	۵/۵	۲/۵	۱/۳۱	۱۱۲۲
مرتع	۱۲۲۹۹	۹/۲	۱/۱	۱/۳۴	۱۱۴۷
توسعه	۴۴۹۴	۳/۳	۲	۱/۳۲	۱۱۰۶
جنگل	۴۲۱۲	۳/۱	۱	۱/۳۲	۱۱۲۱

جدول ۵. معیارهای سیمای سرزمین در خروجی مدل شبیه‌سازی تبرید تدریجی

کاربری	تعداد لکه‌ها	تراکم لکه‌ها	میانگین مساحت لکه‌ها	میانگین شاخص شکل	میانگین محیط به مساحت لکه‌ها
کشاورزی	۲۸۲۳	۲/۱	۶/۵	۱/۴	۸۰۹
مرتع	۴۲۴۳	۳/۲	۳/۲	۱/۴	۱۰۳۳
توسعه	۴۰۳۵	۳	۲/۲	۱/۴	۱۰۵۷
جنگل	۳۰۴۵	۳/۲	۱/۵	۱/۲	۱۰۷۰

کاربری‌ها را در آن دخالت داد و در نتیجه کلی مشاهده نمود. این نوع تحلیل در روش اختصاص چندهدفه زمین قابل اجرا نیست و این روش تنها به حضور مطلوب‌ترین حالت که براساس نزدیکی به مدل ایده آل است توجه دارد. نحوه محاسبات در روش شبیه‌سازی تبرید تدریجی به گونه‌ای است که در اجراهای مختلف بر اساس پارامترهای متفاوت، نتایج متفاوتی نیز تولید می‌گردد. در روش اختصاص چندهدفه زمین تنها یک خروجی مشخص و ثابت تولید می‌شود. از این‌رو، شبیه‌سازی تبرید تدریجی همواره به‌عنوان روشی که راه حل نزدیک به حالت بهینه را ایجاد می‌نماید مطرح می‌گردد و در

در مقایسه، روش اختصاص چندهدفه زمین نسبت به روش شبیه‌سازی تبرید تدریجی مناطقی را برای هر کاربری انتخاب نموده که دارای مطلوبیت بالاتری برای آن کاربری (غیر از یک کاربری) بوده‌اند. لذا، رویه اختصاص چندهدفه زمین در این مطالعه دارای قابلیت بهتری است، اما در کنار تعیین موقعیت مناطق برای هر کاربری، باید شکل و ساختار مکانی کاربری‌ها را نیز مدنظر قرار داد. در فعالیت‌های مدیریتی، مدیریت مناطق منسجم‌تر همواره آسان‌تر و کم هزینه‌تر از مناطق پراکنده است. روش شبیه‌سازی تبرید تدریجی دارای این قابلیت است که می‌توان پارامترهای صریحاً مرتبط با یکپارچگی و ارتباط بین

شکلی استفاده نمود. در این میان نباید پیچیده شدن بیشتر مراحل کار و از بین رفتن بخشی از اطلاعات را نادیده گرفت. به نظر می‌رسد افزودن پارامترهای مرتبط با شکل در روش اختصاص چندهدفه زمین با انجام تحلیل به صورت آزمون و خطا و به شکل غیرمستقیم میسر است که باید در پژوهش‌های بعدی به آن پرداخت.

آخر این نکته را نیز باید در نظر داشت که شبیه‌سازی تبرید تدریجی برای حل مسائل مربوط به بهینه‌سازی همواره زمان بیشتری را نسبت به روش اختصاص چندهدفه زمین می‌طلبد. اگرچه، روش اختصاص چندهدفه زمین به پارامترهای یکپارچگی و ساختارهای شکلی توجهی ندارد، اما این به معنای عدم امکان استفاده از این پارامترها همراه با مدل اختصاص چندهدفه زمین نیست، بلکه می‌توان از نتایج اختصاص چندهدفه زمین در مراحل بعد برای بررسی بیشتر پارامترهای

### منابع مورد استفاده

۱. سلمان ماهینی، ع. ح. فضلی، ر. دریانبرد، ح. کامیاب، ف. فندرسکی، ل. داور، ح. آذرم دل، الف. مهری، و. خیرآبادی، م. ممشلی و م. جهانشاهی. ۱۳۹۰. پهنه‌بندی و تعیین درجه حساسیت اکولوژیکی نواحی ساحلی. سازمان حفاظت محیط زیست، آدازه کل محیط زیست استان گلستان. ۲۳۱ ص.
۲. مهری، الف. ۱۳۹۱. اولویت‌بندی مناطق مناسب حفاظت با استفاده از هوش مصنوعی (مطالعه موردی: استان مازندران). پایان نامه کارشناسی ارشد محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۱۹۹ ص.
۳. مومنی، الف. ۱۳۹۰. انتخاب سیستماتیک لکه‌های حفاظتی استان گلستان با استفاده از الگوریتم مذاب سازی شبیه‌سازی شده. پایان نامه کارشناسی ارشد محیط زیست، دانشگاه تهران. ۱۴۰ ص.
۴. یقینی، م. و م. ر. اخوان کاظم زاده. ۱۳۹۰. الگوریتم‌های بهینه‌سازی فراابتکاری. انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر. ۳۹۵ ص.

5. Aerts, J. C. J. H. and G. B. M. Heuvelink. 2002. Using simulated annealing for resource allocation. *International Journal of Geographical Information Science* 16 (6): 571-587.
6. Bojórquez-Tapia, L. A., E. Ongay-Delhumeau and E. Ezcurra. 1994. Multivariate approach for suitability assessment & environmental conflict resolution. *Environmental Management* 14:187-198.
7. Boston, K. and P. Bettinger. 1999. An analysis of Monte Carlo integer programming, simulated annealing & tabu search heuristics for solving spatial harvest scheduling problems. *Forest Science* 45(2): 292- 301.
8. Carver, S. J. 1991. Integrating multi-criteria evaluation with geographical information systems. *International Journal of Geographical Information Science* 5(3):321-339.
9. Cerny, V. 1985. A thermo dynamical approach to the traveling salesman problem: An efficient simulation algorithm. *Journal of Optimization Theory & Applications* 45: 41-51.
10. Diamond, T. J. and J. R. Wright. 1989. Efficient land allocation. *Journal of Urban Planning and Development* 115(2): 81-96.
11. Eastman, J. R., P. A. K. Kyem., J. Toledano and W. Jin. 1993. Explorations in Geographical Information Systems Technology, Vol. 4, GIS and Decision Making. Geneva: United Nations Institute for Training and Research.
12. Kirkpatrick, S., C. D. Gelatt and M. P. Vecchi. 1983. Optimization by simulated annealing. *Science* 220: 671-680.
13. Marti´ nez-Falero, E., I. Trueba, A. Cazorla and J. L. Alier. 1998. Optimization of spatial allocation of agricultural activities. *Journal of Agricultural Engineering Research* 69 (1): 1-13.
14. McGarigal, K., and B. J. Marks. 1995. FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. PNW-351.
15. Pereira, J. M. C. and L. Duckstein. 1993. A multiple criteria decision-making approach to GIS-based land suitability evaluation. *International Journal of Geographical Information Systems* 7: 407-424.
16. Pirlot, M. 1996. General local search methods. *European Journal of Operational Research* 92: 493-511.

17. Sante-Riveira, I., M. Boullon-Magan, R. Crecente-Maseda and D. Miranda-Barro. 2008. Algorithm based on simulated annealing for land-use allocation. *Computers & Geosciences* 34: 259-268
18. Sharma, S. K. and B. G. Lees. 2004. A comparison of simulated annealing and GIS based MOLA for solving the problem of multi-objective land use assessment and allocation. MCDM. Whistler, B. C. Canada, August 6-11.
19. Sundermann, E. 1996. PET image reconstruction using simulated annealing. <http://petaxp.rug.ac.be/~erik/reserch/welcome.html>. site visited on 13.09.2002.
20. Van Laarhoven, P. J. M. and E. H. L. Aarts. 1987. Simulated Annealing: Theory and Applications. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland.
21. Voogd, H. 1983. Multi criteria evaluation for urban & regional planning. Pion Limited, London.
22. Voudouris, C. 1997. "Guided local search for combinatorial optimization problems" PhD Thesis, Department of Computer Science, The University of Essex, UK.