Archive of SID

جغرافیـــا و برنامـــه‌ریـــزی محیطـــی
سال ۲۷، پیاپی ٦٤، شـماره ٤، زمسـتان ۱۳۹۵

مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین: دسته‌بندی مفاهیم و مدل‌ها و بیان زمینه‌های تحقیق

ایمان مسگری*: دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، دانشگاه علم وصنعت ایران، تهران، ایران
محمدسعید جبل عاملی: استاد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم وصنعت ایران، تهران، ایران

وصـول: ۱۳۹٤/۹/۱۳ پـذیرش: ۱۳۹۵/۲/۱۳ ، صص ۹۲-۷۵

چکیده

مدل‌های شبیه‌سازی و بهینه‌سازی تغییرات کاربری زمین، ابزاری برای درک عوامـل پیشـران و پیامـدهای ناشـی از تغییـر کاربری‌های زمین است و شیوهٔ این تغییرات را در طی مکان و زمان پیش‌بینی و تشریح می‌کند. این مدل‌ها در کنـار ابزارهـای تحلیل سناریو کمک شایانی به سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان آمایش سرزمین می‌کند. انواع بسیاری از مدل‌های کـاربری زمـین و کاربردهای آن در حال حاضر وجود دارند که هر کدام از دیدگاه متفاوتی به مسأله نگاه کرده‌انـد. مـرور مفـاهیم موجـود در مبحث کاربری زمین و دسته‌بندی مدل‌های مربوط به لحاظ مفهومی و روش‌شناسی، قدم ابتدایی و اساسی در درک بهتـر ایـن مفاهیم و به‌کارگیری صحیح این مدل‌ها در کاربردهای دنیای واقعی است. همچنین داشتن نگـاهی جـامع بـه ایـن روش‌هـا و مدل‌ها و نیز نقاط قوت و ضعف هر کدام، می‌تواند به محققان در ارائهٔ نسل جدیدی از مـدل‌هـا کـه جامعیـت و یکپـارچگی بیشتری داشته باشند، کمک زیادی کند. بنابراین در این مقاله در سه قسمت، تحقیقات انجام‌شده در حـوزهٔ تغییـرات کـاربری زمین بررسی می‌شود: مفاهیم محوری، اصول محوری و روش‌هـای مـدل‌سـازی. ابتـدا محورهـای مفهـومی کـه متمایزکننـدهٔ تحقیقات انجام‌شده در بحث تغییرات کاربری زمین هستند، تشریح و سپس اصول محوری معرفی شده است که این تغییـرات بر اساس آن‌ها رخ می‌دهند. در ادامهٔ مقاله، شیوهٔ جاری‌شدن مفاهیم و اصول اشاره‌شده در قالب مدل‌هـای عملیـاتی مختلـف، تشریح و دسته‌بندی جامعی از مدل‌های موجود به لحاظ روش‌شناسی به‌کاررفته در آنها ارائه شده است. بر اساس دسـته‌بنـدی و مرور صورت‌گرفته، برخی از مسایل مهم قابل تحقیق در مدل‌سازی کاربری زمین و پیشنهاداتی برای توسعه‌های آینـدهٔ ایـن مدل‌ها بیان شده است. لزوم توجه بیشتر به جامعیت و یکپارچگی مدل‌ها و توسعهٔ مدل‌هایی با درنظرگرفتن اهداف جامع‌تر و نیز ارائهٔ روش‌های حل جدید و کارا از مهم‌ترین زمینه‌های تحقیقات آینده در این حوزه است.

واژه‌های کلیدی: تغییرات کاربری زمین، مدل‌سازی، مفاهیم، اصول، روش‌شناسی

***نویسنده مسؤول:** imesgari@iust.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

برنامه‌ریزی کاربری زمین به چگونگی استفاده، توزیع و حفاظت زمین اطلاق می‌شود (زیاری، ۱۳۸۱). مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین به طور کلی پیش‌بینی و توضیح فرایند تغییرات کاربری زمین را انجام می‌دهد. تلاش این مدل‌ها برای ساده‌سازی دنیای واقعی است؛ اما پیشرفت قدرت محاسباتی و کامپیوتری طی سال‌های اخیر، امکان اضافه‌کردن پیچیدگی‌های بیشتری را به این مدل‌ها داده و همین موضوع نیز، تنوع و رشد سریع آن‌ها را به دنبال داشته است.

در ادبیات موضوع پژوهش، دسته‌بندی‌های مختلفی از انواع روش‌ها برای مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین ارائه شده است. *بریاسولیس* (Briassoulis, 2000) بحث مفصلی از رایج‌ترین مدل‌های کاربری زمین و نظریه‌های مرتبط با آن‌ها ارائه می‌کند و آن‌ها را بر اساس روش‌شناسی استفاده‌شده در هر یک دسته‌بندی می‌کند: آماری/ اقتصادسنجی، برهم‌کنش‌های فضایی، بهینه‌سازی، یکپارچگی و سایر رویکردها. در همان سال، عده‌ای دیگر (Lambin, Rounsevell, & Geist, 2000) با تمایز بین مدل‌های آماری/ تجربی، تصادفی، بهینه‌سازی، شبیه‌سازی پویا و رویکردهای شبیه‌سازی یکپارچه، دسته‌بندی دیگری ارائه می‌کنند. در سال ۲۰۰۱، عده‌ای دیگر از محققان (Agarwal, Green, Grove, Evans, & Schweik, 2001)، ۱۹ مدل مختلف را بر اساس یک چهارچوب سه‌بعدی (فضا، زمان و انسان) تحلیل می‌کنند. *وربرگ* و همکارانش (Verburg, Schot, Dijst, & Veldkamp, 2004) مستقیماً دسته‌بندی مدل‌های کاربری زمین را مطرح نمی‌کنند و در مقابل، مدل‌های موجود را بر اساس شش مشخصهٔ اصلی آن‌ها بررسی می‌کنند: سطح تحلیل، پویایی‌های میان‌مقطعی، عوامل پیشران، برهم‌کنش‌های فضایی، اثرات همسایگان، پویایی‌های زمانی و سطح یکپارچگی. *کومن و استیلول* (Stillwell & Koomen, 2007) نیز اصولاً دسته‌بندی مدل‌ها را بیان نمی‌کنند و در عوض در رابطه با برخی مشخصه‌های این مدل‌ها بحث کرده‌اند: ایستا/ پویا، انتقال/ تخصیص، قطعی/ احتمالی، بخشی/ جامع و منطقه‌ای/ گریدی. در نهایت، *لانتمن* و همکارانش (Lantman, Verburg, Bregt, & Geertman, 2011)، در مقالهٔ مروری خود، مدل‌های تغییرات کاربری زمین را در قالب شش رویکرد، بررسی کرده‌اند: اتوماسیون سلولی، تحلیل‌های آماری، زنجیرهٔ مارکوف، شبکه‌های عصبی مصنوعی، مدل‌های مبتنی بر منطق اقتصادی و سیستم‌های کنشگرمحور.

اگرچه در تمام مطالعات مذکور از عوامل نسبتاً مشابهی به‌عنوان معیارهای دسته‌بندی استفاده شده، رویکردهای مختلف به مسأله، ایجاد طبقه‌بندی‌های متفاوتی را موجب شده است که یکپارچه‌کردن آن‌ها و مقایسهٔ آن‌ها را دشوار می‌کند. در واقع، پیچیدگی مدل‌ها از یک طرف و ماهیت بین رشته‌ای بودن دانش تحلیل کاربری زمین از طرف دیگر، باعث شده است که هر دسته از محققان از منظر رشته و نیاز مسایل حوزهٔ خود، مدل‌های کاربری زمین را دسته‌بندی کنند. در اینجا سعی شده است تا ابتدا عواملی که تحقیقات مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین را به لحاظ مفهومی از یکدیگر متمایز می‌کنند، برشمرده شوند و به عبارتی، تحقیقات انجام‌شده به لحاظ محتوایی دسته‌بندی شوند، سپس با در نظر گرفتن تحقیقات

www.SID.ir

Archive of SID

مذکور، ضمن بیان اصول محوری که تغییرات کاربری زمین بر اساس آن‌ها شکل می‌گیرد، تمام تحقیقات انجام‌شده در این زمینه به لحاظ روش‌شناسی دسته‌بندی شوند؛ به شکلی که پوشش‌دهندهٔ تمام تحقیقات اشاره‌شده در قبل نیز باشند.

روش تحقیق

این تحقیق از نوع مطالعات مروری نظام‌مند است که در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹٤ طراحی و انجام شده است. در این پژوهش از رویکرد مطالعات مروری نظام‌مند برگرفته از کتاب *به سوی روشی جهت مدیریت دانش به وسیلهٔ مرور نظام‌مند* (Tranfield, Denyer, & Smart, 2003) استفاده شده است.

اطلاعات مورد نیاز تحقیق در مرحلهٔ اول با استفاده از جستجوی کلیدواژه‌های کاربری زمین (land use)، تغییرات کاربری زمین (land use change)، مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین (land use change modelling) و برنامه‌ریزی فضایی (spatial planning) و در مرحلهٔ بعد با ترکیب آن‌ها با کلیدواژه‌های مدل‌سازی (modelling)، شبیه‌سازی (simulation)، بهینه سازی (optimization)، ارزیابی یکپارچه (integrated assessment)، الگوریتم (algorithm)، مرور ادبیات (literature review)، اولویت‌های تحقیق (research priorities)، اصول محوری (core principles) و مفاهیم (concepts) در پایگاه‌های اطلاعاتی scopus، elsevier، springer، emerald، wiley و SID جمع‌آوری شده است. بازهٔ زمانی انتخاب‌شده برای جست‌وجو، مقالات سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۱٤ بوده است. برای شناسایی و پوشش بیشتر مقالات منتشرشده بعد از جست‌وجوی پایگاه‌های اطلاعاتی، تعدادی از مجلات معتبر در این زمینه به صورت دستی (hand searching) نیز بررسی شد. بعد از حذف مقالاتی که ارتباط ضعیفی با حوزهٔ مدل‌سازی کاربری زمین داشتند و انتخاب مقالات اصلی که در این حوزه مرجع بودند، بار دیگر برای بالابردن اطمینان از شناسایی و بررسی مقالات موجود، لیست منابع (references) مقالات منتخب نیز جست‌وجو شد.

معیارهای انتخاب مقالات برای ورود به مطالعه عبارت از این بوده‌اند: انتشار مقالات بین سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۱٤، مقالاتی که به شکلی در زمینهٔ مدل‌سازی کاربری زمین و یا موضوعات مرتبط با آن بوده‌اند، مقالاتی که مکرراً محل ارجاع سایر تحقیقات بوده‌اند و نیز مقالات انتشاریافته در مجلات معتبر ISI. معیارهای خروج از مطالعه نیز مقالات ارائه‌شده در همایش‌ها، کنفرانس‌ها و مقالات آموزشی بوده‌اند.

گردآوری مقالات تا مرحلهٔ اشباع ادامه یافته است. تمام مقالات منتخب بعد از استخراج به صورت دستی، تحلیل و سپس هر مقاله در قالب مشخصه‌هایی در یک جدول استخراج داده، خلاصه شده است. این مشخصه‌ها عبارت از این هستند: مقیاس مطالعه، بخشی‌نگری و جامعیت، میزان یکپارچگی، توابع هدف، روش مدل‌سازی و مطالعهٔ موردی. هدف از این مرحله، شناسایی اشتراکات، تناقضات و روابط بین تحقیقات انجام‌شده در حوزهٔ کاربری زمین بوده است.

در این مطالعه، مهم‌ترین مفاهیم به‌کاررفته در مقالات در خصوص تغییرات کاربری زمین بررسی و گزارش شده است. همچنین روش‌های کاربردی برای مدل‌سازی شیوهٔ تغییرات کاربری زمین بر اساس تکرار و اولویت به‌کاررفته در مقالات، دسته‌بندی شده که در

www.SID.ir

Archive of SID

بخش‌های ۳ و ٤ تشریح شده است. همچنین بر اساس خروجی جدول استخراج داده و فراوانی مقالات ارائه‌شده در موضوعات مختلف مرتبط با کاربری زمین و نیز بیانات نویسندگان دربارهٔ اولویت مطالعات آینده، زمینهٔ تحقیقات بعدی در حوزهٔ مدل‌سازی کاربری زمین شناسایی و بحث شده است.

دسته‌بندی محتوایی تحقیقات تغییرات کاربری زمین

این بخش، دسته‌بندی محتوایی تحقیقات حوزهٔ تغییرات کاربری زمین را در قالب بیان ۵ محور مفهومی آورده است. این محورها با مشخصه‌ها، تعیین‌کنندهٔ نوع نگاه تحقیق به مسأله به لحاظ محتوایی هستند.

سطح تحلیل (Level of Analysis)

محققان، همواره دو رویکرد متمایز را در مطالعهٔ کاربری زمین در طی عمر این شاخهٔ تحقیقاتی دنبال کرده‌اند. روش محققان علوم اجتماعی بدین صورت است که رفتارهای فردی را در سطح خُرد مطالعه می‌کنند. برای این منظور برخی از آن‌ها روش‌های کیفی و برخی دیگر، روش‌های کمّی اقتصاد خُرد و روانشناسی اجتماعی را به کار گرفته‌اند (Verburg, Schot, Dijst, & Veldkamp, 2004). از سوی دیگر، محققان علوم طبیعی بر کاربری و پوشش زمین‌ها در سطح کلان متمرکز شده‌اند و از مشخصه‌ها و عوامل کلان مؤثر در تغییرات این عوامل برای تهیهٔ الگو استفاده کرده‌اند. پرکردن شکاف میان این دو رویکرد، همواره یکی از مشکلات حوزهٔ مطالعات کاربری زمین بوده است که اخیراً تحقیقاتی در این زمینه صورت گرفته است. این تفاوت‌ها خود را در مدل‌سازی نیز نشان داده است که در ادامه بیان می‌شود.

دیدگاه سطح خرد

تمام مدل‌های مبتنی بر دیدگاه سطح خرد، ابتدا شبیه‌سازی رفتار افراد را در سطح خرد و سپس تعمیم و ارتقای این رفتار را به سطح کلان مطرح می‌کنند تا از این طریق ارتباط لازم با الگوهای کاربری زمین را ایجاد کنند. دو رویکرد مهم در این زمینه عبارتند از: شبیه‌سازی چند کنشگر[1] و مدل‌های اقتصاد خرد.

مدل‌های چندکنشگر، تصمیم‌گیران سیستم را در قالب کنشگران شخصی مؤثر بر کاربری زمین شبیه‌سازی می‌کنند و ارتباطات بین آن‌ها را نیز در نظر می‌گیرند. توجه ویژه به تعاملات و ارتباطات بین کنشگرها، این امکان را برای این دسته از مدل‌ها فراهم می‌آورد تا مشخصه‌های برآیند نهایی سیستم را شبیه‌سازی کنند.

در مدل‌های مبتنی بر نظریهٔ اقتصاد خرد که برخی محققان آن را مرور کرده‌اند (Kaimowitz & Angelsen, 1998)، (Irwin & Geoghegan, 2001)، ابتدا اشخاص مالک زمینی در نظر گرفته می‌شوند که می‌خواهند سود در نظر خود (مطلوبیت) را از زمین به حداکثر برسانند و سپس از نظریهٔ اقتصاد خرد برای توسعهٔ مدل استفاده می‌شود. فرض‌های در نظرگرفته‌شده در این مدل‌ها در رابطه با رفتار افراد، تنها در همان سطح خرد، اعتبار دارد. در واقع، مشکل اصلی در تعمیم مقیاس این مدل‌ها به سطح کلان است؛ زیرا اصولاً این مدل‌ها برای کارکردن در مقیاس خرد ساخته شده‌اند. *جانسن* (Jansen & Stoorvogel, 1998) و نیز *هایمنس* (Hijmans & Van Ittersum, 1996)، مشکلات ناشی از سطح تحلیل را نشان

[1] Multi-agent Simulation

www.SID.ir

Archive of SID

داده‌اند که هنگام به‌کارگیری این مدل‌ها در سطح تجمیع‌شدهٔ بالاتر رخ می‌دهد.

دیدگاه سطح کلان

مطالعاتی که بر دیدگاه سطح کلان استوار هستند، معمولاً مبتنی بر نظریهٔ اقتصاد کلان هستند و یا رویکردهای سیستمی را به کار می‌گیرند. برای مثال، مدل اقتصادی با دیدگاه سطح کلان، مدل LUC است که برای چین توسعه داده شده است. این مدل بر مدل‌سازی تعادل عمومی مبتنی است. مدل‌سازی تعادل عمومی از جداول ورودی – خروجی[1] (I-O) به‌عنوان ورودی ابتدایی که ماهیت اقتصادی دارد، شروع و سپس از مدل بهینه‌سازی پویا برای حداکثرسازی رفاه کل استفاده می‌کند (برای مطالعهٔ دقیق به Fischer & Sun, 2001) مراجعه کنید).

دستهٔ دیگری از مدل‌های تغییرات کاربری زمین در دیدگاه کلان بر اساس تحلیل ساختار فضایی از شیوهٔ کاربری زمین بنا شده‌اند و از این رو به رفتار افراد و یا بخش‌های اقتصادی محدود نیستند. از بین این مدل‌ها، به این نمونه‌ها می‌توان اشاره کرد: مدل CLUE (Veldkamp & Fresco, 1996)، مدل GEOMOD2 (Pontius, Cornell, & Hall, 2001) و مدل LTM (Pijanowski, Brown, Shellito, & Manik, 2002).

مقیاس (Scale)

منظور از مقیاس در مدل‌سازی کاربری زمین، می‌تواند مقیاس‌های فضایی، زمانی، کمّی یا ابعاد تحلیلی باشد که محققان آن را برای مطالعه و اندازه‌گیری موضوعات و فرایندها به کار برده‌اند. هر کدام از این مقیاس‌ها، گستره[2] و میزان شفافیت[3] دارند. منظور از گستره، بزرگی ابعادی است که در اندازه‌گیری استفاده می‌شود (مانند مساحت ناحیهٔ پوشش‌داده‌شده در مدل بر اساس کیلومتر مربع)، در حالی که شفافیت به دقتی که اندازه‌گیری می‌شود، اشاره دارد (مثلاً ابعاد سلول‌های ناحیهٔ مطالعه‌شده).

اکثر مدل‌های کاربری زمین، تنها برای استفاده در یک مقیاس مشخص بنا نهاده شده‌اند. شیوهٔ انتخاب این مقیاس، معمولاً به صورت تصادفی یا به دلایل ذهنی نویسنده و یا پیشینهٔ علمی محقق انجام می‌شود و به طور شفاف گزارش نمی‌شود (Gibson, Ostrom, & Anh, 2000).

پویا / ایستا (Dynamic/ Static)

یکی دیگر از تمایزات بین مدل‌های کاربری زمین به پویایی یا ایستایی آن‌ها برمی‌گردد. مدل‌های ایستا به شکل مستقیم، وضعیت در یک نقطه از زمان را محاسبه می‌کنند، در حالی که مدل‌های پویا، گام‌های زمانی میانی‌ای را در نظر می‌گیرند که هر یک از این گام‌ها می‌تواند خود، نقطهٔ شروعی برای محاسبهٔ وضعیت‌های آینده باشد. بنابراین، مدل‌های پویا، توسعه‌های ممکن در طول دورهٔ شبیه‌سازی را نیز در نظر می‌گیرند و تصویر واقعی‌تری از توسعه‌های فضایی به دست می‌دهند. در واقع، تغییرات کاربری زمین را نمی‌توان صرفاً بر اساس نقطهٔ تعادل عوامل تأثیرگذار فعلی تشریح کرد و ماهیت غیر خطی این تغییرات، مدل‌سازی پویا را با درنظرگرفتن گام‌های زمانی کوچک می‌طلبد.

قطعی/ احتمالی (Deterministic/ Probabilistic)

[1] Input- Output Tables

[2] Extent

[3] Resolusion

www.SID.ir

Archive of SID

رویکردهای به‌کاررفته برای شبیه‌سازی تغییرات کاربری زمین، ممکن است به شکل قطعی و یا احتمالی باشد. رویکردهای قطعی، روابط علی - معلولی سختی را به کار می‌گیرند، در حالی که رویکردهای احتمالی، احتمال رخ‌دادن تغییرات کاربری زمین را در نظر دارند. بنای رویکردهای دستهٔ دوم، درنظرگرفتن نوعی نبود قطعیت در مدل است. در این رویکرد، کاربری تخصیص‌داده‌شده به یک موقعیت، به جای یک روش استنتاجی سر راست، بر اساس یک احتمال (که به روش‌های مختلف برآورد می‌شود) است. در برخی موارد، یک جملهٔ خطای تصادفی برای نشان‌دادن نبود قطعیت در عوامل توضیح‌دهنده، اضافه می‌شود.

بخشی/ یکپارچه (Sector specific/ Integrated)

مدل‌های بخشی با تکیه بر یک بخش خاص، تنها بر یک نوع کاربری از انواع کاربری‌های زمین، تمرکز (مانند کشاورزی، مسکن و...) و آن بخش را تا جای ممکن به‌دقت تشریح می‌کنند. مدل‌های یکپارچه ارتباطات چندگانه میان بخش‌های مختلف را نیز در نظر می‌گیرند و در نتیجه رفتار سیستم کاربری زمین را به رفتار سیستمی نزدیک می‌کنند. مدل‌هایی که به‌درستی یکپارچه شده‌اند، بازخوردهای متقابل سیستم کاربری زمین و سایر سیستم‌های مرتبط را مانند اقلیم، آب و هوا و حمل و نقل نیز در مدل‌سازی، مشارکت می‌دهند.

دسته‌بندی روش‌شناسی تحقیقات مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین

اصول محوری مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین

تغییر کاربری زمین، فرایندی است که در نتیجهٔ پدیده‌های بیوفیزیکی و اقتصادی - اجتماعی شکل می‌گیرد و به مکان جغرافیایی، مقیاس، اندازهٔ زمین و وضعیت فعلی کاربری زمین، ارتباط و وابستگی پیدا می‌کند. کار رایج مدل‌سازان در این حوزه، توضیح و تشریح فرایند مذکور بر اساس یک‌سری مفاهیم و مکانیزم‌های خاص است (مانند اتوماسیون سلولی). در نتیجه، مفاهیم تغییرات کاربری زمین از یک‌سری اصول محوری تشکیل شده است که می‌توان تصور کرد فرایندهای دنیای واقعی بر اساس این اصول عمل می‌کنند. در ادامه، این اصول و مفاهیم در قالب الگوریتم‌هایی پیاده‌سازی می‌شوند که این الگوریتم‌ها، مدل‌های مختلف تحلیلی را شکل می‌دهند. در واقع، یک الگوریتم و یا یک مدل شبیه‌سازی، چیزی به غیر از مفاهیم و اصول محوری که در قالب قوانین محاسباتی پیاده‌سازی شده است، نیست.

بررسی عمیق ادبیات مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین نشان می‌دهد که تمام مدل‌های موجود در این رابطه، حداقل بر یکی از چهار اصل محوری ذیل بنا نهاده شده‌اند (Lantman, Verburg, Bregt, & Geertman, 2011).

پیوستگی توسعهٔ تاریخی (Continuation of historical development): دیدگاه موجود در این اصل آن است که شیوهٔ به‌کارگرفتن زمین در آینده با روندهای گذشته و تاریخی، قابل پیش‌بینی است. این مسأله به چند روش تفسیر می‌شود: مثلاً در گذشته انسان‌ها علاقه داشتند تا در نزدیکی منابع آب زندگی کنند؛ بنابراین احتمالاً در آینده نیز چنین خواهد بود یا مثلاً در طی یک بازهٔ زمانی ۱۵ درصد، جنگل‌ها به

www.SID.ir

Archive of SID

مناطق مسکونی تبدیل شده‌اند؛ پس محتمل است که در بازهٔ زمانی مشابه در آینده دوباره این اتفاق رخ دهد.

مناسب‌بودن زمین (suitability of land): مناسب‌بودن یک قطعه زمین را می‌توان به شکل ترکیبی از عوامل مختلف مانند مناسب‌بودن خاک، موقعیت جغرافیایی، ویژگی‌های فیزیکی آن قطعه زمین (نزدیکی به بازار یکی از جنبه‌های موقعیت جغرافیایی است) دانست. دیدگاه موجود در این اصل آن است که افراد خواهان بیشینه‌کردن سود خود هستند که این سود در قالب واحدهای پولی (کمّی) یا سایر واحدهای غیر قابل اندازه‌گیری (کیفی) بیان می‌شود.

برهم‌کنش مجاورتی (neighbourhood interaction): اصل برهم‌کنش مجاورتی، بیان می‌کند که احتمال تغییر کاربری زمین از یک نوع به نوع دیگر، به کاربری زمین در زمین مجاور بستگی دارد. این وابستگی می‌تواند به شکل بیوفیزیکی (مثلاً یک نوع پوشش خاص زمین می‌تواند بر زمین‌های اطراف تأثیرگذار باشد) و یا اقتصادی – اجتماعی باشد. بخش دوم (وابستگی اقتصادی – اجتماعی) را می‌تواند نظریهٔ پیرامون مرکز که در فصل قبل بدان اشاره شد، پشتیبانی کند.

تعامل بین بازیگران (actor interaction): فرض اساسی در تصمیم‌سازی‌های بازیگرمحور آن است که کاربری زمین در نتیجهٔ تعامل و برهم‌کنش میان بازیگران مشخص می‌شود. بازیگران در جایگاه عملگرها (agent) قابل نمایش هستند و می‌توانند به صورت موجودیت یکتا یا گروهی از عملگرها (بسته به مقیاس مدل‌سازی) باشند. مفاهیم محوری تصمیم‌سازی بازیگران به شناخت و توضیح پیشران‌ها و سیاست‌های توسعه کمک می‌کند. نکتهٔ پیچیده در این رابطه آن است که تنها در سال‌های اخیر، تلاش‌هایی برای شناخت تعاملات بازیگران انجام شده و ترجیحات آن‌ها پیگیری شده است؛ بنابراین میزان داده‌ها اندک و اعتبارسنجی آن‌ها دشوار است. در واقع، این اصل هنوز در دوران کودکی و بلوغ خود قرار دارد، ولی به نظر می‌رسد که ابزار تحقیق امیدوارکننده‌ای باشد.

روش‌های استفاده‌شده در مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین

مدل‌هایی که در ادبیات تحلیل کاربری زمین به کار رفته است، بر یکی از چهار اصول محوری مذکور یا ترکیبی از آن‌ها بنا نهاده شده است. *لانتمن* و همکارانش (Lantman, Verburg, Bregt, & Geertman, 2011)، با بررسی ۱۵۰۰۰ مجلهٔ پایگاه اسکاپوس در رابطه با مدل‌های تغییرات کاربری زمین، روش‌های استفاده‌شده در مدل‌های موجود را در شش دسته طبقه‌بندی کرده‌اند. این شش دسته عبارت از این هستند:

- اتوماسیون سلولی (Cellular automata)؛
- تحلیل‌های آماری (Statistical analysis)؛
- زنجیرهٔ مارکوف (Markov chains)؛
- شبکه‌های عصبی مصنوعی (Artificial neural networks)؛
- مدل‌های اقتصادمحور (Economics-based models)؛
- سیستم‌های کنشگرمحور (Agent base systems).

همان‌طور که مشاهده می‌شود، این طبقه‌بندی بر اساس روشی است که هر یک از محققان در تحلیل و

www.SID.ir

Archive of SID

مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین به کار برده‌اند. در این تحقیق با مبنا قراردادن این دسته‌بندی و البته اضافه‌کردن دستهٔ هفتم با عنوان «مدل‌های بهینه‌سازی» (Optimization Models) مدل‌های کاربری زمین در این بخش تشریح شده است.

در واقع در یک گروه‌بندی کلی و اولی، مدل‌های تغییر زمین‌ها به دو گروه الف) توصیفی – توضیحی و ب) تجویزی، تقسیم می‌شوند. گروه اول به شبیه‌سازی کارکرد سیستم‌های تغییر زمین و نیز شبیه‌سازی (صرفاً فضایی) الگوهای کاربری زمین در آیندهٔ نزدیک، اختصاص دارند (شش دستهٔ اشاره‌شدهٔ قبل همگی در این گروه قرار دارند)؛ در حالی که گروه دوم (مدل‌های تجویزی) به دنبال یافتن حالت بهینهٔ کاربری زمین است؛ به صورتی که دستیابی به اهداف خاصی را تا حد امکان میسّر کند. در این مدل‌ها (که در اینجا، مدل‌های بهینه‌سازی نامیده شده‌اند) از تکنیک‌های برنامه‌ریزی ریاضی و بهینه‌سازی استفاده می‌شود. این مدل‌ها به دنبال یافتن جواب برای مسایل تصمیم‌گیری در شرایطی هستند که یک یا چند هدف با وجود برخی محدودیت‌ها، باید برآورده شود. در ادامه، مدل‌های مذکور در قالب دو گروه و هفت دستهٔ اشاره‌شده، معرفی می‌شوند.

مدل‌های توصیفی – توضیحی

این بخش، مدل‌های کاربری زمین توصیفی – توضیحی را در شش دستهٔ اشاره‌شده بیان کرده است.

اتوماسیون سلولی (CA)

شناخته‌شده‌ترین مدل تغییر کاربری زمین در ادبیات موضوع، اتوماسیون سلولی است (Langdon, 1998). اصل پایه در اتوماسیون سلولی آن است که تغییر کاربری زمین به وسیلهٔ وضعیت فعلی یک سلول و تغییرات در سلول‌های همسایهٔ آن، قابل تشریح است؛ بنابراین مدل‌های این دسته بر مبنای اصل محوری «پیوستگی توسعهٔ تاریخی» و «برهم‌کنش مجاورتی» هستند. به عبارت دیگر، چنانچه یک جاده در میان یک جنگل کشیده شود، اتصال بین مناطق، بیشتر و در نتیجهٔ آن، کاربری‌های جنگلی به مسکونی تبدیل می‌شود. اتوماسیون سلولی دربردارندهٔ چهار عنصر است: فضای سلول، وضعیت سلول، گام‌های زمانی و قوانین انتقال (White & Engelen, 1994). قوانین انتقال می‌تواند بر اساس نظرات متخصصان یا در نتیجهٔ تحلیل‌های آماری باشد. دو نوع اتوماسیون سلولی وجود دارد: محدودیت‌دار و بدون محدودیت. در اتوماسیون سلولی بدون محدودیت (که به نظر درست‌تر است)، تنها از قوانین انتقال برای تعیین تغییرات کاربری زمین استفاده می‌شود؛ در حالی که در حالت محدودیت‌دار، میزان تغییر کاربری زمین به ازای هر کاربری، محدود است و این محدودیت توسط متخصصان یا از روی روندهای تاریخی کاربری زمین، به دست می‌آید.

تحلیل آماری

تمام انواع اطلاعات آماری از طریق نقشه‌های کاربری زمین استخراج می‌شود. اطلاعات آماری بر اساس هر چهار اصل محوری اشاره‌شده (بسته به هدف محقق) است. یکی از ابزارهایی که به شکل بسیار وسیعی در این رابطه استفاده شده است، برنامهٔ کامپیوتری FRAGSTATS است که *مک‌گریگال* و *مارکس* (McGarigal & Marks, 1995) آن را ارائه کرده‌اند و می‌تواند انبوهی از داده‌های آماری را تحلیل کند. روش‌هایی مانند رگرسیون خطی (linear regression)، رگرسیون پروبیت (probit regression)،

www.SID.ir

Archive of SID

لاجیت دوجمله‌ای (binominal logit) و لاجیت چندجمله‌ای (multinominal logit) را می‌توان در دستهٔ تحلیل‌های آماری کاربری زمین گنجاند. تحلیل لاجیت یک مدل خطی قابل تفسیر را فراهم می‌کند (deMaris, 1992). رگرسیون لجستیک برای تحلیل احتمال رخداد بر مبنای عوامل مختلف شکل‌دهی به یک کاربری خاص (مانند مشخصه‌های بیوفیزیکی یا فاصلهٔ مکان تا بازار) به کار می‌رود (Verburg, Schot, Dijst, & Veldkamp, 2004). ضرایب تغییرات نیز با بررسی روندهای گذشته و برون‌یابی‌کردن آن برای آینده محاسبه می‌شود. مدل لاجیت می‌تواند بر مبنای تعامل همسایگان، تغییرات گذشتهٔ کاربری زمین، مناسب‌بودن زمین، موقعیت فضایی و یا ترکیبی از اینها، بنا نهاده شود. مدل لاجیت دوجمله‌ای، دسته‌ای از مدل‌های خطی معمولی است که پیش‌بینی‌ای از تغییرات کاربری زمین نسبت به تمام گزینه‌های دیگر، به دست می‌دهد. مدل لاجیت چندجمله‌ای نیز به شکل مشابه است، با این تفاوت که تغییرات دسته‌های کاربری مختلف زمین را نسبت به یک دستهٔ مرجع، توضیح می‌دهد (Liao, 1994) (deMaris, 1992) (Wrigley, 1976).

زنجیره‌های مارکوف

بورنهام (Burnham, 1973) از نخستین کسانی بود که پیشنهاد استفاده از زنجیرهٔ مارکوف را در مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین داد. این چنین تحلیل‌هایی بر مبنای اصل محوری پیوستگی توسعهٔ تاریخی است. تحلیل مارکوفی از ماتریس‌هایی برای نمایش تبدیلات در بین کاربری‌های زمین استفاده می‌کند.

با فرض ایستایی (ثابت‌بودن نرخ زمانی و میزان تغییرات)، این ماتریس برای محاسبهٔ احتمال تغییر یک کاربری مشخص به کاربری مشخص دیگر به کار می‌رود. محدودیت اصلی این روش آن است که تعیّن فضایی (spatial resolution) ندارد و از این رو فرض‌های دیگری برای تخصیص لازم است. همچنین بین ماتریس مارکوف مرتبهٔ اول و مرتبهٔ دوم نیز تمایز وجود دارد. در مارکوف مرتبهٔ اول از یک ماتریس وضعیت فعلی و یک ماتریس تغییرات بر اساس نظرات خبرگان استفاده می‌شود؛ در حالی که در مارکوف مرتبهٔ دوم، ماتریس تغییرات با روندهای تاریخی تغییرات کاربری زمین، محاسبه می‌شود. از آنجا که نرخ تغییرات در طول زمان ثابت فرض می‌شود، این ماتریس تغییرات مانند ماتریس تغییرات در مارکوف مرتبهٔ اول، قابل استفاده است.

شبکه‌های عصبی مصنوعی

استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANNs) در مدل‌سازی کاربری زمین در سال‌های اخیر به شکل فزاینده رواج پیدا کرده است. دلیل این موضوع، پیشرفت کارایی محاسباتی و افزایش دسترسی به نرم‌افزارهای قوی و منعطف است (Skapura, 1996). ANNs مدل‌های کامپیوتری خودآموز هستند که در بسیاری از شاخه‌های علمی برای تشخیص الگوها به کار می‌روند و اخیراً راه خود را به بحث مدل‌سازی کاربری زمین نیز باز کرده‌اند. الگوریتم ANN، فرض می‌کند که رابطه‌ای بین گذشته و آیندهٔ کاربری زمین وجود دارد و همچنین از نقشه‌های میزان مناسب‌بودن زمین برای کاربری‌های مختلف نیز استفاده می‌کند. ANN را می‌توان بر هر چهار اصل محوری تغییرات کاربری زمین بنا نهاد. اولین کسی که از این روش در

www.SID.ir

Archive of SID

تحلیل تغییرات کاربری استفاده کرد، *پیجانوسکی* (Pijanowski, Brown, Shellito, & Manik, 2002) بود. در این روش، ابتدا مدل پیشنهادی با مجموعه دادهٔ موجود و نیز نقشه‌های متناظر با آن داده‌ها برای سال‌های مختلف، آموزش داده می‌شود. سپس از نقشه‌های آموزش داده‌شده برای پیش‌بینی الگوهای کاربری زمین در آینده استفاده می‌شود (Pijanowski, Mas, Pithadia, Shellito, & Alexandridis, 2005) (Puig, Palacio, & osa-Lopez, 2004).

مدل‌های اقتصاد محور

مدل‌های اقتصاد محور، بیش از آن که یک مدل عملیاتی باشند، بیشتر نظریه‌های اقتصادی حوزهٔ کاربری زمین هستند؛ اما به هر حال نمی‌توان آن‌ها را در هنگام لیست‌کردن مدل‌ها از قلم انداخت. این مدل‌ها بر مبنای اصل محوری «مناسب بودن زمین» (بر اساس پول یا سایر واحدها) هستند؛ هر چند که می‌توان آن‌ها را بر اساس اصل «پیوستگی توسعه تاریخی» نیز در نظر گرفت. نخستین نظریه در این زمینه، نظریهٔ *ون تونن* در سال ۱۸۲٦ بود که در قرن نوزده به انگلیسی ترجمه شد (von Thünen, 1966). بعدها *آلونسو* (Alonso, 1964) این نظریه را توسعه داد و نیز *سینکلایر* (Sinclair, 1967) آن را به لحاظ شامل‌شدن پراکندگی مراکز شهری، بسط داد. کاربردهای اخیر این نظریه‌ها را می‌توان در تحقیقات *نلسون* (Nelson & Hellerstein, 1997) و *والکر* (Walker, 2004) یافت.

سیستم‌های کنشگرمحور

مدل‌سازی کنشگرمحور، مدل‌سازی فردمحور، شبیه‌سازی خرد یا مدل‌سازی فعالیت‌محور، همگی پس‌زمینه‌های مشابهی دارند و از اصل محوری «تعامل بین بازیگران» نشأت می‌گیرند. از سال ۱۹٦٦ به بعد، مقالات مرتبط با مدل‌های کنشگرمحور در بحث تحلیل تغییرات کاربری زمین به‌تدریج رو به افزایش گذاشت.

یک مدل کنشگرمحور برای تغییرات کاربری زمین، دو بخش اساسی دارد: ابتدا نقشه‌ای از ناحیهٔ مطالعاتی و سپس مدلی از کنشگران که شیوهٔ تصمیم‌سازی انسانی را نمایش می‌دهد (Parker, Berger, & Manson, 2001). ترجیحات یک کنشگر می‌تواند با قضاوت خبرگان، مشخص شود یا از طریق پرسشنامه جمع‌آوری شود و یا از طریق تکنیک شبکه‌های عصبی مصنوعی به دست آید. یک کنشگر در واقع، نمایش یک بازیگر در فرایند تغییر کاربری زمین است و می‌تواند یک شخص یا یک گروه باشد. تعامل بازیگران می‌تواند هر یک از گزینه‌های ذیل باشد:

- تعاملات بین اشیاء فضایی محیط با بازیگران
- تعامل بین اشیاء فضایی محیط
- تعامل بین بازیگران با اشیاء فضایی محیط
- تعاملات بین بازیگران

در مواقعی که نبود قطعیت در رابطه با پارامترهای مدل پیش آید، از قواعد خبره‌محور برای بهره‌برداری از نظرات خبرگان و کاستن از نبود قطعیت می‌توان استفاده کرد. مدل کاربردی IMAGE را می‌توان نمونه‌ای از مدل‌هایی دانست که بر اساس قواعد خبره‌محور ساخته شده است (Alcamo, Kreileman, Krol, & Zuidema, 1994).

مدل‌های تجویزی

مدل‌های تجویزی به دنبال یافتن حالت بهینهٔ کاربری زمین است؛ به صورتی که دستیابی به اهداف خاصی را تا حد امکان میسر کند. در این مدل‌ها (که به آن‌ها مدل‌های بهینه‌سازی نیز می‌گویند) از

www.SID.ir

Archive of SID

تکنیک‌های برنامه‌ریزی ریاضی و بهینه‌سازی استفاده می‌شود. این مدل‌ها به دنبال یافتن جواب برای مسایل تصمیم‌گیری در شرایطی هستند که یک یا چند هدف با وجود برخی محدودیت‌ها باید برآورده شوند. در نهایت، اگرچه این مدل‌ها «تجویزی» نامیده می‌شود، به‌عنوان ابزارهای ارزیابی نیز استفاده می‌شوند. ملاک دسته‌بندی این مدل‌ها، تکنیک‌های خاص بهینه‌سازی و برنامه‌ریزی ریاضی است که در آن‌ها به کار رفته است[1]. مبتنی بر این ملاک، مدل‌های تجویزی را به شش دسته می‌توان تقسیم کرد (Briassoulis, 2000):

مدل‌های برنامه‌ریزی خطی (Linear Programming)

ویژگی مشخص مدل‌های خطی، همان طور که از اسم آن‌ها پیداست، خطی‌بودن تابع هدف و محدودیت‌های مسأله است. مدل هربرت – استیونز (Herbert & Stevens, 1960) را شاید بتوان نخستین مدل برنامه‌ریزی خطی دانست که با هدف توزیع بهینهٔ خانواده‌ها در زمین‌های مسکونی موجود داخل یک مدل بزرگ‌تر که به منظور مطالعهٔ حمل و نقل شهر نیوجرسی بود، توسعه داده شد. این مدل، منطقهٔ مطالعه را به شکل چندین ناحیه فرض می‌کند و سپس به شکل تکراری[2]، محل اسکان بهینهٔ خانواده‌ها را در زمین‌های مسکونی در دسترس تعیین می‌کند. بعدها بمی و همکارانش (Bammi & Paton, 1976) مدلی را پیشنهاد کردند که ساختار پایهٔ مدل‌های برنامه‌ریزی خطی را دارد. همچنین ملاحظات محیطی را در تابع هدف و محدودیت‌ها، وارد مدل کرده است و به دنبال تخصیص بهینهٔ انواع کاربری‌های زمین با درنظرگرفتن همزمان چندین تابع هدف و نیز محدودیت‌های موجود است. تحقیقات *رومنسن* (Romanos, 1976) و *اسچلاگر* (Schlager, 1965) را نیز باید در دستهٔ مدل‌های خطی در نظر گرفت.

مدل‌های برنامه‌ریزی خطی چندهدفه (MOLP[3]):

مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه، آن دسته از مسایل کاربری زمین را هدف قرار می‌دهد که به دنبال برآورده‌کردن بیش از یک هدف هستند. از جمله نکات مهم در این دسته مسایل، اهداف و محدودیت‌های مرتبط با ویژگی‌های محیطی است. نقش و تأثیر عوامل محیطی در تخصیص کاربری زمین به‌خصوص در مناطق کشاورزی، همواره اهمیت بسیار زیادی داشته است. همچنین، نیاز به داده‌های جزئی فضایی و نیز نمایش فضایی جواب بهینهٔ مسأله از موضوعاتی است که محققان در این زمینه بر آن تأکید داشته‌اند. پیدایش و پیشرفت فناوری و تکنیک‌های GIS از اوایل دههٔ ۱۹۸۰، امکان استفادهٔ بهتر از اطلاعات موجود برای نمایش جزییات فضایی را میسر کرده است. همزمان، مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی برای مناطق روستایی ظاهر شده‌اند که به عوامل محیطی در منطقهٔ مطالعاتی، حساس و به GIS برای نمایش جواب بهینهٔ خروجی مدل متصل هستند. برخی از این کاربردها را می‌توان در تحقیقات *کمپبل* (Campbell, Radke, Gless, & Wirtshafter, 1992)، *جانسن* (Jansen R. , 1991)، *استوروگل* (Stoorvogel, 1995) یافت.

مدل‌های برنامه‌ریزی پویا (Dynamic Programming)

دستهٔ دیگری از تکنیک‌های بهینه‌سازی که در تحلیل مسایل کاربری زمین کاربرد دارد، برنامه‌ریزی

[1] تنها استثنا در این رابطه مدل‌های حداکثر مطلوبیت هستند که از نظریه‌های اقتصاد خرد الهام گرفته شده‌اند.

[2] Iterative

[3] Multi Objective Linear Programming

www.SID.ir

Archive of SID

پویا است. برنامه‌ریزی پویا یک تکنیک برنامه‌ریزی ریاضی است که معمولاً برای انتخاب سلسله‌ای از تصمیمات به هم مرتبط، مفید واقع می‌شود. *هیلیر* و *لیبرمن* (Hillier & Lieberman, 1980) یک کاربرد و تطبیق ساده‌شده از این رویکرد را در رابطه با تخصیص بهینهٔ کاربری زمین در منطقهٔ مطالعاتی ارائه کرده‌اند. همچنین در یک نمونهٔ دیگر، *هاپکینز* (Hopkins، Brill، Liebman، & Wenzal ، 1987) تخصیص کاربری زمین‌های زیرحوضهٔ رودخانه را با هدف کمینه‌کردن خسارات ناشی از سیل و بیشینه‌کردن اجارهٔ اقتصادی زمین، بررسی کرده است. چندین نمونه از مسایل تخصیص کاربری زمین وجود دارد که با نمونه‌های مذکور مشابه است و استفاده از برنامه‌ریزی پویا را برای یافتن الگوی بهینهٔ کاربری زمین و دستیابی به اهداف اقتصادی و محیطی، توجیه می‌کند. نکتهٔ مهمی که باید بدان توجه کرد آن است که کاربرد برنامه‌ریزی پویا تنها زمانی توجیه دارد که مسألهٔ تصمیم‌گیری، مستلزم انتخاب یک سلسله تصمیمات مرتبط با هم است.

مدل‌های برنامه‌ریزی آرمانی (Goal Programming)

برنامه‌ریزی آرمانی، تکنیک برنامه‌ریزی ریاضی است که تلاش می‌کند تا دستیابی به بیش از یک هدف را به شکل همزمان برآورده کند. مطابق آنچه *هیلیر و لیبرمن* (Hillier & Lieberman, 1980) بیان کرده‌اند، دیدگاه اصلی آن است که برای هر یک از اهداف، یک مقدار عددی، تعیین و سپس هر هدف در قالب یک تابع هدف، فرموله شود. سپس باید به دنبال جوابی گشت که مجموع (وزن‌دار) انحراف این توابع هدف را از مقدار درنظرگرفته‌شده، کمینه کند. مدل برنامه‌ریزی آرمانی عمدتاً برای مسایل تصمیم‌گیری در بخش خصوصی کاربرد داشته و به استفاده از آن برای کاربردهای بخش عمومی (مانند مسایل مرتبط با تخصیص کاربری زمین) همواره انتقاد شده است. مثلاً از دلایل این موضوع می‌توان به ساده و سرراست‌نبودن (و یا به لحاظ سیاسی، به‌مصلحت‌نبودن) تعیین مقادیر اهداف که در برنامه‌ریزی آرمانی به آن نیاز است، اشاره کرد. با وجود این، کاربردهایی از این تکنیک در مدیریت جنگل‌ها، برنامه‌ریزی منابع کشاورزی و تفریحی و مسایل مکان‌یابی صنعتی و مسکونی وجود دارد (Lonergan & Prudham, 1994).

مدل‌های برنامه‌ریزی سلسله‌مراتبی (Hierarchical programming)

برنامه‌ریزی سلسله‌مراتبی، رویکرد برنامه‌ریزی چندبُعدی (یا چندهدفه) است که برای مسایلی که می‌توان اهداف را بر اساس اهمیت، رتبه‌بندی و مرتب کرد، مناسب است. فرایند حل این مدل‌ها بر اساس بهینه‌سازی توابع هدف به شکل دنباله‌ای و پشت سر هم و بر اساس رتبهٔ ترتیبی اهمیت آن‌ها است. مجموعه‌ای از محدودیت‌ها در هر مرحله و مبتنی بر نتایج حاصل از مرحلهٔ قبل، قابل اِعمال است. *نایکمپ* (Nijkamp, 1980) کاربردی از برنامه‌ریزی سلسله‌مراتبی را در در مسألهٔ کاربری زمین صنعتی در یک شهرک صنعتی تازه تأسیس در حوالی شهر رتردام، ارائه کرده است.

مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره / چندهدفه (MCDM/MODM[1])

[1] Multi Criteria Decision Making/ Multi Objective Decision Making

www.SID.ir

Archive of SID

گروه آخر از مدل‌های بهینه‌سازی که در این تحقیق بررسی شده است، ترکیب تکنیک‌های بهینه‌سازی با رویکردهای چندمعیاره/ چندهدفه در شرایط دارای تعیّن فضایی است. ریشهٔ کاربرد این مدل‌ها در تحلیل‌های کاربری زمین (که نسبت به مدل‌های قبلی، روند کاربرد اخیرتری دارند) به اواسط دههٔ ۱۹۷۰ برمی‌گردد، اما در اوایل دههٔ ۱۹۸۰ به دلیل توسعهٔ فناوری اطلاعات، رشد شتابانی به خود گرفته است.

با توجه به کاربرد بسیار عبارت‌های «چندمعیاره« و «چندهدفه» لازم است تا توضیحی در رابطه با تفاوت این دو ارائه شود. *نایکمپ* (Nijkamp, 1980) یک وجه تمایز در این باره پیشنهاد می‌کند: مدل‌های گسسته، تعداد محدودی از گزینه‌های موجّه یا راهکار قابل انتخاب دارند (به طور مثال در مسایل انتخاب از بین پروژه‌ها یا ارزیابی طرح‌ها). مدل‌های گسسته معمولاً «مدل‌های چندمعیاره» نامیده می‌شوند. مدل‌های پیوسته بر پایهٔ تعداد نامحدودی از مقادیر قابل انتخاب توسط متغیرهای تصمیم مسأله و به دنبال آن تابع هدف هستند. این مدل‌ها معمولاً «مدل‌های چندهدفه» نامیده می‌شوند. همچنین ادبیات روش‌های چندمعیاره / چندهدفه به موازات پیشرفت تکنیک‌های مربوط، تفاوت‌های فلسفی و روش‌شناسی دیگری از این دو مفهوم را ارائه کرده‌اند. تفاوت مشخص بین مدل‌های تک‌هدفه و چندهدفه آن است که اولی، تنها یک جواب بهینه را به دست می‌دهد؛ در حالی که دومی، مجموعه‌ای از جواب‌ها را حاصل می‌کند که تصمیم‌گیر می‌تواند بر مبنای ترجیحات و اولویت‌های خود از بین این مجموعهٔ جواب، انتخاب کند.

بررسی تحلیلی مدل‌های تجویزی

در خاتمهٔ این بخش، ذکر چند نکته در رابطه با روش‌های بهینه‌سازی کاربری زمین لازم است. اول این که، تمام این مدل‌ها تجویزی هستند؛ بدین معنا که آیندهٔ مطلوب الگوهای کاربری زمین را بر اساس یک‌سری اهداف، محدودیت‌ها، ساختار ترجیحات و متغیرهای تصمیم، مشخص می‌کنند (به شکل ایستا و گاهی پویا). با مقایسهٔ این آینده با وضعیت فعلی، امکان به‌دست‌آوردن میزان و جهت تغییرات لازم در کاربری زمین برای رسیدن به آن آیندهٔ مطلوب، وجود دارد. به همین دلیل، این مدل‌ها به‌مراتب در سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی به منظور کمک به سیاست‌گذار دربارهٔ شیوهٔ تخصیص زمین به گزینه‌های مختلف، استفاده شده است.

دوم این که میزان جزئیات در پیش‌بینی‌های ارائه‌شدهٔ مدل‌ها، به میزان تجمیع کاربری‌های مختلف زمین بستگی دارد. به لحاظ نظری، این امکان وجود دارد که به جزئیات کامل دربارهٔ همهٔ جنبه‌ها دست یافت؛ اما به همان سرعت، پیچیدگی‌های محاسباتی که گاهی از توانایی ذهن انسان بیشتر می‌شود، نیز رشد می‌کنند.

سوم در مدل‌های بهینه‌سازی، لزوماً فاکتورهای اقتصادی – اجتماعی، محیطی، سیاسی، فرهنگی و ... وجود دارد؛ ولی در رابطه با شیوهٔ برهم‌کنش این عوامل و این که چگونه با یکدیگر برای شکل‌دادن موقعیتی تعامل می‌کنند، توضیحی داده نمی‌شود. در واقع در پیش‌بینی‌ای که این مدل‌ها انجام می‌دهند، به مکانیزم انتقال از وضعیت فعلی به وضعیت مطلوب صحبتی به میان نمی‌آید. آینده، متأثر از متغیرهای تصمیم مدل شکل می‌گیرد، ولی این که این متغیرها

www.SID.ir

Archive of SID

چگونه با یکدیگر تعامل می‌کنند و این آینده را شکل می‌دهند، به شکل یک «جعبهٔ سیاه» است.

در نهایت باید گفت که مدل‌های بهینه‌سازی کاربری زمین، راهنمایی‌های سرراستی (بر خلاف سایر مدل‌ها) به تصمیم‌گیران در رابطه با آیندهٔ ممکن و مطلوب سرزمین می‌دهند. از طرفی لازم است تا سیاست‌گذاران هنگامی که می‌خواهند در رابطه با شیوهٔ رسیدن به خروجی ترسیم‌شدهٔ این مدل‌ها تصمیم بگیرند، به شکل عاقلانه عمل کنند. روش‌ها و تکنیک‌های بهینه‌سازی به‌مراتب به شکل سازه‌هایی در سایر مدل‌های بزرگ‌تر و یکپارچه به کار رفته است.

تحلیل و نتیجه‌گیری

در این مقاله سعی شده است تا مروری بر مدل‌های کاربری زمین به لحاظ مفهومی، روش‌شناسی و دسته‌بندی آن‌ها انجام شود. نتیجهٔ این بررسی نشان می‌دهد که به دلیل دانش بین رشته‌ای مدل‌سازی کاربری زمین، مدل‌های مختلفی از دیدگاه‌های مختلف مفهومی و روشی، این مبحث را مطرح کرده‌اند و مسلماً ایجاد یکپارچگی بین مفاهیم و روش‌های به‌کاررفته می‌تواند یکی از زمینه‌های بهبود این شاخه باشد. همچنین این بررسی، برخی زمینه‌هایی را که کمتر در این حوزهٔ مطالعاتی به آن توجه شده است، مشخص می‌کند و به تحقیقات بیشتر نیازمند است. به برخی از این زمینه‌های تحقیق که می‌تواند نسل بعدی مدل‌های کاربری زمین را شکل دهد، در ذیل اشاره شده است.

لزوم توجه به یکپارچگی مدل‌ها و تأثیرات متغیرهای کلان: مشکل عمدهٔ مدل‌های ارائه‌شده برای مسألهٔ کاربری زمین آن است که این مدل‌ها عمدتاً به مناسب‌بودن زمین برای کاربری‌ها و برخی مشخصه‌های فضایی کاربری زمین مانند فشردگی و سازگاری در سطح خُرد، توجه داشته‌اند. در این بین، جای خالی تأثیر متغیرهای کلان اجتماعی – اقتصادی مانند نابرابری‌های اقتصاد منطقه‌ای، جمعیت، مهاجرت، سیاست‌گذاری‌ها و... به چشم می‌آید. تغییرات کاربری زمین در واقع توسط تعامل ترکیبات اقتصادی – اجتماعی و فیزیکی و در طی زمان و مکان و در مقیاس‌های متفاوت رخ می‌دهد (He, 2005)؛ از این رو ارائهٔ مدل‌هایی که شکاف بین متغیرهای کلان و خرد را در این مسأله حل کند و ارتباط بین این دو را برقرار نماید، یکی از حوزه‌های توسعهٔ جدّی مسایل بهینه‌سازی فضایی است.

جامعیت مدل‌های تحلیل کاربری زمین: همان طور که اشاره شد، مطالعات کاربری زمین دامنهٔ وسیعی از مدل‌ها، روش‌ها و داده‌ها را استفاده کرده‌اند. ارزیابی‌های مهندسی، عمدتاً بر جنبه‌های فناوری و توسعه‌های فنی آینده تمرکز داشته‌اند. ارزیابی‌های اقتصادی از مکانیزم‌های عرضه و تقاضا و تعادل بحث کرده‌اند. ارزیابی‌های بیوفیزیکی و جغرافیایی بیشتر بر شرایط متفاوت تولید و پیامدهای آن متمرکز شده‌اند. در این میان، مطالعاتی که جنبه‌های اکولوژیک، اقتصادی و فناورانه را ادغام کرده‌اند به صورت ارزیابی‌های جامع شناخته می‌شوند. این مطالعات جامع قادر به اندازه‌گیری همزمان اثرات مجموعه‌ای از پیشران‌ها و عوامل از جمله رشد اقتصادی، رشد جمعیت، تغییرات اکولوژیکی، رشد فناوری و... هستند و برتری واضحی بر مطالعات تک عاملی دارند. با وجود برتری مدل‌های جامع، این مدل‌ها با پیچیدگی‌هایی همراه هستند. سنگه (Senge, 1994) دو دسته پیچیدگی را معرفی می‌کند: ۱) جزییات و

www.SID.ir

Archive of SID

۲) پویایی. پیچیدگی جزییات در رابطه با سیستم‌هایی است که اجزای بسیاری دارند. اما پیچیدگی پویایی با سیستم‌هایی در ارتباط است که اثراتی دارند که به وسیلهٔ زمان و یا مکان، جدا شده‌اند. آن چیزی که در سیستم‌های کاربری زمین وجود دارد، پیچیدگی پویایی است که مشکلات زیادی را برای مدیریت و ارزیابی زمین ایجاد می‌کند. این بدان علت است که به‌طور کلی نمی‌توان ارتباطی را بین علت‌ها و اثرات آن‌ها که در طی زمان و مکان در حال تغییر و ازبین‌رفتن هستند، برقرار کرد. استفاده از راهکارهای جدید و بین رشته‌ای مانند سیستم دینامیک در این گونه موارد، می‌تواند به کمک محقق بیاید.

توسعهٔ مدل‌هایی با درنظرگرفتن اهداف جامع توسعهٔ پایدار: مطالعاتی که تا کنون در حوزهٔ کاربری زمین انجام شده است، به دلیل محدودبودن تعداد اهداف درنظرگرفته‌شده، نتوانسته‌اند به‌طور کامل تمام سرفصل‌های اشاره‌شده در بحث توسعهٔ پایدار را پوشش دهند (Cao, Huang, Wang & Lin, 2012). با توجه به سه جنبهٔ توسعهٔ پایدار شامل اقتصاد، اجتماع و محیط زیست (اکولوژی و منابع)، مدل‌سازی و برنامه‌ریزی کاربری زمین باید از این سه بُعد به شکل همزمان در نظر گرفته شود و اهداف مرتبط با هر یک از این ابعاد به شکل مرتبط با هم، مدل‌سازی شود.

لزوم توجه بیشتر به نبود قطعیت‌های ممکن در سیستم‌های مرتبط: به طور کلی، بررسی یکپارچهٔ سیستم‌های اقتصادی – اکولوژیکی از سطح بالایی از نبود قطعیت آسیب می‌بیند. کنترل و تعامل با این نبود قطعیت‌ها بسیار بااهمیت است و به همین دلیل توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است (Polasky, Carpenter, Folke, & Keeler, 2011). اگرچه برخی از این قطعیت‌نداشتن‌ها را در نتیجهٔ بهبود کیفیت داده‌ها و مدل‌ها و توجه بیشتر به کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل‌ها می‌توان کاهش داد، واضح است که بسیاری از آن‌ها به علت دانش ناکامل از داده‌ها و سیستم‌های اقتصادی – اکولوژیکی، ساده‌سازی در مدل‌سازی و نبود قطعیت‌های ذاتی توسعه‌های سیاسی و اقتصادی – اجتماعی، همچنان باقی خواهند ماند (Hatna, & Verburg, Tabeau 2013). با در نظر گرفتن موضوع قبلی (لزوم ارائهٔ مدل‌های یکپارچه)، ترجمه و ارتباط نبود قطعیت در شرایط اقتصادی – اجتماعی – محیطی دربارهٔ پارامترهای مسألهٔ تعیین کاربری زمین (به‌خصوص عرضه و تقاضای زمین) از جمله سرفصل‌های باز تحقیقاتی در این حوزه است.

توسعهٔ روش‌های حل جدید و کارا: با وجود نمونه‌های موفق در حل مسایل تخصیص فضایی، بیشتر این مطالعات بر تخصیص منابع زمین در یک ناحیهٔ کوچک تمرکز کرده‌اند. مثلاً در مطالعهٔ *ژیائو* و همکاران (Xiao, Bennett, & Armstrong, 2002)، هر جواب، تنها ده سلول داشته است و یا در پژوهش *وردیل* و همکارانش (Verdiell, Sabatini, Maciel, & Iglesias, 2005) که تبرید شبیه‌سازی‌شده را برای انتخاب و طراحی پارک ملی به کار برده‌اند، ناحیهٔ مطالعه‌شده تنها ۹۰۰ سلول داشته است. در نتیجه، یافتن روش‌های حل بهینه‌سازی که کارایی لازم را برای تعیین کاربری زمین در یک ناحیهٔ بزرگ داشته باشد، می‌تواند کارکردهای عملی مفیدی حاصل کند (Tan, 2011 & ,Liu, Li).

www.SID.ir

Archive of SID

در نهایت در این مقاله تلاش شده است تا نشان داده شود که مطالعات بسیاری در زمینهٔ مدل‌سازی کاربری زمین انجام شده است. بدین منظور از روش‌ها، مفاهیم و مدل‌های عملیاتی متنوعی از شاخه‌های مختلف علوم، بهره گرفته شده است. داشتن نگاه جامعی به این روش‌ها و مدل‌ها و نیز نقاط قوت و ضعف هر کدام، می‌تواند به محققان در ارائهٔ نسل جدیدی از مدل‌ها که جامعیت و یکپارچگی داشته باشد، کمک شایانی کند.

منابع

Agarwal, C., Green, G., Grove, J., Evans, T. & Schweik, C. (2001). *A review and assessment of land-use change models: Dynamics of space, time, and human choice.* Bloomington: Indiana University.

Agarwal, C., Green, G., Grove, J., Evans, T. & Schweik, C. (2001). *A review and assessment of land-use change models: Dynamics of space, time, and human choice.* Bloomington: South-Burlington, Center for the Study of Institutions Population, and.

Alcamo, J., Kreileman, G., Krol, M. & Zuidema, G. (1994). Modeling the global society-biosphere-climate system: Part 1: Model description and testing. *Water, Air, & Soil Pollution , 76* (1-2), 1-35.

Alonso, W. (1964). *Location and land use.* New Haven: Harvard University Press.

Bammi, D. & Paton, R. (1976). Urban Planning to Minimize Environmental Impact. *Environment and Planning , 8*, 245-259.

Briassoulis, H. (2000). *Analysis of Land use change: Theoretical and modeling approaches.* Morgantown: West Virginia University.

Burnham, B. (1973). Markov intertemporal land use simulation model. *Southern Journal of Agricultural Economics , 5* (1), 253-258.

Campbell, J., Radke, J., Gless, J. & Wirtshafter, R. (1992). An Application of Linear Programming and Geographic Information Systems: Cropland Allocation in Antigua. *Environment and Planning , 24*, 535-549.

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

deMaris, A. (1992). *Logit modeling: Practical applications.* University of Iowa.

Fischer, G. & Sun, L. (2001). Model based analysis of future landuse development in China. *Agriculture, Ecosystems and Environment , 85*, 163-176.

Gibson, C., Ostrom, E. & Anh, T. (2000). The concept of scale and the human dimensions of global change: a survey. *Ecological Economics , 32*, 217-239.

He, C. (2005). Developing land use scenario dynamics model by the integration of system dynamics model and cellular automata model. *Science in China Series D: Earth Sciences , 48* (11), 1979-1989.

Herbert, J. & Stevens, B. (1960). A Model for the Distribution of Residential Activity in Urban Areas. *Journal of Regional Science , 2*, 21-36.

Hijmans, R. & Van Ittersum, M. (1996). Aggregation of spatial units in linear programming models to explore land use options. *Netherlands Journal of Agricultural Science , 44*, 145-162.

Hillier, F. & Lieberman, G. (1980). *Introduction to Operations Research.* Oakland: Holden-Day, Inc.

Hopkins, L., Brill, B., Liebman, J. & Wenzel, H. (1987). "Land Use Allocation Model for Flood Control." Journal of the Water Resources Planning and Management Division of ASCE. *WR1* , 93-104.

Irwin, E. & Geoghegan, J. (2001). Theory, data, methods: developing spatially-explicit economic models of land use change. *Agriculture, Ecosystems and Environment , 85*, 7-24.

www.SID.ir

Archive of SID

Mas, J., Puig, H., Palacio, J. & osa-Lopez, A. (2004). Modelling deforestation using GIS and artificial neural networks. *Environmental Modelling & Software , 19* (5), 461-471.

McGarigal, K. & Marks, B. (1995). *Patent No. PNW-GTR–351*. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station.

Nelson, G. & Hellerstein, D. (1997). Do roads cause deforestation? Using satellite images in econometric analysis of land use. *American Journal of Agricultural Economics , 79* (1), 80-88.

Nijkamp, P. (1980). *Environmental Policy Analysis*. New York: John Wiley.

Parker, D., Berger, T. & Manson, S. (2001). *Agent-based models of land-use and land-cover change. Adaptive agents, intelligence and emergent human organization: Capturing complexity through agent-based modelling.* Irvine: CA: LUCC International Project Office.

Pijanowski, B., Brown, D., Shellito, B. & Manik, G. (2002). Using neural networks and GIS to forecast land use changes: A land transformation model. *Computers, Environment and Urban Systems, 26* (6), 553-575.

Pijanowski, B., Pithadia, S., Shellito, B. & Alexandridis, K. (2005). Calibrating a neural network-based urban change model for two metropolitan areas of the Upper Midwest of the United States. *International Journal of Geographical Information Science , 19* (2), 197–215.

Polasky, S., Carpenter, S., Folke, C. & Keeler, B. (2011). Decision-making under great uncertainty: environmental management in an era of global change. *Trends in Ecology & Evolution, 26*, 398-404.

Pontius, R., Cornell, J. & Hall, C. (2001). Modeling the spatial pattern of land-use change with GEOMOD2: Application and validation for Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems & Environment, 85* (1-3), 191-203.

Jansen, H. & Stoorvogel, J. (1998). Quantification of aggregation bias in regional agricultural land use models: application to Guacimo County, Costa Rica. *Agricultural Systems , 58*, 417-439.

Jansen, R. (1991). *Multiobjective Decision Support for Environmental Problems.* Amsterdam: Free University.

Kaimowitz, D. & Angelsen, A. (1998). *Economic Models of Tropical Deforestation – A Review*. Bogor: Center for International Forestry Research.

Koomen, E. & Stillwell, J. (2007). Modelling land-use change; Theories and methods. In *Modelling land-use change; Progress and applications* (pp. 1-21). Dordrecht: Springer.

Lambin, E., Rounsevell, M. & Geist, H. (2000). Are agricultural land-use models able to predict changes in land-use intensity? *Agriculture, Ecosystems & Environment , 82*, 321-331.

Langdon, W. (1998). Genetic programming and data structures. London: University College.

Lantman, J. v., Verburg, P., Bregt, A. & Geertman, S. (2011). Core Principles and Concepts in Land-Use Modelling: A Literature Review. In *Land-Use Modelling in Planning Practice* (pp. 35-61). Springer.

Liao, T. (1994). *Interpreting probability models. Logit, Probit, and Other Generalized Linear Models.* University of Iowa.

Liu, X., Li, X. & Tan, Z. (2011). Zoning farmland protection under spatial constraints by integrating remote sensing, GIS and artificial immune systems. *International Journal of Geographical Information Science , 25* (11), 1829-1848.

Lonergan, S. & Prudham, S. (1994). Modeling Global Change in an Integrated Framework: A View from the Social Sciences. In *Changes in Land Use and Land Cover: A Global Perspective* (pp. 411-435). New York: John Wiley.

www.SID.ir

Archive of SID

Romanos, M. (1976). *Residential Spatial Structure.* Lexington: Lexington Books.

Schlager, K. (1965). A Land Use Plan Design Model. *Journal of the American Institute of Planners*.

Senge, P. M. (1994). *The Fifth Discipline: The Art & Practice of the Learning Organization.* New York: Dell Publishing Group Inc.

Sinclair, R. (1967). Von Thunen and Urban Sprawl. *Annals of the Association of American Geographers , 57* (1), 72-87.

Skapura, D. (1996). *Building neural networks.* New York: ACM Press.

Stoorvogel, J. (1995). Linking GIS and Models: Structure and Operationalization for a Costa Rica Case Study. *Netherlands Journal of Agricultural Science , 43*, 19-29.

Tranfield, D., Denyer, D. & Smart, P. (2003). Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. *British journal of management , 14* (3), 207-222.

Veldkamp, A. & Fresco, L. (1996). CLUE: A conceptual model to study the conversion of land use and its effects. *Ecological Modelling , 85* (2-3), 253-270.

Verburg, P. H., Tabeau, A. & Hatna, E. (2013). Assessing spatial uncertainties of land allocation using a scenario approach and sensitivity analysis: A study for land use in Europe. *Journal of Environmental Management , 127*, 132-144.

Verburg, P., Eickhout, B. & van Meijl, H. (2008). A multi-scale, multi-model approach for analyzing the future dynamics of European land use. *Annals of Regional Science , 42*, 57-77.

Verburg, P., Schot, P., Dijst, M. & Veldkamp, A. (2004). Land use change modelling: Current practice and research priorities. *GeoJournal , 61*, 309-324.

Verdiell, A., Sabatini, M., Maciel, M. & Iglesias, R. (2005). A mathematical model for zoning of protected natural areas. *International Transactions in Operational research , 12*, 203-213.

von Thünen, J. (1966). *Isolated state: An English edition of Der isolierte Staat.* New York: Pergamom Press.

Walker, R. (2004). Theorizing land-cover and land-use change: The case of tropical deforestation. *International Regional Science Review , 27* (3), 247-270.

White, R. & Engelen, G. (1994). Cellular dynamics and GIS: Modelling spatial complexity. *Geographical Systems , 1*, 237-253.

Wrigley, N. (1976). *Introduction to the use of logit models in geography*. Norwich: University of East Anglia.

Xiao, N., Bennett, D. & Armstrong, M. (2002). Using evolutionary algorithms to generate alternatives for multiobjective site-search problems. *Environment and planning A, 34*, 639-656.

زیاری، ک. ا. (۱۳۸۱)، برنامه‌ریزی کاربری اراضی شهری، یزد، دانشگاه یزد.

www.SID.ir