فصلنامه انسان و محیط زیست، شماره ۴۰، بهار۹۶

مروری بر مدل‌های آمایش سرزمین

آزاده مهری [۱*]

Az.mehri@yahoo.com

عبدالرسول سلمان‌ماهینی [۲]

چکیده

امروزه، به دلیل وجود بحران‌های محیط‌زیستی حاصل از استفاده غیر منطقی و تبدیل زمین، نیاز به ارزیابی توان بوم‌شناختی و آمایش کاربری‌ها در سرزمین قبل از اجرای توسعه، بیش از پیش ضروری گردیده است. روش‌های متفاوتی در جهان برای ارزیابی و آمایش سرزمین استفاده می‌شوند. در این مقاله مدل‌های مختلف آمایش سرزمین مورد بررسی قرار گرفته‌اند و انواع روش‌ها با اهداف، کاربردها و کاربری‌های مختلف شناسایی شده‌اند. در این خصوص به مرور مدل‌های آمایش سرزمین و تحلیل و ارزیابی ویژگی‌های اصلی آن‌ها را پرداخته شده است. مدل‌های آمایش سرزمین در پنج گروه شامل سامانه‌های خبره، ارزیابی چندمعیاره، برنامه‌ریزی ریاضی، روش‌های ترکیبی و مدل‌های شبیه سازی مکانی قابل بررسی هستند. هر کدام از این گروه‌ها دارای زیرگروه‌هایی شامل انواع مدل‌های آمایش سرزمین مختلف هستند. مدل‌های مورد بررسی در سامانه‌های پشتیبان تصمیم‌گیری نیز استفاده می شوند که اغلب آن‌ها وابسته به GIS هستند. هدف این مقاله تحلیل مدل‌ها و روش‌های مختلف آمایش سرزمین برای ارایه یک مرور کلی ساختاریافته است و نتایج آن امکان انتخاب روش ویژه هر مسأله کاربردی را تسهیل می‌نماید.

کلمات کلیدی: آمایش سرزمین، سامانه‌های خبره، ارزیابی چندمعیاره، برنامه‌ریزی ریاضی، مدل‌های شبیه‌سازی مکانی.

۱- دانشجوی دکتری آمایش محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گلستان، ایران *(مسوول مکاتبات)

۲- دانشیار گروه محیط‌زیست، دانشکده شیلات و محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گلستان، ایران.

مقدمه

انسان امروزه با انبوهی از مشکلات محیط‌زیستی روبرو است. تبدیل زمین، فرسایش، کویرزایی، جنگل‌زدایی و آلودگی زمین-ها که سلامت منابع طبیعی جهان را به مخاطره انداخته‌اند، در بیش‌تر موارد به واسطه استفاده غیر منطقی از زمین روی می-دهند. تبدیل زمین از یک نوع استفاده به استفاده دیگر، میزان فرسایش را تا ۱۰۰۰ برابر روی کره زمین بالا برده است. مشکلات محیط‌زیستی فراوان گویای این واقعیت است که محیط‌زیست طبیعی توان بوم‌شناختی معینی برای استفاده انسان از آن دارد. بنابراین، برای انجام توسعه در محیط‌زیست، پیش از هرکار باید به ارزیابی توان بوم‌شناختی آن در چارچوب یک برنامه‌ریزی منطقه‌ای پرداخت. به طور کلی، آمایش سرزمین عبارت است از: تنظیم رابطه انسان، سرزمین و فعالیت-های انسان در سرزمین به منظور بهره‌برداری درخور و پایدار از جمیع امکانات انسانی و فضایی سرزمین در جهت بهبود وضعیت مادی و معنوی اجتماع در طول زمان (۱).

FAO (1976) ده نکته به عنوان مراحل اصلی فرآیند آمایش سرزمین ارایه نموده است. این مراحل عبارتند از (۲): ۱. تشخیص نیاز به تغییر، ۲. شناسایی اهداف، ۳. تدوین طرح، شامل گزینه‌های جایگزین کاربری سرزمین و شناسایی نیازهای اصلی آن‌ها، ۴. شناسایی و توصیف انواع مختلف سرزمین موجود در منطقه، ۵. مقایسه و ارزیابی هریک از انواع سرزمین برای کاربری‌های مختلف، ۶. انتخاب کاربری ارجح برای هر نوع سرزمین، ۷. طراحی پروژه یا سایر تحلیل‌های جزئی مجموعه گزینه‌های منتخب برای بخش‌های مجزای منطقه. در موارد خاص، این مرحله ممکن است به شکل یک مطالعه امکان‌سنجی باشد، ۸. تصمیم به اجرا، ۹. اجرا، ۱۰. بازبینی عملکرد.

ارزیابی سرزمین[1] نقش اصلی در مراحل سوم، چهارم و پنجم فرآیند آمایش سرزمین دارد و اطلاعات را برای بخش‌های بعدی مهیا می‌کند. بنابراین ارزیابی سرزمین به دنبال شناسایی نیاز به برخی تغییرات در کاربری سرزمین ظاهر می‌شود و به دنبال آن شناسایی اهداف تغییرات پیشنهاد شده و تدوین طرح‌های عمومی و ویژه مطرح می‌شوند. فرآیند ارزیابی شامل توصیف انواع مختلف کاربری‌های محتمل و ارزیابی و مقایسه آن‌ها با توجه به انواع مختلف سرزمین شناسایی شده در منطقه می-شود. این خود منجر به توصیه‌هایی در مورد یک یا تعداد کمی از کاربری‌های ارایه شده می‌شود. این توصیه‌ها می‌توانند در تصمیم‌گیری کاربری ارجح برای هر بخش مجزای منطقه استفاده شوند. مراحل نهایی به طور معمول جزییات بیش‌تری را در مورد کاربری‌های ارجح شامل می‌شوند و به دنبال آن‌ها اجرای طرح‌های توسعه و سایر تغییرات و بازبینی نتایج قرار دارند (۲). همان‌گونه که ذکر شد، ارزیابی سرزمین مراحل سوم، چهارم و پنجم فرآیند آمایش را شامل می‌شود، در حالی که مرحله ششم این چارچوب در ارتباط با تخصیص کاربری سرزمین[2] است (۳).

در مقاله حاضر، روش‌های مورد استفاده در تخصیص کاربری سرزمین به تفصیل مورد بحث قرار گرفته است. البته، روش‌های مورد استفاده تا حدی به هر دو مرحله ارزیابی و تخصیص کاربری‌ها مرتبط می‌شوند. در بسیاری از موارد هم‌پوشانی و وابستگی بین هر دو مرحله وجود دارد (۳). اساس این پژوهش بر اساس مقاله ارایه شده توسط Riveria & Maseda در سال ۲۰۰۶ است. و مولفان آن از پژوهش‌گران برجسته اسپانیا هستند و از پیشینه مناسبی در ارزیابی و آمایش سرزمین برخوردارند. ایشان بررسی نسبتا جامعی تا زمان انتشار مقاله در موضوع ارزیابی و آمایش سرزمین نموده‌اند. از این‌رو، محتوای این مقاله بسیار غنی است و شاید به دلیل شباهت نسبی رهیافت‌ها و موقعیت‌ها با ایران، خواندن مقاله برای کارشناسان و دانشجویان و استادان ایران سودمند و ملموس باشد. گردآوری، تحلیل و مقایسه مدل‌های مختلف منجر به ارایه مجموعه نتایجی برای توسعه و اجرای برنامه‌های راهبردی برای

1 - Land evaluation

2 - Land use allocation

کاربری سرزمین خواهد شد. به دلیل این‌که GIS یک ابزار ضروری در آمایش سرزمین است، به مدل‌ها و روش‌های یکپارچه شده با GIS توجه بیش‌تری شده است.

۱. مدل‌های تخصیص کاربری سرزمین

مدل‌های آمایش سرزمین که در این پژوهش بررسی شده‌اند سامانه‌های پشتیبان تصمیم‌گیری (DSSs[1]) را تشکیل می‌دهند. این سامانه‌های پشتیبان تصمیم‌گیری معمولا کم و بیش وابسته به GIS هستند و از یک سامانه خبره یا یک مدل ریاضی به عنوان ابزار پشتیبان تصمیم‌گیری استفاده می‌کنند (۳).

۱-۱- سامانه‌های خبره[2]

سامانه‌های خبره برنامه‌های کامپیوتری هستند که نحوه تفکر یک متخصص در یک زمینه خاص را شبیه‌سازی می‌کنند. این نرم‌افزارها، الگوهای منطقی که یک متخصص بر اساس آن‌ها تصمیم‌گیری می‌کند را شناسایی کرده و سپس بر اساس آن الگوها مانند انسان‌ها تصمیم‌گیری می‌کنند. سامانه‌های خبره نوع خاصی از برنامه‌های هوش مصنوعی هستند که می‌توانند به جای یک متخصص در یک زمینه مشخص تصمیم‌گیری کنند. این سامانه‌ها دارای پایگاه داده انباشته از اطلاعات هستند که انسان‌ها هنگام تصمیم‌گیری درباره یک موضوع خاص بر اساس آن‌ها تصمیم می‌گیرند. به فرآیند ساخت یک سامانه خبره مهندسی دانش گفته می‌شود. ایجاد یک سامانه خبره، فرآیندی تکراری است و مراحل مختلف آن در طی پروژه تکرار می‌شود، یعنی طراح قسمتی از سامانه را می‌سازد و آزمون می‌کند و سپس دوباره سامانه را بهبود می‌بخشد. برای پیاده‌سازی سامانه‌های خبره نیاز به امکاناتی از قبیل ابزار، زبان و پوسته[3] است. ابزار محیط برنامه‌نویسی است که علاوه بر قابلیت‌های یک محیط برنامه‌نویسی وظایف دیگری نظیر مدیریت فایل‌ها، نمایش گرافیکی و تبدیل کدها به زبان دیگر را فراهم می‌کند. زبان امکانات لازم برای کدنویسی را فراهم می‌کند. برای مثال زبان‌هایی مانند Lisp، Prolog و C برای ایجاد سامانه خبره استفاده می‌شوند. پوسته معمولا به سامانه خبره فاقد دانش اشاره دارد و کاربر برای ایجاد سامانه خبره فقط باید پایگاه دانش آن را تکمیل نماید (۴).

بسیاری از سامانه‌های خبره برای حل مسایل مکانی از قبیل مدیریت منابع، آمایش منطقه‌ای (۵)، تحلیل تناسب سرزمین (۶)، یا تخصیص کاربری سرزمین توسعه داده شده‌اند. Yialouris et al.در سال ۱۹۹۹ توسعه یک سامانه خبره اطلاعات جغرافیایی را توصیف کردند که تناسب را برای محصولات چندگانه ارزیابی و محصول بهینه را برای هر واحد سرزمین انتخاب می‌کند (۳). کاربردهای سامانه خبره به طور موفقیت آمیزی بر تخصص انسان در ارزیابی منابع طبیعی متمرکز شده‌اند. فرآیندهای ارزیابی سرزمین در یک پایگاه دانش ذخیره می‌شوند و توسط سامانه خبره استفاده می‌شوند. در این خصوص، GIS برای پردازش و نمایش داده‌های مکانی استفاده می‌شود. سامانه اطلاعات جغرافیایی خبره یک سامانه کم هزینه اما قدرتمند برای ارزیابی سرزمین است. به این دلیل که نیازهای هریک از محصولات در پایگاه دانش مجزایی ذخیره شده است، کاربرد این سامانه برای تولید نتایج جدید به سهولت و بدون نیاز به اصلاح نرم‌افزار امکان‌پذیر است. ترکیب این سامانه با روش‌های تحلیل اقتصادی و اثرات محیط‌زیستی ابزار مفیدی را برای آمایش سرزمین فراهم خواهد کرد (۷).

یکی دیگر از کاربردهای متداول سامانه‌های خبره انتخاب بهترین مکان برای تاسیسات مختلف (مسایل مکان‌یابی-تخصیص[4]) است (۸). در پژوهشی دیگر، ILUDSS[5] توسط Zhu et al. در سال ۱۹۹۶طراحی شد که امکان تهیه یک مدل ویژه، ارزیابی آن و به دست آوردن نقشه تناسب برای هر کاربری را برای برنامه‌ریزان فراهم می‌کند. ILUDSS یک سیستم پشتیبان تصمیم مکانی مبتنی بر دانش برای آمایش سرزمین راهبردی است. این سامانه روش‌های مبتنی بر دانش را در طراحی تعمیم می‌دهد و قابلیت‌های مدل‌سازی تحلیلی، مبتنی بر قوانین و وضعیت را ترکیب می‌کند. مهم‌ترین توابع ILUDSS پرسش‌گری، فرمول‌نویسی مدل‌های کاربری

1 - Decision Support Systems
2 - Expert system
3 - Shell
4 - Location-allocation problems
5 - Islay Land Use Decision Support System

سرزمین برای ارزیابی توان بالقوه کاربری، و ارزیابی مدل‌های کاربری سرزمین از طریق ترکیب خودکار پایگاه داده، پایگاه قوانین و انواع مختلف مدل‌ها است (۹).

۱-۲- مدل‌های ریاضی

مدل‌های ریاضی اغلب در سامانه‌های تخصیص کاربری سرزمین مرتبط با روش‌های ارزیابی چند معیاره، برنامه‌ریزی ریاضی یا مدل‌های شبیه‌سازی مکانی استفاده می‌شوند (۳).

۱-۲-۱- ارزیابی چندمعیاره[1]

Voogd در سال ۱۹۸۳ (۱۰) کاربردهای متفاوت ارزیابی چندمعیاره برای آمایش منطقه‌ای را ارایه کرد. روش‌های مشابهی نیز توسط Jankowski در سال ۱۹۸۹ (۱۱) برای ارزیابی برنامه‌های مدیریت کاربری سرزمین پیشنهادی استفاده شده‌اند. در این پژوهش‌ها، تعداد واحدهای مکانی ارزیابی شده محدود هستند (۳). بررسی اجمالی متون موجود اثبات می‌نماید که در اغلب آن‌ها برای فرآیندهای آمایش حداقل سه ویژگی مهم پیشنهاد شده است: ۱. انعطاف پذیر باشند ۲. با ویژگی‌های عرصه‌های سیاسی مطابقت داشته باشند ۳. توانایی یکپارچه کردن راهکاری‌های پژوهشی را داشته باشند. روش‌های آمایش باید (۱۰):

۱) با آگاهی از راه‌حل‌های مسایل آمایش توسعه پیدا کنند.

۲) توانایی مدیریت تغییرات شرایط را به روشی سریع و کافی داشته باشند.

۳) نتایج قابل بررسی و تفسیر ارایه نمایند.

۴) براساس اصولی باشند که به راحتی قابل توصیف هستند.

۵) کاربرد آن‌ها از نظر نیروی انسانی و مالی ارزان باشد.

۶) قادر به ایجاد ارزش‌ها و قواعد صریح و روشن باشد که نتایج بر اساس آن قرار داده خواهند شد.

با نگاهی به فعالیت‌های آمایشی (تا سال ۱۹۸۳) می‌توان نتیجه گرفت این قوانین همیشه رعایت نمی‌شدند. به ویژه قوانین دوم و ششم اغلب نقض می‌شدند که دلیلی بود تا این فرض به وجود آید که روش‌های آمایشی دچار کمبود هستند. این فرض باعث شکل‌گیری انگیزه توجه به امکان ارزیابی چندمعیاره در آمایش شهری و منطقه‌ای شد. یکی از ویژگی‌های شاخص روش‌های ارزیابی چندمعیاره این است که آن‌ها از تعدادی معیار که به‌طور صریح فرمول بندی شده‌اند، آغاز می‌شوند. معیارها می‌توانند تفاوت‌های متقابل قابل توجه در طبیعت را نشان دهند. در نتیجه، معیارها در یک واحد مجزا اندازه‌گیری نمی‌شوند، بلکه دارای تنوعی از واحدها هستند که به خوبی طبیعت معیارهای مورد نظر را نشان می‌دهند. یکی دیگر از ویژگی‌های مهم روش‌های ارزیابی چندمعیاره توانایی توجه صریح به اولویت‌های سیاسی است. این ویژگی باعث می‌شود این روش‌ها به طور مناسب دیدگاه‌های متفاوت سیاسی را در ارزیابی ترکیب کنند (۱۰). به هرحال، آمایش سرزمین نیازمند توجه ویژه به مولفه‌های مکانی داده‌ها، همراه با تحلیل اهداف و معیارهای چندگانه است. ترکیب کاربرد روش‌های ارزیابی چندمعیاره و GIS به طور فراوان جهت دست‌یابی به نقشه‌های تناسب سرزمین یا انتخاب مکان‌هایی برای یک فعالیت خاص صورت گرفته است (۳).

نرم‌افزار ایدریسی ابزارهای ارزیابی چندمعیاره را برای دست‌یابی به نقشه‌های تناسب فراهم می‌کند. یکی از ابزارهای مهم در این رابطه، رویه MCE است. مراحل اجرای ارزیابی چندمعیاره توسط این رویه در دو گام اصلی شناسایی و توسعه معیارها و ادغام معیارها انجام می‌شود. شناسایی و توسعه معیارها اولین مرحله در فرآیند ارزیابی چند معیاره است. معیارها شامل دو دسته محدودیت و فاکتور هستند. محدودیت‌ها شامل آن دسته از معیارهای بولین هستند که تحلیل را برای مناطق خاص جغرافیایی محدود می‌کنند و به صورت لایه‌های بولین تهیه می‌شوند. فاکتورها شامل معیارهای فازی هستند که درجات مطلوبیت را برای تمام منطقه تعریف می‌کنند و آن را به صورت اعداد پیوسته نشان می‌دهند. مرحله بعد در روش ارزیابی چند معیاره ادغام لایه‌ها است. ادغام لایه‌ها به روش‌های مختلفی صورت می‌گیرد. مهم‌ترین آن‌ها که در رویه MCE ارایه شده‌اند، عبارتند از رویکرد بولین[2]، ترکیب خطی وزن‌دار[3]، میانگین‌گیری وزن‌دار ترتیبی[4]. در رویکرد بولین تمام معیارها

1 - Multi-Criteria Evaluation

2 - Boolean Intersection

3 - WLC- Weighted Linear Combination

4 - OWA- Order Weighted Average

(محدودیت‌ها و فاکتورها) به ارزش‌های بولین (صفر و یک) تبدیل می‌شوند و روش ترکیب آن‌ها اشتراک بولین (ضرب معیارها) است. در روش ترکیب خطی وزن‌دار معیارها در یک محدوده عددی پیوسته استاندارد می‌شوند و سپس بر اساس میانگین‌گیری وزنی ترکیب می‌شوند. در ابتدا فاکتورها بر اساس وزنی که با آن‌ها داده می‌شود با هم جمع می‌شوند. سپس، لایه به دست آمده در لایه‌های محدودیت ضرب می‌شود و یک لایه فازی که نشان‌دهنده مطلوبیت کل منطقه است به دست می‌آید. روش میانگین‌گیری وزن‌دار ترتیبی همانند روش قبل عمل می‌کند، اما مجموعه‌ای دیگر از وزن‌ها به نام وزن‌های ترتیبی را برای فاکتورها استفاده می‌کند. وزن‌های ترتیبی امکان کنترل میزان ریسک و جبران را در فرآیند ارزیابی فراهم می‌کند (۱۳). روش‌های ارزیابی چندمعیاره بر اساس تحلیل نقطه ایده‌آل، به کثرت در GIS ادغام شده‌اند. در ادامه به تعدادی از این روش‌ها اشاره شده است.

۱-۲-۱-۱- برنامه‌ریزی سازشی[1]

برنامه‌ریزی سازشی فنی مناسب برای استفاده در مفاهیم چندهدفه پیوسته است و برای تحلیل مسایل گسسته نیز اصلاح گردیده است. این روش گزینه‌هایی را که نزدیک‌تر به نقطه ایده‌آل هستند شناسایی می‌کند. برنامه‌ریزی سازشی برای ارزیابی کیفیت زیستگاه سنجاب قرمز[2] توسط Pereira & Duckstein در سال ۱۹۹۳ (۱۴) استفاده شد. در این پژوهش، نتایج مدل‌های چندمعیاره حاصل از برنامه‌ریزی سازشی با توجه به درک کارشناسان از تناسب زیستگاه سنجاب قرمز، با داده‌های واقعی استفاده از زیستگاه مقایسه شد. نتایج این پژوهش توافق کلی خوبی بین طبقه‌بندی تناسب زیستگاه با استفاده از برنامه‌ریزی سازشی و الگوهای مشاهده شده استفاده زیستگاه توسط سنجاب را نشان داد و قدرت پیش‌بینی مدل خوب ارزیابی شد (۱۴). Vatalis & Manoliadis در سال ۲۰۰۲ (۱۵) یک نوع متفاوت از این روش را استفاده کردند که در آن سطوح وزن‌دهی ثانویه معرفی شد (۳). آن‌ها از این روش برای انتخاب بهترین مکان برای دفن پسماند استفاده کردند. در این پژوهش یک روش دو مرحله‌ای ارزیابی چند معیاره ارایه شده است. در مرحله اول به منظور دست‌یابی به مکان‌های مناسب از روش هم‌پوشانی لایه‌های رقومی استفاده شد. در مرحله دوم، کیفیت شاخص-های منتخب که کارایی اقتصادی را نشان می‌دهند، معیارهای اقتصاد فنی و محیط‌زیستی برای شناسایی ارجح‌ترین گزینه‌ها در میان مکان‌های پیشنهاد شده در مرحله اول، استفاده شدند (۱۵).

۱-۲-۱-۲- روش TOPSIS[3]

روش رتبه بندی بر اساس تشابه به راه حل ایده آل یا همان TOPSIS یکی از روش‌های ارزیابی چند معیاره است که توسط هوانگ و یون در سال ۱۹۸۱ ایجاد شد. روش TOPSIS براساس این مفهوم ایجاد شده است، که در آن گزینه‌هایی مناسب‌اند و اولویت بالاتری دارند که حداقل فاصله را نسبت به راه حل ایده آل مثبت و دورترین فاصله را نسبت به را ه حل ایده آل منفی داشته باشند. معمولاً این روش را می‌توان برای وضعیت‌های گسسته که تعداد گزینه‌ها محدود و مشخص‌اند به کار برد (۱۶).

روش TOPSIS توسط Malczewski در سال ۱۹۹۶ (۱۷) در GIS برای مکان‌یابی تاسیسات خطرناک، مانند کارخانه‌های مواد شیمیایی و راکتورهای هسته‌ای اجرا شد. انواع مسایل تصمیم‌گیری مکانی شامل مجموعه بزرگی از گزینه‌های ممکن و معیارهای چندگانه و ناسازگار هستند. این گزینه‌ها اغلب توسط افراد زیادی از تصمیم‌گیران و گروه‌های ذینفع مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. موضوع مورد بحث در این موارد رسیدن به یک توافق جمعی در بین گروه‌های مختلف است. در این پژوهش یک روش بر پایه GIS برای تصمیم‌گیری گروهی تحت معیارهای چندگانه ارایه شده است. در این روش از طریق GIS به ترکیب روش‌های TOPSIS و قانون انتخاب Borda پرداخته شده است. روش TOPSIS برای برای رتبه-بندی گزینه‌ها بر اساس ترجیح هر فرد استفاده شده است و روش Borda ارجحیت‌های فردی را برای رسیدن به یک

1 - Compromise programming
2 - Mount Graham red squirrel
3 - Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution

ارجحیت گروهی و یک رتبه‌بندی توافقی ترکیب می‌کند. این روش در نرم‌افزار IDRISI اجرا شده است (۱۷).

۱-۲-۱-۳- تحلیل نقطه ایده‌آل، بهینه‌سازی سلسله مراتبی، تحلیل شباهت

Carver در سال ۱۹۹۱ (۱۸) تحلیل شباهت- عدم شباهت (CDA)[1] و بهینه‌سازی سلسله مراتبی (HO)[2] را علاوه بر تحلیل نقطه ایده‌آل برای ارزیابی تعداد زیادی از گزینه‌ها در محیط GIS انجام داد. تحلیل شباهت- عدم شباهت (CDA) یکی از روش‌های MCE است که به طور وسیعی مورد استفاده قرار گرفته و بر اساس مقایسه زوجی گزینه‌ها است. در این روش درجه‌ای که گزینه‌ها و وزن‌دهی‌های معیارها رابطه برتربودن[3] بین گزینه‌ها را تایید یا رد می‌کنند، اندازه-گیری می‌شود. تفاوت‌های وزن معیارها و امتیازات معیارها به طور مجزا توسط روش شباهت و عدم شباهت تحلیل می‌شوند. مدل‌های بهینه‌سازی سلسله مراتبی (HO) تلاش می‌کنند تمام معیارها را بر اساس اولویت‌های نسبی آن‌ها رتبه‌بندی کنند. بهینه‌سازی به صورت گام به گام انجام می‌شود (۱۸). Carver از ترکیب روش‌های تحلیل شباهت- عدم شباهت و بهینه‌سازی سلسله مراتبی و تحلیل نقطه ایده‌آل در محیط GIS، برای ارزیابی و شناسایی مکان‌های مناسب برای دفن زباله‌های رادیواکتیو استفاده کرد. به این منظور، روش‌های MCE برنامه‌نویسی شدند و در محیط Arc/Info اجرا شدند. الگوریتم‌ها شده در FORTRAN 77 برنامه نویسی شدند. بیش‌تر سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی به کاربر این امکان را می‌دهند تا برنامه‌های ماکرو را برای اتصال به توابع موجود بنویسند (Carver, 1991). تحلیل شباهت در GIS متعاقبا توسط Jankowski & Richard در سال ۱۹۹۴ (۱۹) توسعه داده شد (۳).

۱-۲-۱-۴- فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP[4])

روش دیگر ارزیابی چند معیاره که به طور فراوان برای اجرای تحلیل‌های تناسب سرزمین با GIS ادغام شده است، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یا AHP است (۲۰، ۸). این روش نخستین بار توسط توماس ال ساعتی در سال ۱۹۸۰ مطرح شد. این فن بر اساس مقایسه‌های زوجی بنا شده است و امکان بررسی سناریوهای مختلف را به مدیران می‌دهد. این روش امکان فرمول‌نویسی مسأله را به صورت سلسله مراتبی فراهم می‌کند و همچنین امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی را در مسأله دارد. این فرآیند گزینه‌های مختلف را در تصمیم‌گیری دخالت داده و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیرمعیارها را دارد. علاوه بر این، بر مبنای مقایسات زوجی بنا نهاده شده که قضاوت و محاسبات را تسهیل می‌نماید. همچنین، میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم را نشان می‌دهد که از مزایای ممتاز این تکنیک در تصمیم‌گیری چندمعیاره است (۲۱).

روش AHP می‌تواند برای تولید وزن‌های اختصاص داده شده به معیارهای تناسب سرزمین (۲۲) یا برای نقشه‌های تناسب در محاسبه یک امتیاز تناسب مرکب (۲۳) استفاده شود (۳). Weerakoon از روش AHP برای وزن‌دهی معیارها و تعیین تناسب منطقه برای حفاظت و توسعه بر اساس کاربری فعلی سرزمین استفاده کرد. به این منظور، ماتریس زوجی طبقات کاربری سرزمین تشکیل شد. این ماتریس برای فعالیت‌های توسعه و حفاظت به طور جداگانه تکمیل شد و وزن نهایی طبقات کاربری برای اجرای فعالیت‌های توسعه و حفاظت محاسبه گردید (۲۲).

۱-۲-۱-۵- اختصاص چندهدفه زمین[5] (MOLA)

روش‌های ارزیابی چندمعیاره برای تولید سناریوهای کاربری سرزمین چندگانه با انتخاب کاربری بهینه برای هر واحد سرزمین استفاده شده‌اند. در میان آن‌ها، بهینه‌سازی سلسله مراتبی (۱۸،۲۴) عبارت است از، تخصیص بیش‌ترین مساحت به کاربری با بیش‌ترین اولویت، مستثنی کردن آن از سایر کاربری‌های باقی مانده، و تکرار فرآیند تا زمانی که تمام منطقه اختصاص داده شود. زمانی که سلسله مراتب اهداف

1 - Concordance-Discordance Analysis
2 - Hierarchical Optimization
3 - Outranking
4- Analytical Hierarchy process
5 - Multi-Objective Land Allocation

شناخته شده نیست، یک راه حل مناسب روش نقطه ایده‌آل برای اختصاص هر واحد مکانی به کاربری با بالاترین تناسب است (۲۴). Eastman et al. در سال ۱۹۹۵ (۱۲) یک روش اکتشافی را بر پایه مفهوم نقطه ایده‌آل پیشنهاد کردند و آن را در رویه MOLA، در نرم‌افزار ایدریسی اجرا کردند (۳).

رویه اختصاص چندهدفه زمین یا همان MOLA برای اجرای راه‌حل سازشی برای مسایل چندهدفه در نرم‌افزار ایدریسی توسعه داده شده است. راه‌حل‌های سازشی برای مسایل چندهدفه به طور متداول توسط ابزار برنامه‌نویسی ریاضی در خارج از GIS ارایه شده‌اند. راه‌حل‌های برنامه‌ریزی ریاضی (همانند برنامه‌ریزی خطی یا برنامه‌ریزی صحیح) در مسایلی که تعداد اندکی از گزینه‌ها وجود دارند می‌توانند به خوبی استفاده شوند. به هر حال، در GIS رستری حجم عظیم داده‌ها به طور معمول از قدرت محاسبه تجاوز می‌کند. در نتیجه، نیاز به یک راه‌حل برای مسایل تخصیص زمین چندهدفه تحت اهداف متضاد است، به طوری که داده‌های رستری عظیم توسط آن قابل مدیریت و همچنین به سهولت قابل درک باشند. روشی که توسط Eastman در سال ۲۰۱۲ (۲۵) ارایه شده است تعمیم تصمیم‌گیری اکتشافی استفاده شده برای تخصیص زمین با مسایل تک هدفه است. این رویه برای اجرا شدن نیازمند تعیین نام اهداف، وزن اهداف، نام تصویر رتبه‌بندی شده برای هر هدف و مساحت مورد نیاز برای هر هدف است. این رویه به طور مکرر نقشه تناسب رتبه‌بندی شده را برای اجرای اولین مرحله تخصیص طبقه‌بندی مجدد و تعارضات را بررسی می‌کند. سپس، تعارضات را بر اساس قانون حداقل فاصله تا نقطه ایده‌آل با استفاده از نقشه‌های رتبه‌بندی وزن‌دهی شده تخصیص می‌دهد (۲۵). نمونه‌هایی از کاربرد این روش برای تخصیص کاربری سرزمین چندگانه توسط Barredo در سال ۱۹۹۶ (۲۴)، van der Merwe درسال ۱۹۹۷ (۲۶) و Eastman et al. در سال ۱۹۹۸ (۲۷) ارایه شده است.

۱-۲-۲- برنامه‌ریزی ریاضی[1]

برنامه‌ریزی ریاضی، هنگامی که برای آمایش سرزمین استفاده می‌شود، در جستجوی چینشی از کاربری‌ها است که یک یا چند تابع هدف را در رابطه با مجموعه‌ای از محدودیت‌ها بهینه می‌کند (۳). در این بخش به تعدادی از روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی اشاره شده است.

۱-۲-۲-۱- برنامه‌ریزی خطی[2]

برنامه‌ریزی خطی یک روش ریاضی است که از اواخر ۱۹۵۰ در بسیاری از برنامه‌های طراحی و آمایش استفاده شده است. اگرچه کاربرد اصلی آن برای تجارت و مدیریت بوده است، اما به طور وسیعی در مسایل سامان‌دهی مکانی استفاده شده است. برنامه‌ریزی خطی یک روش مکانی نیست، زیرا توزیع مکانی متغیرهای تصمیم‌گیری را مورد توجه قرار نمی‌دهد. با این حال، اگر منطقه‌بندی از قبل صورت گرفته باشد، برنامه‌ریزی خطی می‌تواند برای مسایل مکانی نیز مناسب باشد (۲۸).

هدف اصلی برنامه‌ریزی خطی بهینه‌سازی (بیشینه یا کمینه کردن) یک تابع هدف با توجه به مجموعه‌ای از محدودیت‌ها است. توابع و محدودیت‌ها باید به صورت معادلات خطی فرمول‌نویسی شوند. هر برنامه‌ریزی خطی با تعریف متغیرهای تصمیم‌گیری به عنوان گزینه‌های مختلف مسأله شروع می‌شود. برای مثال، در آمایش سرزمین متغیرهای تصمیم‌گیری انواع مختلف کاربری‌های سرزمین هستند. پس از تعریف متغیرهای تصمیم‌گیری، اهداف سناریوهای آمایش سرزمین باید به روشنی بیان گردد. در میان اهداف، تنها یکی برای هدایت تجزیه و تحلیل باید انتخاب شود. تابع هدف توسط تعیین ضرایب متغیرهای تصمیم برای دست‌یابی به اهداف فرمول‌نویسی می‌شود. مسایلی که در آن‌ها دو متغیر تصمیم وجود دارد می‌توانند توسط روش‌های نموداری حل شوند. برای مسایل پیچیده‌تر، یک روش ریاضی مورد نیاز است. برنامه‌های کامپیوتری متعددی برای حل مسایل برنامه‌ریزی خطی وجود دارد. به منظور استفاده صحیح از این روش‌ها، فرضیات آن‌ها باید مورد توجه قرار گیرد. این فرضیات عبارتند از: ۱) تابع هدف و تمام محدودیت‌ها باید در دامنه هر فعالیت حتما خطی باشند، ۲) هر متغیر تصمیم‌گیری می‌تواند هر ارزش حقیقی، شامل اعداد صحیح یا کسری، را بگیرد، ۳) تمام فعالیت‌ها باید غیر منفی باشند،

1 - Mathematical programming

2 - Linear Programming (LP)

۴) تمام ارزش‌های سمت راست معادله (RHS) ثابت فرض می‌شوند. اگرچه، بسیاری از مسایل جهان واقعی این فرضیات را تایید نمی‌کنند، برنامه‌ریزی خطی به دلیل ارایه یک روش ترکیبی برای مسایل پیچیده، روش ارزشمندی است. این روش، همچنین انعطاف‌پذیر، مقرون به صرفه و به راحتی قابل درک است (۲۸).

مدل توسعه داده شده توسط Chuvieco مثالی از کاربرد برنامه‌ریزی خطی در آمایش سرزمین با هدف اصلی حداقل کردن بیکاری روستایی است، و در آن برای حداکثرسازی شغل با تغییر کاربری‌های تلاش می‌شود. این پژوهش برنامه‌ریزی خطی را به عنوان یک ابزار برای مدل‌سازی مکانی در GIS ارایه کرده است. برنامه‌ریزی خطی دست‌یابی به کاربری بهینه را ممکن می‌سازد (۲۸). مثال دیگر ترکیب کاربرد GIS و برنامه-ریزی خطی برای آمایش راهبردی کاربری کشاورزی توسط Campbell et al., در سال ۱۹۹۲ (۲۹) اجرا شده است. بر خلاف این دو مدل، روش‌هایی که در ادامه توصیف شده‌اند بیش‌تر از یک تابع هدف را مورد توجه قرار داده‌اند (۳).

۱-۲-۲-۲- برنامه‌ریزی آرمانی[1]

مسایل چندهدفه می‌توانند با استفاده از برنامه‌ریزی خطی حل شوند، به طوری که تنها یکی از اهداف، به عبارتی مهم‌ترین هدف، بهینه می‌شود و سایر اهداف در محدودیت‌ها مورد توجه قرار می‌گیرند. یکی از معایب این روش این است که انتخاب هدفی که باید بهینه شود گاهی اوقات سخت یا ذهنی است. برنامه‌ریزی چندهدفه[2] شکلی از حل این مشکلات را ارئه می-دهد که در آن راه‌حل بهینه مسأله برنامه‌ریزی خطی توسط مجموعه‌ای از راه‌حل‌ها جایگزین می‌شود که لزوما به مفهوم بهینه در برنامه‌ریزی خطی نیستند، اما راه‌حل‌های موثر هستند. یکی از روش‌های برنامه‌ریزی چندهدفه، برنامه‌ریزی آرمانی است. ویژگی‌ای که فرمول‌نویسی برنامه‌ریزی آرمانی را متمایز می‌کند این است که یک یا چند هدف مستقیما در تابع هدف دخالت داده می‌شوند. اهداف می‌توانند به طور کامل به دست آیند یا خیر، و برای اجازه دادن این انعطاف‌پذیری، متغیرهای انحراف استفاده شده‌اند که نشان می‌دهند که هدف چه مقدار توسط آن ارزش پیش‌تر افتاده یا دچار فقدان شده است. برنامه-ریزی آرمانی شکلی از رسیدن به اهداف را که به راه‌حل ایده‌آل هرچه نزدیک‌تر است جستجو می‌کند. هدف این روش حداقل کردن مجموع انحراف‌ها برای همه اهداف است (۳۰). Giupponi & Rosato در سال ۱۹۹۸ (۳۱) مدلی توسعه داد که در آن برنامه‌ریزی آرمانی برای دست‌یابی به سازگاری بین حداکثر بازده ناخالص و حداقل ریسک مورد انتظار برای یک برنامه کاربری سرزمین استفاده شد. یک مدل برنامه‌ریزی آرمانی نیز در .Oliveria et al در سال ۲۰۰۳ (۳۰) برای برنامه‌ریزی چندین کاربری جنگل توصیف شده است (۳).

۱-۲-۲-۳- برنامه‌ریزی تعاملی[3]

آمایش سرزمین اغلب نیازمند برنامه‌ریزی تعاملی و تبادل اطلاعات بین تصمیم‌گیران و سامانه است (۳۲). برنامه‌ریزی خطی چندهدفه تعاملی (IMGLP[4]) برای آمایش سرزمین (۳۳) و تحلیل سیاست‌های توسعه کشاورزی (۳۴) استفاده شده است (۳). .Suhaedi et al در سال ۲۰۰۲ (۳۵) برنامه‌ریزی خطی چندهدفه تعاملی و AHP را برای توسعه سناریوهای کاربری‌سرزمین بر پایه ۴ هدف در یک GIS ادغام کردند: حداکثرسازی تولید غذا، اشتغال و درآمد، و حداقل‌سازی فرسایش خاک. برنامه‌ریزی خطی چندهدفه تعاملی یک روش برنامه‌ریزی معمول برای تصمیم‌گیری چندهدفه بر اساس روش‌های برنامه‌ریزی خطی است و در تصمیم‌گیری‌های آمایش سرزمین در موقعیت‌هایی که اهداف چندگانه در تضاد با یکدیگر هستند، استفاده می‌شود. این روش فرآیند تحلیل اهداف چندگانه کمی را بر اساس ماتریس‌های ترکیب کننده نتایج تناسب سرزمین با اهداف توسعه متضاد برای ذینفعان تسهیل می‌کند، و اهمیت نسبی میان قوانین تصمیم را مقایسه می‌کند. بنابراین، بهترین سناریو مطابق ارجحیت تصمیم‌گیران انتخاب می‌شود (۳۵).

1 - Goal Programming
2 - Multiple-objective programming
3- Interactive programming
4 - Interactive Multiple Goal Linear Programming

یک روش مشابه، به نام ARBDS[1] توسط Fischer & Makowski در سال ۱۹۹۶ (۳۶) توسعه داده شده و در یک ابزار پشتیبان تصمیم‌گیری به نام AEZWIN اجرا شد (۳۷). این نرم‌افزار بر اساس چارچوب ارزیابی به روش پهنه‌بندی اکولوژی-زراعی توسط FAO و کمک موسسه بین‌المللی تحلیل سامانه‌ای کاربردی طراحی گردید. این نرم‌افزار مدلی است که برای تصمیم‌گیری و بهینه‌سازی استفاده از اراضی (کاربری سرمین) قابل استفاده است. مدل AEZWIN قادر است تولید بالقوه محصولات زراعی و همچنین توان تولیدات دامی را در یک مزرعه به کمک خصوصیات منابع اراضی شامل خصوصیات اقلیمی، خاک‌ها، توپوگرافی و شکل اراضی، تامین آب، انرژی و عناصر غذایی برآورد نماید و بهترین استفاده‌ها را برای واحدهای مورد مطالعه معرفی کند. یکی از مهم‌ترین قابلیت‌های این مدل این است که می‌تواند از تحلیل چندمعیاره استفاده کند، لذا نتایج آن برای تصمیم‌گیران اراضی کارایی بالایی دارد. از محاسن دیگر این نرم‌افزار آن است که در سیستم عامل ویندوز قابل اجرا است و همچنین خروجی‌های آن به صورت نقشه‌های مختلف قابل ارایه است. از نقشه‌های قابل استخراج توسط این نرم‌افزار نقشه‌های رقومی منابع اراضی، جمعیت منطقه، نقشه تناسب اراضی برای محصولات مختلف، نقشه خطر فرسایش و نقشه تناسب گونه-های جنگلی هستند (۳۸).

Fischer & Makowski در سال ۱۹۹۶ (۳۶) بهینه‌سازی چندهدفه را به همراه روش‌های تحلیل تصمیم چندمعیاره با استفاده از روش ARBDS برای تحلیل سناریوهای مختلف کاربری زمین، با توجه همزمان به اهداف چندگانه از قبیل حداکثر کردن درآمدهای حاصل از محصولات و تولیدات دامی و حداقل کردن هزینه تولید و خسارات محیط‌زیستی حاصل از فرسایش، استفاده کردند. فرآیند تعاملی دیگری توسط Lu et al. در سال ۲۰۰۴ (۳۹) برای ارزیابی راهبردهای مختلف کاربری سرزمین توسعه داده شد (۳).

۱-۲-۲-۴- برنامه‌ریزی عدد صحیح[2]

مدل‌های برنامه‌ریزی عدد صحیح خطی باعث می‌شود بتوان نتایج را به یک نقشه تخصیص کاربری سرزمین بهینه تبدیل نمود. Aerts et al. در سال ۲۰۰۳ (۴۰) از این روش برای حداقل کردن هزینه توسعه کاربری سرزمین و حداکثر کردن فشردگی مناطق و Diamond & Wright در سال‌های ۱۹۸۸ و ۱۹۸۹ (۶، ۴۱) از آن برای مکان‌یابی تسهیلات استفاده کردند (۳). مدل‌های بهینه‌سازی تخصیص کاربری‌ها به مدل-های تخصیص تک کاربری[3] و مدل‌های تخصیص چند کاربری[4] طبقه‌بندی می‌شود. هر دو مدل مجموعه‌ای از یک یا چند کاربری را در میان مجموعه‌ای از یک یا چند منطقه جغرافیایی به منظور حداکثر کردن تعدادی توابع مطلوبیت ضمنی یا صریح، اختصاص می‌دهند. این مدل‌ها در تعداد کاربری‌هایی که باید اختصاص داده شوند و در روشی که مناطق جغرافیایی تعریف می‌شوند متفاوت هستند. مدل‌های تخصیص چندکاربری، کاربری‌های چندگانه را در مجموعه‌ای از مناطق از پیش تعیین شده و بدون هم‌پوشانی اختصاص می‌دهند. مدل-های تخصیص تک کاربری، یک کاربری را به یک منطقه تخصیص می‌دهند. مرزهای منطقه، بر خلاف مدل چندکاربری، از قبل مشخص نیست، اما در طول یک فرآیند ترکیبی تعیین می‌شود (۴۱). Aerts et al. در سال ۲۰۰۳ (۴۰) از روش‌های بهینه‌سازی مکانی برای حل تخصیص کاربری چندمکانه[5]، برای تخصیص بهینه مکان‌های چندگانه کاربری‌های مختلف به یک منطقه، استفاده کردند. برای این منظور، از چهار مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح (IP) استفاده شده است که سه تای آن‌ها برنامه‌ریزی عدد صحیح خطی و یکی برنامه‌ریزی عدد صحیح غیرخطی هستند (۴۰). Diamond & Wright در سال ۱۹۸۹ (۴۱) از مدل‌های تخصیص تک کاربری چندهدفه استفاده کردند.

۱-۲-۳- روش‌های ترکیبی

برخی از مثال‌های جالب توجه آمایش سرزمین بر اساس ترکیب روش‌های ارزیابی چند معیاره و برنامه‌ریزی ریاضی توسط

1 - Aspiration-Reservation Based Decision Support
2 - Integer programming
3 - single land-use allocation models
4 - multiple land-use allocation models
5 - Multi-site land use allocation

Janssen & Rietveld در سال ۱۹۹۰ (۴۲) و Ridgley & Heil در سال ۱۹۹۸ (۴۳) ارایه شده است (۳). Janssen & Rietveld ترکیب GIS با امکانات دیگر مانند تحلیل چندمعیاره که هدف آن تحلیل شدت و طبیعت تضادها بین معیارهای سیاسی است، تولید گزینه‌های سازشی و رتبه‌بندی گزینه‌ها را مورد توجه قرار داده‌اند. بنابراین، اتصال GIS و تحلیل چندمعیاره تحلیل تضادهای خط مشی‌ها را در مفهوم مکانی امکان‌پذیر می‌کند. در این پژوهش، یک روش برنامه‌ریزی ریاضی برای تعیین ترکیب بهینه کاربری‌ها استفاده شده است (۴۲). Ridgley & Heil روشی را برای طراحی زون بافر اطراف مناطق حفاظت‌شده ارایه کرده‌اند. آن‌ها بهینه‌سازی چندهدفه را برای فرمول‌نویسی اهداف مدیران در رابطه با تغییر کاربری و همچنین برای پیش‌بینی نتایج بالقوه تغییر کاربری تحت سناریوهای مختلف اقتصادی اجتماعی استفاده نموده‌اند. سپس از برنامه‌ریزی آرمانی برای ساخت طرح‌های با حداقل تضاد استفاده شد که در نهایت به عنوان داده‌های ورودی GIS استفاده شدند تا به مدیران برای طراحی چینش مکانی کاربری‌ها کمک کنند (۴۳).

۱-۲-۴- مدل‌های شبیه‌سازی مکانی[1]

مدل‌های شبیه‌سازی مکانی می‌توانند انواع مختلفی از الگوریتم‌ها را برای تخصیص کاربری سرزمین استفاده کنند (۳). در ادامه به برخی از این الگوریتم‌ها پرداخته می‌شود.

۱-۲-۴-۱- الگوریتم‌های ژنتیک[2]

الگوریتم‌های ژنتیک یکی از اعضای خانواده مدل‌های محاسباتی الهام گرفته شده از روند تکامل است. محاسبات تکاملی به صورت انتزاعی از مفاهیم اساسی تکامل طبیعی در راستای جستجو برای یافتن راه‌حل بهینه برای مسایل مختلف الهام گرفته شده است. در الگوریتم‌های جستجو راه‌حل‌هایی برای مسأله وجود دارند و هدف یافتن بهترین راه‌حل در زمان معین است. الگوریتم‌های متداول جستجو از جمله الگوریتم‌های تصادفی و اکتشافی در هر گام زمانی فضای جستجو را به امید یافتن راه‌حل بهینه جستجو می‌کنند. کلیدی‌ترین جنبه‌ای که الگوریتم‌های تکاملی جستجو را از الگوریتم‌های معمول متمایز می‌سازد این است که الگوریتم‌های تکاملی جمعیت مبنا هستند. الگوریتم‌های تکاملی یک ساختار جمعیتی ایجاد کرده و بر اساس قوانینی مثل انتخاب، ترکیب و جهش آن‌ها را نمو می‌دهند. اندازه جمعیت در این الگوریتم ثابت است. یک الگوریتم تکاملی عموما جمعیت آغازین را به صورت تصادفی تعیین می‌کند. همچنین، تکامل میزان تناسب افراد را بر مبنای ارزش آن‌ها در محیط مورد نظر اندازه‌گیری می‌کند. عملیات انتخاب اغلب در دو مرحله انتخاب والدین و ماندگاری انجام می‌شود. در انتخاب والدین، الگوریتم والدین را تعیین کرده و معین می‌کند آن‌ها چند فرزند داشته باشند. فرزندان از طریق ترکیب یا همان انتقال اطلاعات بین دو والد و یا جهش خلق می‌شوند. سپس فرزندان دوباره ارزیابی می‌گردند و در نهایت در گام ماندگاری تعیین می‌شود که کدامیک از آن‌ها در جمعیت جدید باقی بمانند (۴۴).

الگوریتم‌های ژنتیک سرآمد روش‌های تکاملی هستند. الگوریتم‌های ژنتیک دارای کاربرد گسترده‌ای در زمینه‌های مختلف هستند. یک نمونه از این کاربردها مسایل بهینه‌سازی چندبعدی هستند که در آن‌ها پارامترهای متفاوتی که قرار است بهینه شوند در قالب رشته کروموزوم سازماندهی می‌شوند (کیا، ۱۳۹۱). اغلب کاربردهای این الگوریتم‌ها برای آمایش منطقه‌ای در زمینه مدل‌های مکان‌یابی- تخصیص توسعه یافته است. برای مثال، Matthews در سال ۲۰۰۱ (۴۵) دو الگوریتم ژنتیک را برای بهینه‌سازی کاربری سرزمین پیشنهاد کرد که در سیستم LADSS ترکیب شده بود (۴۶).

الگوریتم‌های ژنتیک به عنوان ابزاری برای آمایش سرزمین دارای مزایا و محدودیت‌هایی در مقایسه با سایر الگوریتم‌ها هستند. الگوریتم‌های ژنتیک به طور قابل توجهی در تسریع پیدا کردن راه‌حل‌های خوب برای مسایل بهینه‌سازی پیچیده عالی هستند. به این معنی، الگوریتم‌های ژنتیک در پیداکردن راه‌حل‌های نزدیک بهینه کارآمد هستند، اما رسیدن به راه‌حل بهینه را تضمین نمی‌کنند. برای پیداکردن راه‌حل‌های بهینه الگوریتم‌های ژنتیک با الگوریتم‌های جستجوی محلی، مانند الگوریتم

1 - Spatial simulation models
2 - Genetic Algorithems

تپه‌نوردی[1] برای تشکیل الگوریتم‌های ژنتیک هیبرید ترکیب شده‌اند. این الگوریتم‌های ژنتیک هیبرید از الگوریتم ژنتیک برای پیداکردن تیه‌ای با راه‌حل بهینه در قله آن استفاده می‌کنند و سپس از الگوریتم تپه‌نوردی برای پیدا کردن قله استفاده می‌کنند. الگوریتم‌های ژنتیک به دلیل مستقل بودن مکانیسم‌های جستجو و بهینه‌سازی آن‌ها از تابع هدف، ابزار انعطاف‌پذیری هستند. این انعطاف‌پذیری از آن جهت که اصلاح تابع ارزیابی یا حتی جایگزینی آن را بدون نیاز به تغییر الگوریتم ژنتیک ممکن می‌سازد، مطلوب است. بنابراین، یک الگوریتم ژنتیک منفرد می‌تواند برای طیفی از مسایل آمایش سرزمین مجدد استفاده شود (۴۶).

۱-۲-۴-۲- الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده یا تبرید تدریجی[2]

دسته دیگری از الگوریتم‌ها الگوریتم‌های اکتشافی[3] هستند که راه‌حل‌های نزدیک بهینه ارایه می‌دهند. یکی از پرکاربردترین آن‌ها الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی‌شده است. الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی‌شده که با نام‌های متفاوت دیگری از قبیل شبیه‌سازی حرارتی، الگوریتم تبرید تدریجی و غیره نیز شناخته می‌شود، در واقع الهام گرفته شده از فرآیند ذوب و دوباره سرد کردن فلزات است. این الگوریتم یک فرآیند سردسازی تدریجی به نام ذوب‌سازی[4] را اجرا می‌کند که انرژی حالت مختلف یک ماده را برآورد می‌کند. مفاهیم این الگوریتم در زمینه بهینه سازی مسایل ترکیبی به کارگرفته شده است. کاربرد این مفاهیم براساس شباهت بسیار میان مسایل بهینه‌سازی ترکیبی و یک فرآیند فیزیکی به نام تبلور[5] است. در این حالت وضعیت ماده جامد، انرژی آن و دما به ترتیب به عنوان فضای جستجو، تابع هزینه و پارامتر کنترل مسایل بهینه‌سازی ترکیبی در نظر گرفته می‌شوند. این الگوریتم بهتر از سایر روش‌های بهینه‌سازی محلی عمل می‌کند و یک راه حل نزدیک بهینه کل را ارایه می‌دهد، به گونه‌ای که برخی افزایش‌های تصادفی در تابع هزینه را می‌پذیرد و مانع به دام افتادن در شرایط حداقل محلی می‌شود (۴۷،۴۸).

Aerts & Heuvelink در سال ۲۰۰۲ (۴۸) از الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده برای حل مسایل بهینه‌سازی غیرخطی چندبعدی برای تخصیص کاربری سرزمین چندمکانه استفاده نمودند. مدل بهینه‌سازی هزینه توسعه را حداقل می‌کند و فشردگی مکانی کاربری‌ها را حداکثر می‌سازد. فشردگی از طریق افزودن یک معیار همسایگی غیرخطی به تابع هدف قابل دست‌یابی است. این مدل برای بازسازی منطقه استخراج معدن با کاربری‌های جدید با موفقیت استفاده شد. علت استفاده از الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی‌شده در این پژوهش عبارتند از: این الگوریتم می‌تواند شبکه‌های بزرگ (حداقل ۲۵۰ × ۲۵۰ سلول) را مدیریت کند، می‌تواند اهداف غیرخطی مانند اجرای فشردگی مکانی را مدیریت کند، می‌تواند به راحتی در یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری مکانی اجرا شود (۴۸). در مثال‌های دیگر، Alier et al. در سال ۱۹۹۶ (۴۹) و mart et al. در سال ۱۹۹۸ (۵۰) از الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده متفاوتی برای بهینه‌سازی تخصیص کاربری‌ها استفاده کردند که تابع هدف برای یک کاربری توسط ظرفیت برد، اثرات محیط‌زیستی و هزینه تغییر کاربری توصیف شده بود (۳).

۱-۲-۴-۳- شبکه‌های خودکار[6]

سایر مدل‌های شبیه‌سازی از مفاهیم شبکه خودکار (CA) استفاده می‌کنند. مدل‌های شبکه خودکار مثال ویژه‌ای از مدل‌هایی هستند که در تعریف خود بسیار ساده‌اند اما قادر به تولید رفتارهای بسیار پیچیده هستند. آن‌ها می‌توانند به عنوان سیستم‌های پویای ساده‌ای در نظر گرفته شوند که در آن‌ها وضعیت هر سلول در یک آرایه چندبعدی وابسته به وضعیت قبلی آن و وضعیت سلول‌های همسایه آن، مطابق مجموعه‌ای از قوانین انتقال است. این مدل‌ها از آن‌جایی که به صراحت به مفهوم فضا اشاره دارند، بسیار مورد توجه دانشمندان علوم مکانی هستند. یک مدل شبکه خودکار دارای ویژگی‌های زیر است (۵۱):

1 - Hill-climbing
2 - Simulated Annealing Algorithm
3 - Heuristic
4 - Annealing
5 - Crystalization
6 - Cellular Automatas

- یک فضای اقلیدسی چندبعدی بی‌نهایت که به آرایه‌ای از سلول‌های یکسان تقسیم شده است. برای بیش‌تر مسایل جغرافیایی یک فضای دوبعدی شامل سلول‌های مربع انتخاب می‌شود.
- هر سلول یکی از k موقعیت گسسته ممکن در زمان را دارد.
- مجموعه‌ای از قوانین انتقال که وضعیت جدید هر سلول را به عنوان تابعی از وضعیت خود سلول و وضعیت سلول‌های همسایه توصیف می‌کنند.
- همسایگی یک الگوی ثابت است که برای هر سلول فضای سلولی در هر تکرار به کار می‌رود.
- شبکه خودکار یک سیستم بسته با زمان پیشرفت یکنواخت است و در هر گام زمانی گسسته همه سلول‌ها به طور هم‌زمان به گونه‌ای که در قانون انتقال توصیف شده، تغییر وضعیت می‌دهند.

کاربردهای اخیر مدل‌های شبکه خودکار با هدف ارایه واقعی سیستم‌های جغرافیایی، هم از لحاظ فرآیندهای مدل‌سازی و هم جزییات جغرافیایی توسعه پیدا کرده‌اند. یکی از پیشرفت-های مورد نیاز در جهت GIS پویا در زمینه فناوری‌های نرم-افزاری است که ادغام ماژول‌های نرم‌افزارهای تخصصی CA را در بسته‌های GIS و ادغام ماژول‌های GIS را در بسته‌های CA ممکن سازد. Engelen et al. در سال ۱۹۹۹ (۵۱) در پژوهش خود به ترکیب سامانه‌ای اطلاعات جغرافیایی و شبکه خودکار برای ارزیابی سناریوهای مختلف کاربری سرزمین پرداختند. مدل ارایه شده در این پژوهش توسط نرم‌افزار GEONAMICA که تنها یک مدل شبکه خودکار را شامل می‌شود اجرا می‌شود. مطالبات کلی زمین برای هر تابع مدل-سازی و در هر گام زمانی شبیه‌سازی برای مدل محاسبه و به عنوان سری‌های زمانی وارد می‌شوند (۵۱). توسعه مدل‌های شبیه‌سازی بر پایه شبکه خودکار در آمایش شهری متداول‌تر است (۵۲، ۵۳). این مدل‌ها شهر را به عنوان مجموعه‌ای از کاربری‌ها در نظر می‌گیرند و می‌توانند به آمایش سرزمین تعمیم داده شوند (۳).

۱-۲-۴-۴- مدل‌های عامل مبنا[1]

هنگامی که عوامل انسانی در فرآیند تصمیم‌گیری مکانی دخالت داده شوند، مدل‌های عامل مبنا (ABM) مطرح می‌شوند (۵۴). مدل‌های عامل مبنا سناریوهای کاربری سرزمین را بر اساس مدل‌سازی تصمیم‌گیری انفرادی یا گروهی و تعاملات انسان و محیط‌زیست شبیه‌سازی می‌کنند (۳). مدل‌سازی عامل مبنا نوعی مدل‌سازی است که در آن بر ارایه عامل‌ها (مانند مردم یا حیوانات) و روابط متقابل آن‌ها تاکید شده است. در مدل‌های عامل مبنا، همانند سیستم‌های پیچیده واقعی، مجموعه‌ای از قوانین و رفتارهای محلی تولید شده استقرایی عامل‌ها منجر به ظهور پدیده‌ها در یک گروه یا سیستم در سطح گسترده می‌شوند. مدل‌سازی عامل مبنا دست‌یابی به مجموعه بسیار ارزشمندی از رفتارها و روابط متقابل پیچیده را به طور موثری ممکن می‌سازد، بنابراین برای مدل‌سازی پدیده‌های پیچیده بسیار مناسب است (۵۵).

مدل‌سازی عامل مبنا مانعی در استفاده سایر مدل‌ها به عنوان بخشی از مدل عامل مبنا یا در ترکیب با آن نیست (۵۵). این مدل‌ها می‌توانند هر یک از روش‌های ذکرشده تخصیص کاربری سرزمین را به عنوان روش‌های تصمیم‌گیری توسط عامل‌های انفرادی استفاده کنند. نمونه‌هایی از این روش‌های تخصیص شبکه خودکار (۵۶)، برنامه‌ریزی ریاضی (۵۷)، یا حداکثرسازی مطلوبیت (۵۸) یا معماری اعتقاد-خواست-اراده[2] (۵۹) هستند (۳).

۲- تحلیل مدل‌های تخصیص کاربری سرزمین

مهم‌ترین ویژگی‌های مدل‌های تخصیص کاربری سرزمین توسط Riveria & Maseda در سال ۲۰۰۶ به عنوان نماینده انتخاب و در جدول ۱ خلاصه شده‌اند. این ویژگی‌ها در ادامه آورده می‌شوند (۳).

۱) اهداف و نتایج: اولین کاربردهای ارزیابی چندمعیاره برای آمایش منطقه‌ای در GIS اجرا نشدند و تلاش آن‌ها برای رتبه‌بندی گزینه‌های مختلف (مناطق، سیاست‌های برنامه‌ریزی و غیره) بود. ادغام روش‌های ارزیابی چندمعیاره در GIS امکان

1 - Agent Based Model
2 - Belief-desire-intention architecture

تبدیل این رتبه‌بندی‌ها را به نقشه‌های تخصیص کاربری سرزمین فراهم کرد. روش‌های مورد استفاده برای این منظور بسته به هدف آمایش، تعریف مناسب‌ترین مناطق برای یک کاربری مجزا (آمایش بخشی[1]) یا تخصیص بهینه کاربری‌های چندگانه (برنامه جامع[2]) متفاوت هستند. درحالی که اهداف روش TOPSIS، برنامه‌ریزی سازشی، یا روش‌های اجرا شده توسط Carver در سال ۱۹۹۱ (۱۸) در طبقه اول قرار می‌گیرند، تحلیل نقطه ایده‌آل (۲۴) و MOLA برای انتخاب کاربری بهینه برای هر واحد مکانی طراحی شدند. این تخصیص مکانی کاربری‌های چندگانه می‌تواند از طریق مدل‌های برنامه‌ریزی عدد صحیح (۴۰) نیز به دست آید که در آن متغیرها بسته به این‌که واحدهای مکانی به یک کاربری خاص اختصاص داده می‌شوند یا خیر، ارزشی برابر یک یا صفر می‌گیرند. بیش‌تر مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی تنها منطقه بهینه را برای هر کاربری بدون اطلاعاتی در مورد توزیع مکانی نتایج ارایه می‌کنند. در مورد مدل‌های شبیه‌سازی مکانی مورد مطالعه، نتایج همیشه به صورت یک نقشه کاربری سرزمین است (۳).

۲) اطلاعات مورد نیاز: روش‌های ارزیابی چندمعیاره نیازمند اطلاعاتی در مورد معیارهای ارزیابی تناسب یا امتیاز تناسب برای یک فعالیت مشخص هستند. هنگامی که این روش‌ها در GIS اجرا می‌شوند، این اطلاعات به عنوان نقشه‌های معیارهای ارزیابی یا نقشه‌های تناسب مورد نیاز هستند. مدل‌های برنامه-ریزی ریاضی بسته به صورت‌بندی ویژه خود، نیازمند اطلاعات الفبایی عددی[3] بسیار متنوعی هستند. داده‌هایی که معمولا مورد نیاز هستند عبارتند از: بازدهی، ضرایب تولید و بهره‌برداری از منابع، هزینه، سود و غیره. مدل‌های شبیه‌سازی مکانی می‌توانند از نقشه‌های عوامل ارزیابی به عنوان اطلاعات ورودی یا مستقیما به عنوان نقشه‌های تناسب برای هر کاربری استفاده کنند. افزون بر آن، مدل‌های شبیه‌سازی مکانی و برخی روش‌های ارزیابی چندمعیاره به مساحت تعیین شده برای هر کاربری به عنوان داده بیرونی نیاز دارند (۳).

۳) یکپارچه‌سازی با GIS: در میان روش‌های ارزیابی چندمعیاره تمایز روش‌هایی که از GIS استفاده نمی‌کنند، روش‌هایی که در آن عملکرد GIS محدود به ذخیره اطلاعات یا نمایش نتایج است، و سرانجام روش‌هایی که کاملا با GIS یکپارچه شده‌اند سودمند است. در دسته آخر TOPSIS، تحلیل سازگاری- ناسازگاری، بهینه‌سازی سلسله مراتبی، برنامه‌ریزی سازشی، MOLA یا تحلیل نقطه ایده‌آل قرار دارند. کاربرد روش‌های پیچیده بر اساس مقایسات زوجی در GIS رستری، جایی که هر سلول نماینده یک گزینه منتخب است، محدود به سرعت رایانه است، بنابراین، اجرای آن تا حد زیادی به اندازه لایه‌های رستری و بنابراین وسعت منطقه مورد نظر وابسته است. در اغلب مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی، یکپارچه‌سازی با GIS معمولا در دو مرحله اتفاق می‌افتد: کسب داده از GIS برای تغذیه مدل و استفاده از GIS برای نقشه‌سازی نتایج. در مورد مدل‌های برنامه‌ریزی عدد صحیح، نتایج در ارتباط با نقشه‌های تخصیص کاربری سرزمین هستند که معمولا در یک محیط GIS نمایش داده می‌شوند. مدل‌های شبیه‌سازی مکانی که قبلا در بخش پیشین این مقاله توصیف شدند یک ارتباط قوی بین GIS و مدل تخصیص کاربری سرزمین ارایه می‌کنند (۳).

۴) گروه تصمیم‌گیری: ذینفعان نیازمند ابزارهایی هستند که اثر گزینه‌ها را از طریق تحلیل سناریو نشان دهند (۶۰). تمام مدل‌های بررسی شده می‌توانند این سناریوهای کاربری سرزمین را تولید کنند، اما تعامل کاربر با سامانه تنها در برخی از آن‌ها فعال است (۶۱). مشارکت عمومی در فرآیند تصمیم‌گیری به روش‌های مختلف قابل دست‌یابی است. روش‌های تعاملی (۳۴) توافق بین گروه‌ها با اهداف ناسازگار را با استفاده از تغییر پارامترهای مدل برای کشف نتایج انتخاب گروه‌های ذینفع (مانند LADSS) به دست می‌آورند و یا توسط مشارکت ذینفعان مختلف در مدل‌های عامل مبنا به توافق عمومی می‌رسند دو روش معروف مشارکت عمومی در فرآیند تصمیم‌گیری هستند (۳).

1 - Sectorial plan
2 - Comprehensive plan
3 - Alphanumeric information

مشارکت عمومی از طریق روش‌های مختلفی، همانند روش‌های تعاملی (۳۴) که توافق بین گروه‌ها با اهداف ناسازگار را با استفاده از تغییر پارامترهای مدل برای کشف نتایج انتخاب گروه‌های ذینفع (مانند LADSS) به دست می‌آورند و یا توسط مشارکت ذینفعان مختلف در مدل‌های عامل مبنا، وارد فرآیند تصمیم‌گیری می‌شوند (۳).

بحث و نتیجه گیری

در این مقاله روش‌های مورد استفاده برای تخصیص کاربری‌ها در فرآیند آمایش سرزمین مورد بررسی قرار گرفتند. تحلیل ویژگی‌های روش‌های استفاده شده بررسی نقاط قوت و ضعف هر کدام را امکان‌پذیر کرد. ارزیابی چندمعیاره یکی از اولین روش‌های استفاده شده برای تخصیص کاربری سرزمین بوده است. این روش‌ها برای ساختار دادن به مسأله مفید هستند، مخصوصا وقتی تعداد عوامل زیاد است. افزون بر آن، این روش‌ها تحلیل حساسیت پارامترهای مختلف را امکان‌پذیر می‌کنند و در برخی موارد اجازه می‌دهند ذینفعان مختلف در نظر گرفته شوند. پیچیدگی عملیات ریاضی معین (۱۰) و محدودیت نتایج که به رتبه‌بندی تعداد اندکی واحد مکانی تحت ارزیابی محدود می‌شود، از معایب آن‌ها به شمار می‌آید. ادغام این روش‌ها در GIS، که در محدوده هر کاربر GIS هستند، افزایش تعداد واحدهای مکانی تحت ارزیابی را امکان پذیر می‌کند. یکی دیگر از روش‌های صریح و موثر برای تخصیص کاربری سرزمین برنامه‌ریزی ریاضی است که امکان تحلیل حساسیت را ارایه می‌دهد. به هرحال، مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی یک ارتباط خطی بین متغیرها را فرض می‌کنند که ممکن است حقیقی نباشد و الگوریتم مخصوص هر موقعیت ویژه است، به این معنی که بسته به شرایط استفاده اصلاح شود. این مدل‌ها مشخص می‌کنند چه مقدار زمین به هر کاربری تعلق گیرد، اما مکان آن را مشخص نمی‌کنند. البته، مدل‌های برنامه‌ریزی عدد صحیح که تخصیص مکانی بهینه کاربری کلی را مشخص می‌کنند استثنا هستند، اما هنگامی که تعداد واحدها افزایش می‌یابد، به دلیل نیاز به زمان محاسبه زیاد، با شکست مواجه می‌شوند. مدل‌های شبیه‌سازی مکانی بر اساس الگوریتم‌های اکتشافی برای تحلیل مسایل بزرگ مقیاس استفاده می‌شوند، اما به جای راه حل بهینه راه حل نزدیک بهینه را تولید می‌کنند. از میان این الگوریتم‌ها مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده بهترین راه‌حل‌ها را پیدا می‌کند، اما سرعت حل آن از الگوریتم‌های ژنتیک کم‌تر است. یکی دیگر از مزایای الگوریتم‌های ژنتیک ظرفیت آن‌ها برای تولید راه‌حل‌های چندگانه و قابلیت اجرای هم‌زمان آن‌ها در چند رایانه است. شبکه خودکار و مدل‌های عامل مبنا برای شبیه‌سازی و درک تغییر کاربری سرزمین به جای پیدا کردن راه‌حل بهینه استفاده می‌شوند. شبکه خودکار برای مدل‌سازی جنبه‌های بوم‌شناختی تغییر کاربری مفید است (۵۴) در حالی که مدل‌های عامل مبنا اثر تصمیم‌گیری‌های انسانی بر کاربری را نشان می‌دهند. از زمان توسعه مدل‌های شبیه‌سازی مکانی اکثریت آن‌ها به راحتی با مفاهیم مختلف سازگار شده‌اند و می‌توانند توسط افراد غیرمتخصص استفاده شوند. برعکس، سامانه‌های خبره برای یک منطقه خاص و وضعیت ویژه طراحی شده‌اند، به این معنی که کاربرد آن در وضعیت متفاوت نیازمند فرآیند پیچیده توسعه و سازگارسازی است (۳).

اهداف برنامه کاربری سرزمین انتخاب روش تخصیص کاربری را تعیین می‌کند. ضعف تمرکز سامانه پشتیبان برنامه‌ریزی بر روی مناطق روستایی و تمرکز بسیاری از نرم‌افزارهای برنامه‌ریزی کنونی بر یک مرحله مشخص فرآیند، به معنی نیاز مبرم به طراحی یک مدل آمایش کاربری سرزمین شامل یکپارچه‌سازی ابزارهای رایانه‌ای مختلف یا توسعه نرم‌افزارهای سفارشی است که همه مراحل آمایش را شامل می‌شود (۳).

جدول ۱- طبقه‌بندی ۳۱ مطالعه آمایش سرزمین منتخب با توجه به روش‌شناسی استفاده شده و خلاصه ویژگی‌های اصلی آن‌ها (۳)

	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	نرم‌افزار	نتایج	[illegible]

				GIS	پشتیبان تصمیم	زبان برنامه‌نویسی	رتبه‌بندی گزینه‌ها	نقشه تناسب/مکان-یابی برای یک فعالیت	نقشه تخصیص کاربری سرزمین چندگانه (برنامه جامع)	مساحت بهینه برای هر کاربری/ فعالیت	
ارزیابی چندمعیاره												
MCE ادغام نشده در GIS	۱	Jankowski 1989	ارزیابی ۵ طرح مدیریت کاربری سرزمین	معیارهای اقتصادی، اجتماعی، محیط‌زیستی		EVAMIX	*				در وزن‌دهی معیارها
	۲	Voogd 1983	ارزیابی ۱۱ منطقه برای توسعه شهری بالقوه	معیارهای ارزیابی			*				
تحلیل نقطه ایده‌آل، بهینه‌سازی سلسله مراتبی، تحلیل سازگاری	۳	Carver 1991	انتخاب مناسب‌ترین مکان برای زباله‌های رادیواکتیو	نقشه معیارهای ارزیابی	ARCINFO	AML FORTRAN77		*			در وزن‌دهی معیارها
برنامه‌ریزی سازشی	۴	Pereira and Duckstein 1993	ارزیابی کیفیت زیستگاه	نقشه معیارهای ارزیابی	IDRISI	EXPERT CHOICE MATS		*			
	۵	Vatalis and Manoliadis 2002	ارزیابی مکان‌های پیشنهادی برای محل دفن پسماند	نقشه ۲۶ عامل ارزیابی	ARCVIEW		*				
تحلیل نقطه ایده‌آل	۶	Barredo 1996	انتخاب کاربری بهینه برای هر واحد مکانی	نقشه ظرفیت برد برای هر فعالیت	ARCINFO	SML			*		
MOLA	۷	Barredo 1996	انتخاب کاربری بهینه برای هر هر واحد مکانی	نقشه ظرفیت برد برای هر فعالیت	IDRISI				*		
	۸	Eastman 1998	مکان‌یابی بهینه زمین‌های صنعتی و کشاورزی	نقشه تناسب برای هر فعالیت	IDRISI				*		
	۹	Van der Merwe 1997	مکان‌یابی مناسب‌ترین زمین برای کشاورزی، حفاظت و کاربری شهری	نقشه معیارهای ارزیابی	IDRISI			*۱	*		
TOPSIS	۱۰	Malczewski 1996	مکان‌یابی تسهیلات خطرناک	نقشه معیارهای ارزیابی	IDRISI			*			در همه مراحل
AHP	۱۱	Banai 1993	انتخاب مناسب‌ترین مکان برای	نقشه معیارهای ارزیابی	GIS	EXPERT CHOICE		*			

			دفن پسماند									
	۱۲	Weerakoon 2002	شناسایی مناسب‌ترین مناطق برای توسعه شهری و حفاظت	نقشه کاربری	GIS	EXPERT CHOICE			*			
برنامه‌ریزی ریاضی												
برنامه‌ریزی خطی	۱۳	Campbell 1992	محاسبه مساحت و درصد واردات هر محصول	ضرایب ورودی/خروجی، منابع دردسترس، بازده، هزینه تولید، تقاضای محصول	ARCINFO				*۲	*		
	۱۴	Chuvieco 1993	تعیین مساحت هر کاربری برای کاهش بیکاری روستایی	نقشه معیارها، داده‌های اقتصادی، نیاز نیروی انسانی، هزینه تبدیل کاربری	IDRISI	QSB			*۳	*		
برنامه‌ریزی آرمانی	۱۵	Giupponi and Rosato 1998	شناسایی کاربری بهینه و سامانه کشت آن	بازده ناخالص، منابع دردسترس، بازده						*		
	۱۶	Oliveira et al., 2003	آمایش کاربری جنگل	ضرایب فنی، آرمان و هدف، دسترسی منابع						*		
برنامه‌ریزی آرمانی تعاملی	۱۷	Fischer and Makowski 1996	تحلیل سناریوهای مختلف کاربری سرزمین	پایگاه اطلاعات کمی برای حاصلخیزی و سامانه‌های محصول و احشام	AEZWIN					*		فرآیند تعاملی
	۱۸	Ive and Cocks 1983	ارزیابی طرح‌های کاربری سرزمین	وزن‌ها و دستیابی به سیاست‌های برنامه‌ریزی برای تخصیص هر کاربری		LUPLAN	Basic			*		فرآیند تعاملی
	۱۹	Lu et al., 2004	ارزیابی راهبردهای کاربری سرزمین	ضرایب فنی، دسترسی منابع						*		فرآیند تعاملی
	۲۰	Shuaedi et al., 2002	طراحی مدل برای تخصیص کاربری سرزمین	ضرایب فنی برای هر کاربری	GIS	PcProg				*		در انتخاب سناریوها
برنامه‌ریزی عدد صحیح	۲۱	Aerts et al., 2003	تخصیص مکانی بهینه کاربری‌ها	هزینه توسعه و مساحت اختصاص داده شده به هر کاربری		What's Best!			*			
	۲۲	Diamond and Wright 1988, 1989	شناسایی مناسب‌ترین مکان‌ها برای تسهیلات مختلف	نقشه‌های تناسب برای کاربری‌های ویژه و هزینه مالکیت زمین	GRASS	KES			*			
روش‌های ترکیبی												
	۲۳	Janssen and	انتخاب	نقشه	GIS	DEFINITE		*		*		

		Rietveld 1990	ترکیب بهینه کاربری‌ها	معیارهای ارزیابی، منابع دردسترس							
	۲۴	Ridgley and Heil 1998	انتخاب بهترین کاربری برای حفاظت پارک ملی	نقشه کاربری، معیارهای بوم‌شناختی، اجرایی و اقتصادی اجتماعی	IDRISI				۱*	*	*
مدل‌های شبیه‌سازی مکانی											
الگوریتم‌های ژنتیک	۲۵	Matthews et al., 1999	بهینه‌سازی تخصیص کاربری سرزمین	تناسب برای هر کاربری، به دست آمده از سایر رویه‌های LADSS	LADSS (Smallworld, G2)					*	
اگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی‌شده	۲۶	Aerts and Heuvelink 2002	بهینه‌سازی تخصیص کاربری سرزمین	نقشه‌های کاربری، ارتفاع، شیب، مساحت اختصاص داده شده به هر کاربری	MapObjects	DELPHI				*	
	۲۷	Alier et al., 1996	بهینه‌سازی تخصیص کاربری سرزمین	نقشه‌های واحدهای کیفیت و شکنندگی، نقشه کاربری موجود، اطلاعات محیط‌زیستی و اقتصادی اجتماعی	Package of several customized programs					*	
شبکه خودکار	۲۸	Engelen et al., 1999	شبیه‌سازی پویایی مکانی کاربری‌ها	نقشه‌های تناسب و کاربری موجود، مساحت اختصاص داده‌شده به هر کاربری		GEONAMICA				*	
مدل‌های عامل مبنا	۲۹	Evans and Kelly, 2004	مدل‌سازی و درک سیرتکاملی کاربری جنگل زراعی	پوشش اراضی، داده‌های اقتصادی اجتماعی، مالکیت زمین، توپوگرافی	ARCINFO	MATLAB				*	به وسیله عامل‌های مختلف
سامانه‌های خبره											
	۳۰	Yialouris et Al., 1997	ارزیابی تناسب برای ۵ محصول، و انتخاب محصول بهینه برای هر واحد سرزمین	نقشه خاک و کاربری سرزمین، اطلاعات اقلیم شناسی	ARCINFO	CLIPPER	SML		*	*	
	۳۱	Zhu et al., 1996	چارچوبی برای طراحی و ارزیابی مدل‌های آمایش کاربری خاص	نقشه معیارهای ارزیابی	ARCINFO	CLIPS HARDY	AML		*		

۱- نقشه‌های تناسب برای هر فعالیت توسط رویه MCE در نرم‌افزار ایدریسی تهیه شدند

۲- نقشه تخصیص مکانی کاربری‌های چندگانه توسط روش بهینه‌سازی سلسله مراتبی تهیه شد

۳- نقشه تخصیص مکانی کاربری‌های چندگانه توسط متغیرهای کمکی تهیه شد

پیشنهادات

به منظور پیشگیری از وقوع بحران‌های محیط‌زیستی حاصل از استفاده غیر منطقی و تبدیل زمین، روش‌های متفاوتی در جهان برای ارزیابی و آمایش کاربری‌ها در سرزمین قبل از اجرای توسعه ارایه شده‌اند. در این مقاله مدل‌های مختلف آمایش سرزمین مورد بررسی قرار گرفته‌اند و انواع روش‌ها با اهداف، کاربردها و کاربری‌های مختلف شناسایی شده‌اند. در این خصوص مدل‌های آمایش سرزمین در پنج گروه شامل سامانه‌های خبره، ارزیابی چندمعیاره، برنامه‌ریزی ریاضی، روش‌های ترکیبی و مدل‌های شبیه‌سازی مکانی بررسی شدند. نتایج این مقاله یک مرور کلی ساختاریافته از روش‌های آمایش سرزمین را ارایه می‌کند و امکان انتخاب روش ویژه هر مسأله کاربردی را با توجه به نقاط قوت و ضعف هر روش تسهیل می‌نماید. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده طرح‌ها و پروژه‌هایی که در داخل کشور در خصوص آمایش سرزمین انجام شده‌اند مورد بررسی قرار گیرد و یک تقسیم بندی کلی از انواع مدل‌ها و روش‌های آمایش سرزمین مورد استفاده در ایران ارایه شود. این کار به شناسایی نقاط قوت و ضعف طرح‌های آمایشی انجام شده کمک می‌نماید و ارایه روش‌های مناسب جهت تحکیم هرچه بیش‌تر نقاط قوت و بهبود نقاط ضعف را تسهیل می‌نماید. همچنین، می‌توان با شناسایی روش‌هایی که تا کنون در کشور انجام نشده است از آن‌ها برای طرح‌های آمایش آتی به منظور مقایسه و بررسی کارایی آن‌ها استفاده کرد.

منابع

۱- مخدوم، مجید، شالوده آمایش سرزمین، چاپ هفتم، موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران، ۱۳۸۵، چاپ هفتم، ۲۸۹ صفحه.

2- FAO. 1976. A Framework for Land Evaluation (FAO, Rome).

3- Riveria, I. S. & Maseda, R. C. 2006. A review of rural land use planning models. Environment and planning B. 33(2):165-183.

۴- میرزایی، کمال، جزوه سیستم‌های خبره و مهندسی دانش، ۱۳۹۱، ویراست هفتم، ۸۵ صفحه.

5- Teso, A. L. 1997. Diagnosis and Prediction Model of Marginal Agricultural Land Evolution unpublished PhD thesis, Polytechnical University of Madrid, Madrid (in Spanish).

6- Diamond, J. T. & Wright, J. R. 1988. Design of an integrated spatial information system for multiobjective land-use planning, Environment and Planning B: Planning and Design. 15: 205-214.

7- Yialouris, C. P.; Kollias, V.; Lorentzos, N. A.; Kalivas, D. & Sideridis, A. B. 1997. An integrated Expert Geographical Information System for soil suitability and soil evaluation, Journal of Geographic Information and Decision Analysis. 1(2): 89-99.

8- Jun, Ch. 2000. Design of an intelligent geographic information system for multi-criteria site analysis. URISA Journal, 12(3): 5-17.

9- Zhu, X.; Aspinall, R. J. & Healey, R. G. 1996. ILUDSS: A knowledge-based spatial decision support system for strategic land-use planning. Computers and Electronics in Agriculture, 15: 279-301.

10- Voogd, H. 1983. Multicriteria Evaluation for Urban and Regional Planning (Pion, London).

11- Jankowski, P. 1989. Mixed-data multicriteria evaluation for regional planning: a systematic approach to the decisionmaking process. Environment and Planning A, 21: 349-362.

12- Eastman, J. R.; Jin, W.; Kyem, P. A. K. & Toledano, J. 1995. Raster procedures for multi-criteria/multi-objective decisions, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. 61(5): 539-547.

۱۳- سلمان ماهینی، عبدالرسول، و کامیاب، حمیدرضا، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی کاربردی با نرم‌افزار ایدریسی، چاپ اول، انتشارات مهر مهدیس، ۱۳۸۸، ۵۸۲ صفحه.

14- Pereira, J. M. C. & Duckstein, L. 1993. A multiple criteria decision-making approach to GIS-based land suitability evaluation. International Journal of Geographical Information Systems, 7(5): 407-424.

15- Vatalis, K. & Manoliadis, O. 2002. A two-level multicriteria DSS for landfill site selection using GIS: Case study in western Macedonia, Greece. Journal of Geographic Information and Decision Analysis, 6(1): 49-56.

۱۶- فرجی سبکبار، حسنعلی، و رضاعلی، منصور، مقایسه مدل‌های گسسته و پیوسته مکانی، مطالعه موردی: مکان‌یابی محل واحدهای تولید روستایی بخش طرقبه، ۱۳۸۸،پژوهش‌های جغرافیای انسانی، شماره ۶۷، ۶۹-۸۳.

۱۷- Malczewski, J. 1996. A GIS-based approach to multiple criteria group decision-making. Journal of Geographical Information Systems, 10(8): 955-971.

۱۸- Carver, S. J. 1991. Integrating multi-criteria evaluation with geographical information systems. International Journal of Geographical Information Systems, 5(3): 321-339.

19- Jankowski, P. & Richard, L. 1994. Integration of GIS-based suitability analysis and multicriteria evaluation in a spatial decision support system for route selection, Environment and Planning B: Planning and Design, 21: 323-340.

20- Banai, R. 1993. Fuzziness in Geographical Information Systems: contributions from the Analytic Hierarchy Process. International Journal of Geographical Information Systems. 7(4): 315-329.

۲۱- قدسی پور، حسن، فرآیند تحلیل سلسله مرتبی، چاپ دوم، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۸۱، ۲۲۰ صفحه.

22- Weerakoon, K. G. P. K. 2002. Integration of GIS based suitability analysis and multicriteria evaluation for urban land use planning, contribution from the Analytic Hierarchy Process, in 3rd Asian Conference on Remote Sensing (AARS, Katmandu),

23- http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/2002/urb/218.pdf

24- Mendoza, G. A. 1997. A GIS-based multicriteria approach to land use suitability assessment and allocation, in Seventh Symposium on systems analysis in forest resources (USDA Forest Service, Traverse City) http://www.ncrs.fs.fed.us/pubs/gtr/other/gtrnc205/landuse.htm.

25- Barredo, J. I. 1996. Geographic Information Systems and Multicriteria Evaluation in Land Planning (Rama, Madrid) (in Spanish).
26- Eastman, J. R. 2012. IDRISI Selva Manual. 322 P.
27- Van der Merwe, J. H. 1997. GIS-aided land evaluation and decision-making for regulating urban expansion, A South African case study, GeoJournal, 43: 135-151.
28- Eastman, J. R.; Jiang, H. & Toledano, J. 1998. Multi-criteria and multi-objective decision making for land allocation using GIS, in Multicriteria Analysis for Land-Use Management Eds E Beinat, P Nijkamp (Kluwer Academic Publishers, Dordrecht) pp: 227-251.
29- Chuvieco, E. 1993. Integration of linear programming and GIS for land-use modeling. International Journal of Geographical Information Systems, 7(1): 71-83.
30- Campbell, J. C.; Radke, J.; Gless, J. T. & Wirtshafter, R. M. 1992. An application of linear programming and geographic information systems: cropland allocation in Antigua. Environment and Planning A, 24: 535-549.
31- Oliveira, F.; Patias, N. M. & Sanquetta, C. R. 2003. Goal programming in a planning problem, Applied Mathematics and Computation, 140: 165-178.
32- Giupponi, C., & Rosato, P. 1998. A farm multicriteria analysis model for the economic and environmental evaluation of agricultural land use, in Multicriteria Analysis for Land-Use Management Eds E Beinat, P Nijkamp (Kluwer Academic Publishers, Dordrecht) pp: 115-136.
33- Malczewski, J. & Ogryczak, W. 1995. The multiple criteria location problem: 1. A generalized network model and the set of efficient solutions. Environment and Planning A, 27: 1931-1960.
34- Ive, J. R. & Cocks, K. D. 1983. SIRO-PLAN and LUPLAN: an Australian approach to land-use planning. 2. The LUPLAN land-use planning package. Environment and Planning B: Planning and Design, 10: 347- 355.
35- De Wit, C. T.; Van Keulen, H.; Seligman, N. G. & Spharim, I. 1988. Application of interactive multiple goal programming techniques for analysis and planning of regional agricultural development. Agricultural Systems, 26: 211-230.
36- Suhaedi, E.; Metternicht, G. & Lodwick, G. 2002. Geographic information systems and multiple goal analysis for spatial land use modelling in Indonesia, in 23rd Asian Conference on Remote Sensing (AARS, Katmandu), http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/2002/luc/luc002.shtml
37- Fischer G, Makowski M, 1996, "Multiple Criteria Land Use Analysis", WP 96–006, IIASA International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria,
38- http://www.iiasa.ac.at/Publications/Documents/WP-96-006.pdf
39- Fischer, G.; Makowski, M. & Granat, J. 1998. AEZWIN. An Interactive Multiple-Criteria Analysis Tool for Land Resources Appraisal, interim

report IR-98-051, IIASA International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria, http://www.iiasa.ac.at/Publications/Documents/IR-98-051.pdf

۴۰- ایوبی، شمس الله، جلالیان، احمد، ارزیابی اراضی، چاپ اول، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۸۵، ۳۹۴ صفحه.

41- Lu, C. H.; Van Ittersum, M. K. & Rabbinge, R. 2004. A scenario exploration of strategic land use options for the Loess Plateau in northern China, Agricultural Systems, 79: 145-170.

42- Aerts, J. C. J. H.; Eisinger, E.; Heuvelink, G. B. M. & Stewart, T. 2003. Using linear integer programming for multi-site land-use allocation. Geographical Analysis, 35(2): 148-169.

43- Diamond, J. T. & Wright, J. R. 1989. Efficient land allocation. Journal of Urban Planning and Development, 115(2): 81-96.

44- Janssen, R. & Rietveld, P. 1990. Multicriteria analysis and geographical information systems: an application to agricultural land use in The Netherlands, in Geographical Information Systems for Urban and Regional Planning Eds H. J. Scholten, J. C. H Stillwell (Kluwer Academic Publishers, The Netherlands) pp: 129-139.

45- Ridgley, M. A. & Heil, G. W. 1998. Multicriteria planning of protected-area buffer zones: an application to Mexico`s Izta-Popo national park, in Multicriteria Analysis for Land-Use Management Eds E Beinat, P Nijkamp (Kluwer Academic Publishers, Dordrecht) pp: 293-309.

۴۶- کیا، مصطفی، الگوریتم‌های ژنتیک در MATLAB، چاپ سوم، کیان رایانه، ۱۳۹۱، ۱۹۲ صفحه.

47- Matthews, K. 2001. Applying genetic algorithms to multi-objective land-use planning PhD thesis, Robert Gordon University, http://www.mluri.sari.ac.uk/LADSS/papers/keiththesis.pdf

48- Matthews, K. B.; Craw, S. & Sibbald, A. R. 1999. Implementation of a spatial decision support system for rural land use planning: integrating GIS and environmental models with search and optimization algorithms. Computers and Electronics in Agriculture, 23: 9-26.

49- Sharma, S. K. and Lees, B. G. 2004. A comparision of simulated annealing and GIS based MOLA for solving the problem of multi-objective land use assessment and allocation, 10 pp.

50- Aerts, J. C. J. H. & Heuvelink, G. B. M. 2002. Using simulated annealing for resource allocation. International Journal of Geographical Information Science, 16(6): 571-587.

51- Alier, J. L.; Cazorla, A. & Martínez, J. E. 1996. Optimization on Spatial Land Use Allocation: Methodology, Study Cases and Computer Package. (Spanish Ministry of Agriculture, Madrid) (in Spanish)

52- Mart, E.; Trueba, I.; Cazorla, A. & Alier, J. 1998. Optimization of spatial allocation of agricultural activities. Journal of Agricultural Engineering Research, 69(1): 1-13.

53- Engelen, G.; Geertman, S.; Smits, P. & Wessels, C. 1999, Dynamic GIS and strategic physical planning support: a practical application to the Ijmond/Zuid-Kennemerland region, in Geographical Information and Planning Eds J. Stillwell, S. Geertman, S. Openshaw (Springer, Berlin) pp: 87-111.

54- Wu, F. & Webster, C. J. 1998. Simulation of land development through the integration of cellular automata and multicriteria evaluation, Environment and Planning B: Planning and Design, 25: 103-126.

55- Li, X. & Yeh, A. G-O. 2002. Urban simulation using principal components analysis and cellular automata for land-use planning. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 68(4): 341-352.

56- Parker, D. C.; Manson, S. M. Janssen, M. A.; Hoffmann, M. J. & Deadman, P. 2003. Multi-Agent Systems for the simulation of land-use and land-cover change: A review, Annals of the Association of American Geographers, 93(2): 314-337.

57- Berryman, M. J. & Angus, S. D. 2010. Tutorials on agent-based modelling with NetLogo and network analysis with Pajek. In R. L. Dewar & F. Detering (Eds.), Complex Physical, Biophysical and Econophysical Systems: Proceedings of the 22nd Canberra International Physics Summer School (pp. 351-375). USA: World Scientific Publishing.

58- Ligtenberg, A.; Bregt, A. K. & van Lammeren, R. 2001. Multi-actor-based land use modeling: spatial planning using agents. Landscape and Urban Planning, 56 :21-33..

59- Berger, T. 2002. Multi-agent modelling applied to agroecological development, in Agent-Based Models of Land-Use and Land-Cover Change: Report and Review of an International Workshop, Irvine, California, October 4-7, 2001Eds D C Parker, T Berger, S Manson (Indiana University, Bloomington) pp 50-56.

60- Evans, T. P. & Kelley, H. 2004. Multi-scale analysis of a household level agent-based model of landcover change. Journal of Environmental Management, 72: 57-72.

61- Ligtenberg, A.; Wachowicz, M.; Bregt, A. K.; Beulens, A. & Kettenis, D. L. 2004. A design and application of a multi-agent system for simulation of multi-actor spatial planning. Journal of Environmental Management, 72: 43-55.

62- Snyder, K. 2003. Tools for community design and decision-making, in Planning Support Systems in Practice Eds S Geertman, J Stillwell (Springer-Verlag, Berlin) pp: 99-120.

63- Leitner, H.; McMaster, R. B.; Elwood, S., McMaster, S. & Sheppard, E. 2002. Models for making GIS available to community organizations: dimensions of difference and appropriateness, in Community Participation and Geographic Information Systems Eds W J Craig, T M Harris, D Weiner (Taylor & Francis, London) pp 37-52.