

ارزیابی و شبیه‌سازی تغییرات کاربری زمین پیرامون شهرها با استفاده از مدل CA-Markov (نمونه موردی: شهر میاندوآب)

میرستار صدرموسوی^۱

رسول یزدانی چهاربرج^{۲*}

چکیده

توسعه سریع شهری در دهه‌های اخیر موجب تغییرات وسیعی در الگوی کاربری زمین پیرامون شهرها شده و تأثیرات زیست‌محیطی و اجتماعی-اقتصادی زیادی را به همراه داشته است. در این زمینه، ارزیابی تغییرات کاربری زمین و شبیه‌سازی تغییرات آتی آن می‌تواند در برنامه‌ریزی‌ها و سیاست‌گذاری‌های شهری راهگشا باشد. ترکیب سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنجش از دور (RS) می‌تواند ابزار مناسبی برای گردآوری داده‌ها و تحلیل تغییرات کاربری زمین باشد. این مقاله برای ارزیابی و شبیه‌سازی تغییرات کاربری زمین صورت گرفته در شهر میاندوآب از مدل CA-Markov استفاده می‌نماید. ابتدا، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه‌ای مربوط به سال‌های ۱۳۶۳، ۱۳۷۶ و ۱۳۹۰ نقشه‌های پوشش/کاربری زمین شهر و اراضی اطراف آن ایجاد گردید و تغییرات صورت گرفته مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حکایت از افزایش ۱۰۱۳ هکتاری مساحت شهر و مناطق ساخته‌شده اطراف شهر و کاهش ۱۱۱۴ هکتاری کاربری مزارع طی ۲۷ سال گذشته دارد. سپس، با استفاده از مدل مارکوف، ماتریس مناطق گذار کاربری‌ها در فاصله سال‌های ۱۳۹۰-۱۳۶۳ محاسبه گردید. در مرحله بعد، نقشه‌های تناسب مکانی کاربری‌ها با استفاده از روش‌های ارزیابی چندمعیاره (MCE) ایجاد گردید. در نهایت، برای پیش‌بینی تغییرات آتی کاربری زمین تا

۱- استاد گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه تبریز.

Email: yezdani.rasol@yahoo.com

۲- دانشجوی دوره دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه تبریز.

سال ۲۰۲۵ از مدل CA-Markov استفاده گردید. نتیجه شبیه‌سازی، حاکی از روند مداوم کاهش در اراضی کشاورزی و روند مداوم افزایشی در اراضی شهری می‌باشد. بنابراین، اگر روند کنونی تغییرات بدون اتخاذ یک سیاست توسعه پایدار ادامه یابد افت شدید شاخص‌های زیست‌محیطی و اجتماعی-اقتصادی را به دنبال خواهد داشت.

واژگان کلیدی: تغییر کاربری زمین، مدل CA-Markov، رشد شهری، سنجش از دور، شهر میاندوآب.

مقدمه

با رشد سریع جمعیت و مهاجرت در چند دهه اخیر شهرها به لحاظ شکل و کالبد بسیار متحول شدند. و از سوی دیگر عواملی مثل تغییر شیوه زندگی و گرایش افراد به مصرف‌گرایی، بورس‌بازی زمین و سیاست‌های دولتی باعث گسترش کالبدی شهر گشته است. بیشتر این توسعه‌ها در نواحی حاشیه شهری رخ داده است. بنابراین کنترل گسترش کالبدی در حاشیه شهر ضرورت می‌یابد. برای کنترل و مشاهده تغییرات صورت گرفته و روابط عوامل دخیل در این ناحیه آشنایی با مفاهیم، اهداف و ابزارهای مورد استفاده در تحقیق ضروری است.

توسعه شهری و مهاجرت جمعیت از روستا به نواحی شهری، پدیده جهانی مهمی به شمار می‌رود. به‌طور فزاینده‌ای، مراکز جمعیتی کوچک و منزوی به مراکز شهری بزرگی تبدیل می‌شوند و تغییر زمین‌های طبیعی به کاربری‌های شهری اجتناب‌ناپذیر است (Lin, 2009: 1). اکنون رشد جمعیت شهری جهان سریع‌تر از جمعیت کل جهان می‌باشد و بیش از نیمی از جمعیت جهان در نواحی شهری زندگی می‌کنند (United, 2010: 1). بیشتر این رشد در کشورهای درحال توسعه اتفاق افتاده است و رشد سکونتگاه‌های شهری در این کشورها پنج برابر کشورهای توسعه یافته می‌باشد (Lopez et al, 2001: 271). این رشد سریع جمعیت در نواحی شهری منجر به افزایش تقاضا برای زمین و در نتیجه تغییر کاربری‌ها و پوشش‌های اراضی طبیعی مثل جنگل و کشاورزی به کاربری‌های شهری مثل مسکونی، صنعتی و جاده‌ها شده است.

رشد سریع جمعیت در نواحی شهری به همراه عوامل سیاسی، قانونی، اجتماعی و اقتصادی دیگر موجب نوعی از گسترش شهری با عنوان پراکنش شهری یا گسترش بی‌رویه شهر گردیده است. علی‌رغم اهمیت اقتصاد ناحیه‌ای شهر، رشد شهری تأثیرات قابل توجهی را بر اکوسیستم‌های اطراف شهر وارد می‌کند (Araya & Cabral, 2010: 1550).

یکی از این تأثیرات تخریب محیط زیست اطراف شهر و تغییر اراضی کشاورزی به کاربری‌های شهری می‌باشد. تبدیل اراضی کشاورزی به کاربری‌های شهری - صنعتی و پیامدهای اقتصادی و زیست محیطی آن، یکی از مسایل و دشواری‌های برنامه‌ریزان شهری است.

تغییرات کاربری زمین در حواشی شهری در ایران نیز سریع بوده است. پس از اصلاحات ارضی و اتکای بیشتر اقتصاد ایران به نفت و وابستگی بیشتر به اقتصاد جهانی در دهه چهل و پنجاه، کشور ایران شهرنشینی بی‌سابقه‌ای را تجربه کرد که به تغییرات سریع و مداوم کاربری زمین و پوشش زمین در نواحی حاشیه شهری و روستایی منتج شد. میانگین اراضی جنگلی کشورهای جهان ۳۱ درصد و اراضی کشاورزی ۳۶ درصد است، در حالی که این نسبت‌ها برای کشور ما به ترتیب ۷/۵ و ۱۱ درصد می‌باشد و از کل اراضی کشاورزی تنها ۶/۹ میلیون هکتار یا ۴/۲ درصد مساحت کشور را زمین‌های آبی و باغات تشکیل می‌دهند (صدرموسوی و قربانی، ۱۳۸۵: ۱۳۸). بیش‌تر اراضی مرغوب کشاورزی نیز در اطراف شهرها واقع گردیده‌اند، بنابراین گسترش بی‌رویه شهری با تراکم پایین جمعیت باعث تخریب اراضی کشاورزی و اثرات زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی ناشی از کاهش فعالیت‌های کشاورزی می‌شود. شهر میاندوآب با ۱۲۳ هزار نفر جمعیت در سرشماری سال ۱۳۹۰ طی چند دهه اخیر رشد و گسترش زیادی را پیدا کرده است. هم‌چنین به‌خاطر این‌که این شهر در یک جلگه آبرفتی و در کنار دو رودخانه دائمی واقع شده پیرامون آن زمین‌های کشاورزی مرغوب و روستاهای متعدد واقع شده است. بنابراین ضرورت توجه به توسعه شهر و تأثیرات آن بر مناطق پیرامون به عنوان مناطق گذار شهر و روستا الزامی است.

شهر میاندوآب در سال ۱۳۳۵ حدود ۱۴ هزار نفر جمعیت داشت که در سال‌های ۱۳۷۵، ۱۳۸۵ و ۱۳۹۰ به ترتیب به ۹۱ هزار، ۱۱۴ و ۱۲۳ هزار نفر رسید.

در حال حاضر در مناطق شهری، مشکلات مربوط به تغییرات سریع در شکل پوشش و کاربری زمین بسیار مورد بحث قرار می‌گیرد (دونای و دیگران، ۱۳۸۵: ۹). استفاده از اطلاعات سیستم سنجش از دور ماهواره‌ای با توجه به ویژگی‌های منحصر به فرد آن از قبیل دید وسیع و یکپارچه، استفاده از قسمت‌های مختلف طیف الکترومغناطیسی برای ثبت خصوصیات پدیده‌ها، پوشش‌های تکراری و سرعت انتقال و تنوع اشکال داده‌ها، امکان بارگیری سخت‌افزارها و نرم‌افزارهای ویژه رایانه‌ای، در سطح دنیا با استقبال زیادی روبرو شده است و به مرور بر دامنه وسعت کاربری آن افزوده گردیده است. «(ولی شریعت‌پناهی و دیگران، ۱۳۸۴: ۲). پیشرفت‌های اخیر در ابزارها و روش‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنجش از دور (RS) محققان را قادر به مدلسازی موثر رشد شهری کرده است (رضازاده و میراحمدی، ۱۳۸۸، ۴۹). در این زمینه مدل‌های بسیاری برای شبیه‌سازی پویایی‌های تغییر چشم‌انداز ایجاد شده است (Liu & Andersson, 2004: 143). یکی از این مدل‌ها مدل ترکیبی سلول‌های خودکار و آنالیز زنجیره مارکوف می‌باشد. تحلیل زنجیره مارکوف بیان می‌دارد که وضعیت آتی یک سیستم می‌تواند صرفاً بر اساس وضعیت بلافاصله قبلی مدل‌سازی شود. مدل سلول‌های خودکار برای تخصیص بعد فضایی به مدل‌سازی بکار می‌رود. بنابراین در این تحقیق برای مدل‌سازی تغییر کاربری زمین شهر و اطراف آن از مدل CA-Markov استفاده شده است. روش شبیه‌سازی به دو بخش پیش‌بینی کمی تغییرات به وسیله زنجیره مارکوف و شبیه‌سازی الگوی تغییرات فضایی به وسیله CA تقسیم شده است.

پیشینه تحقیق

مدل CA اولین بار در دهه ۱۹۴۰ و ۱۹۵۰ توسط دو ریاضیدان به نام اولام و نیومن، به منظور شبیه‌سازی سیستم‌های پیچیده در فیزیک و زیست‌شناسی به کار گرفته شد. به علت نبود ظرفیت بالای محاسبه‌ای تا دهه ۱۹۷۰، پژوهشگران کمی از آن استفاده می‌کردند تا

اینکه در سال ۱۹۷۰ جان هارتون، مدل معروفش به نام بازی زندگی را ساخت. از آن پس مدل CA در سایر حوزه‌های مطالعاتی دیگر نیز مورد استفاده قرار گرفت (رضازاده و امیراحمدی، ۱۳۸۸: ۴۷-۴۸؛ Liu, 2009: 25-27Y؛ Garcia et al, 2011: 290). کاربردهای این روش در مدلسازی شهری و جغرافیا به اواخر دهه ۱۹۷۰ برمی‌گردد. زمانی که تابلر (Tobler) کاربرد مدل‌های سلولی را در مدل‌سازی جغرافیایی به کار گرفت. در دهه ۱۹۸۰، اولین رویکردهای نظری مدل‌های سلولی در شبیه‌سازی گسترش شهری آشکار شد. در سال ۱۹۹۴ ایتامی نظریه و کاربردهای سلول‌های خودکار را در شبیه‌سازی پویایی‌های فضایی مورد مطالعه قرار داد و در سال ۲۰۰۵ بتی یک تحلیلی از کاربردهای گوناگون سلول‌های خودکار شهری ارائه داد. پیشرفت‌های مفهومی در تحقیق سلول‌های خودکار و توسعه‌های محاسبات کامپیوتری موجب ظهور اولین مدل سلول‌های خودکار شهری کاربردی برای سیستم‌های شهری جهان واقعی در دهه ۱۹۹۰ شد (Sante et al, 2010: 111).

از زمان ظهور مدل‌های CA در مدل‌سازی توسعه نواحی شهری به سرعت در حال تغییر تاکنون مدل‌های بسیاری از CA ساخته شده است. Sante و دیگران در تحقیقی حدود ۳۳ نوع مدل CA شهری را از لحاظ ویژگی‌هایی مثل هدف، فضای سلولی، همسایگی‌ها، قوانین گذار، محدودیت‌ها و کالیبراسیون ارزیابی و طبقه‌بندی کرده‌اند. وی نتیجه‌گیری می‌نماید که نکات قوت تمامی مدل‌های CA شهری توانایی آن‌ها در ترکیب ابعاد فضایی و زمانی در مدلسازی توسعه شهری است و دلیل اصلی پذیرش این مدل سهولت انجام آن است (Ibid: 120). بیشترین مطالعاتی که در این زمینه انجام گرفته در مورد شهرهای امریکا، اروپا و آسیا (به‌ویژه در شهرهای به سرعت در حال رشد چین) انجام گرفته است (خوش‌گفتار و طالعی، ۱۳۸۹: ۲۰).

Guan و همکاران در یک تحقیقی در سال ۲۰۱۱ با استفاده از ترکیب مدل‌های CA و تحلیل زنجیره مارکوف اقدام به مدلسازی و شبیه‌سازی تغییرات کاربری زمین شهر ساگا ژاپن کردند. محققان در این تحقیق با استفاده از فاکتورهای طبیعی و اجتماعی-اقتصادی مثل شیب، ارتفاع، فاصله از نزدیک‌ترین رودخانه، فاصله از نزدیک‌ترین جاده، تراکم جمعیت

و قیمت زمین اقدام به شبیه‌سازی رشد شهری تا سال‌های ۲۰۴۲ کردند (Guan et al, 2011: 3761-3772).

جوکار ارسنجانی و دیگران در یک تحقیقی در سال ۲۰۱۲ با استفاده از ترکیب مدل‌های رگرسیون لجستیک، زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار اقدام به شبیه‌سازی گسترش شهری در نواحی حومه‌ای مادرشهر تهران می‌کنند. در این تحقیق با استفاده از متغیرهای طبیعی و اجتماعی-اقتصادی اقدام به شبیه‌سازی رشد شهری طی دوره‌های ۲۰۰۶، ۲۰۱۶ و ۲۰۲۶ می‌کنند (جوکار ارسنجانی، ۲۰۱۲: ۱۱-۱).

علاوه بر منابع خارجی، تحقیقاتی نیز در داخل کشور انجام شده است که از جمله آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

علیمحمدی سراب و دیگران در تحقیقی به ارزیابی کارایی مدل سلول‌های خودکار در شبیه‌سازی گسترش اراضی شهری در حومه جنوب غرب تهران می‌پردازند. در این تحقیق در سه دوره ۱۳۷۵، ۱۳۸۱ و ۱۴۰۰ اقدام به شبیه‌سازی شده است (علیمحمدی سراب و دیگران، ۱۳۸۹).

ضیائی‌ان فیروزآبادی و دیگران در تحقیقی با عنوان RS و GIS و CA به‌عنوان ابزاری برای شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی شهری اقدام به شبیه‌سازی تغییرات کاربری زمین در شهر شهرکرد برای سال ۱۴۰۴ می‌نمایند (ضیائی‌ان فیروزآبادی و دیگران، ۱۳۸۸: ۱۴۸-۱۳۳).

خوش‌گفتار و طالعی نیز در یک تحقیقی دیگر با استفاده از مدل CA-Markov اقدام به شبیه‌سازی رشد شهری تهران طی دوره ۳۷ ساله (۱۹۸۸-۲۰۲۵) می‌کنند (خوش‌گفتار و طالعی، ۱۳۸۹: ۳۴-۱۷).

بنابراین، با توجه به تحقیقات انجام گرفته قبلی، استفاده از مدل ترکیبی زنجیره‌های مارکوف و سلول‌های خودکار در مدل‌سازی رشد شهری به‌دلیل قابلیت زیاد این مدل تلفیقی توجه فزاینده‌ای پیدا کرده است. مدل CA قابلیت زیادی در پیش‌بینی فضای رشد شهری

دارد و در مقابل نیز زنجیره‌های مارکوف میزان تغییرات انجام شده و پیش‌بینی میزان تغییرات آتی کاربری را بیان می‌کند ولی از بیان فضائی تغییرات کاربری ناتوان است، بنابراین ترکیب این دو مدل در پیش‌بینی رشد آتی شهر می‌تواند راه‌گشا باشد.

مواد و روش‌ها

تحلیل زنجیره مارکوف (Markov) به روش‌های تحلیلی فرایندهای احتمالی تعلق دارد. فرایند مارکوف یک فرایند احتمالی با مشخصات خاص است که آن را از دیگر فرایندهای احتمالی تمیز می‌دهد. تحلیل زنجیره مارکوف تغییر کاربری زمین از یک دوره تا دوره دیگر را تشریح می‌کند و این تغییر را به عنوان اساسی برای پیش‌بینی تغییرات آتی بکار می‌گیرد. این پیش‌بینی به وسیله ایجاد یک ماتریس احتمال گذار یا انتقال تغییر کاربری زمین از دوره اول به دوره دوم انجام می‌گیرد، که پایه‌ای برای پیش‌بینی دوره بعدی (سوم) باشد (Eastman, 2006: 182). در نرم‌افزار IDRISI مدول Markov با استفاده از دو نقشه کاربری زمین دوره‌های مختلف اقدام به ایجاد یک ماتریس احتمال گذار و نقشه‌های نواحی گذار برای هر کدام از کلاس‌ها می‌نماید، که احتمال تغییر هر سلول را به کلاس مورد نظر محاسبه می‌نماید.

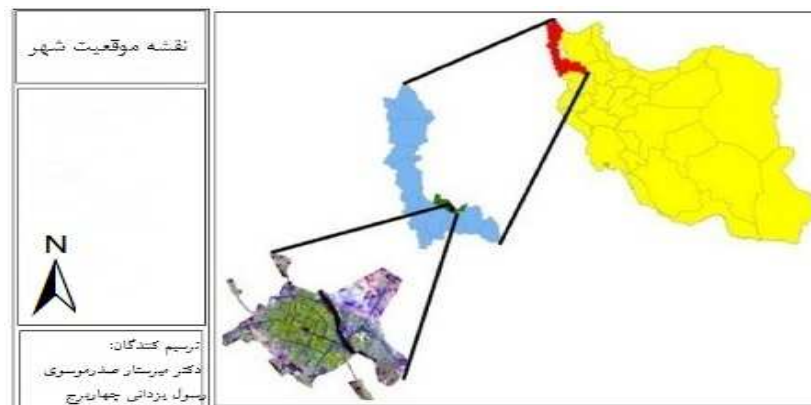
سلول‌های خودکار (CA)، سیستم‌هایی پویا و گسسته‌اند و رفتار آن‌ها کاملاً بسته به روابط محلی است. فضا به عنوان شبکه‌ای یکنواخت (آرایه‌ای از سلول‌ها) سازماندهی می‌شود و هر سلول می‌تواند در یکی از حالت‌های ممکن و محدود باشد. حالت هر سلول در مرحله زمانی گسسته‌ای بر اساس قوانین گذار محلی و یکسان و موقعیت سلول‌های همسایگی آن، روزآمد یا به‌نگام می‌شود. رفتار کلی سیستم به وسیله اثرات ترکیبی تمامی قوانین گذار محلی تعیین می‌شود (Liu, 2009: 27؛ خوش‌گفتار و طالعی، ۱۳۸۹: ۲۱). مدل سلول‌های خودکار از پنج بخش اصلی (سلول، حالت سلول، همسایگی، قوانین گذار و زمان) تشکیل می‌شود (Liu, 2009: 28).

هرچند مدل مارکوف در تحلیل و شبیه‌سازی تغییر کاربری زمین به‌طور موفقیت‌آمیزی عمل کرده است، ولی بی‌توجهی این مدل به الگوهای فضایی کاربری زمین انتقادهایی را به این مدل وارد کرده است. بنابراین استفاده ترکیبی از مدل‌های مارکوف و CA رویکردی قوی در مدل‌سازی پویایی‌های فضایی-زمانی تغییر کاربری زمین می‌باشد. همچنین این مدل تناسب تغییرات کاربری زمین، اثرات فاکتورهای طبیعی، اجتماعی و اقتصادی تغییرات کاربری زمین را تحلیل می‌کند (Sang et al, 2011: 940).

بنابراین در این تحقیق با استفاده از تابع CA-Markov در نرم‌افزار IDRISI اقدام به شبیه‌سازی رشد شهری و تغییرات کاربری زمین حواشی شهر میاندوآب طی دوره ۴۱ ساله ۱۳۶۳-۱۴۰۴ گردیده است.

شهر میاندوآب در استان آذربایجان غربی در سال ۱۳۸۵ جمعیتی در حدود ۱۱۳۹۳۳ نفر داشت و با مساحتی بالغ بر ۱۸۲۰ هکتار در جنوب استان آذربایجان غربی و جنوب دریاچه ارومیه و در ارتفاعی بین ۱۲۹۱-۱۳۰۲ متر از سطح دریا قرار گرفته است. شیب متوسط شهر بسیار کم و تماماً بین ۰-۲ درصد است. از لحاظ خطر زلزله شهر میاندوآب در پهنه بدون خسارت (با ۴ درجه ریشتر) قرار دارد (زیستا، ۱۳۷۸، ۲-۵۲۲). نقشه (۱) موقعیت شهر میاندوآب را نشان می‌دهد.

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق تصاویر ماهواره‌ای لندست TM سال ۱۳۶۳ و ۱۳۷۶ و ETM+ سال ۱۳۹۰ با اندازه سلول ۳۰ متر و باند ۸ تصویر ماهواره‌ای ETM+ سال ۱۳۹۰ با اندازه سلول ۱۵ متر و نیز نقشه کاربری زمین شهر میاندوآب و نقشه رقومی ارتفاعی منطقه جنوب آذربایجان غربی می‌باشد. تصاویر ماهواره‌ای در نرم‌افزارهای ENVI4.7 و IDRISI پیش‌پردازش گردیدند.



شکل شماره (۱) موقعیت شهر میاندوآب

برای طبقه‌بندی تصاویر ابتدا اقدام به ایجاد نواحی انتخاب شده یا نمونه‌های تعلیمی در محیط نرم‌افزار ENVI4.7 گردیده است. برای انتخاب نمونه‌های تعلیمی از نقشه کاربری زمین شهر، لایه رقومی ارتفاعی منطقه، نرم‌افزار google earth و بازدیدهای میدانی از منطقه مورد مطالعه استفاده گردیده است. سپس با استفاده از روش طبقه‌بندی Maximum Likelihood تصاویر طبقه‌بندی شدند. بعد از فرایند طبقه‌بندی، اقدام به ارزیابی صحت طبقه‌بندی به دو صورت دقت کلی و ضریب کاپا گردیده است. برای طبقه‌بندی نوع پوشش/ کاربری زمین، ۵ کلاس پوشش/ کاربری زمین در نظر گرفته شده است. این کلاس‌ها عبارت‌اند از: سطوح ساخته‌شده (منطقه شهری، روستاها، صنایع، و جاده‌ها)، اراضی بایر، مزارع، باغات و سطوح آبی (رودخانه، کانال‌های آبرسانی و برکه‌ها).

جدول (۱) دقت کلی و ضریب کاپا تصاویر طبقه‌بندی شده

| ضریب کاپا | دقت کلی (درصد) | تصاویر ماهواره‌ای |
|-----------|----------------|-------------------|
| ۰/۹۰ | ۹۲/۸۲ | لندست TM ۱۳۶۳ |
| ۰/۸۲ | ۸۶/۳۴ | لندست TM ۱۳۷۶ |
| ۰/۹۴ | ۹۵/۸۰ | لندست ETM ۱۳۹۰ |

یافته‌ها و بحث

شبیه‌سازی تغییرات کاربری زمین شهر

این تحقیق مدل CA-Markov را در محیط نرم‌افزار IDRISI برای شبیه‌سازی تغییرات و توزیع فضایی کاربری زمین آینده شهر بکار می‌گیرد. شکل (۲) مراحل انجام تحقیق را نشان می‌دهد. فرایند تحقیق در سه مرحله کلی به انجام رسیده است.

ایجاد ماتریس گذار با استفاده از تحلیل زنجیره مارکوف

ایجاد نقشه‌های تناسب مکانی برای هر کدام از کلاس‌های کاربری زمین با استفاده از فرایند ارزیابی چندمعیاره ترکیب خطی وزنی (WLC)

استفاده از ماتریس گذار و نقشه‌های تناسب مکانی کلاس‌های کاربری اراضی برای شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی بر پایه مدل سلول‌های خودکار

محاسبه ماتریس احتمال گذار با استفاده از مدل مارکوف

ابتدا با استفاده از مدل زنجیره مارکوف و بر اساس نقشه‌های پوشش/کاربری زمین شهر و اطراف شهر طی ۲۷ سال گذشته و برای سال‌های ۱۳۶۳، ۱۳۷۶ و ۱۳۹۰ اقدام به محاسبه ماتریس احتمال گذار کاربری‌ها نسبت به یکدیگر گردیده و دو ماتریس احتمال گذار به صورت جداول متقاطع طی سال‌های ۱۳۶۳-۱۳۷۶ و ۱۳۶۳-۱۳۹۰ ایجاد گردید. با استفاده از این مدل علاوه بر ماتریس گذار، برای هر کدام از کلاس‌های کاربری زمین یک نقشه احتمالاتی مشروط گذار نیز ایجاد شد که قابلیت گذار کاربری‌های دیگر را به کلاس کاربری مورد نظر را به صورت عددی بین ۰ تا ۱ نشان می‌داد.

محاسبه نقشه‌های تناسب مکانی کاربری‌های زمین

در این مرحله برای ایجاد نقشه‌های تناسب مکانی برای هر کدام از پوشش/کاربری‌های زمین از روش‌های ارزیابی چند معیاره فضایی استفاده شده است. در این راستا اولین اقدام تعیین معیارهای دخیل و ایجاد نقشه‌های معیار در تناسب مکانی هر کدام از کاربری‌ها

می‌باشد. معیارهای مؤثر در تناسب مکانی کاربری‌ها به دو صورت محدودیت و فاکتور مد نظر قرار گرفتند. مهم‌ترین کاربری، در این تحقیق کاربری‌های شهری می‌باشد و تغییرات آن طی دهه‌های اخیر قابل توجه بوده است.

نقشه تناسب مکانی کاربری‌های شهری: برای ایجاد تناسب مکانی مناطق شهری اقدام به ایجاد دو لایه محدودیت (بولین) برای توسعه شهر، و پنج لایه فاکتور رشد شهری گردیده است. لایه‌های محدودیت شامل مناطق ساخته شده قبلی (شهری، روستایی، صنایع و جاده‌ها) و منابع آبی و حریم ۵۰ متری آنها می‌باشد. فاکتورهای رشد شهری شامل فاصله از محدوده ساخته شده شهر، فاصله از جاده‌ها، فاصله از سطوح ساخته شده، فاصله از منابع آبی و کاربری‌های دارای بیش‌ترین احتمال تبدیل به شهر شدن می‌باشند. مدل ارزیابی چندمعیاره استفاده شده در این تحقیق مدل ترکیب خطی وزنی (WLC) می‌باشد. در این مدل، فاکتورها به روش فازی وزن‌دهی مجدد می‌شوند. اهمیت بین فاکتورها نیز با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) تعیین گردیده است. نتیجه این فرایند، ایجاد یک نقشه تناسب مکانی برای رشد شهری در محدوده بین ۰ تا ۲۵۵ بود که صفر نشانگر نواحی عدم تناسب برای رشد شهری و ۲۵۵ نشانگر نواحی کاملاً مناسب برای رشد شهری بود. تناسب مکانی دیگر کاربری‌ها به غیر از منابع آبی نیز به همین صورت ایجاد گردید، با این تفاوت که نوع معیار و نحوه وزن‌دهی به آنها متفاوت از دیگری بودند.

نقشه تناسب مکانی اراضی بایر: فاکتورهای مورد استفاده در ایجاد تناسب مکانی کاربری اراضی بایر شامل کاربری‌های دارای بیش‌ترین احتمال تبدیل به بایر، فاصله از اراضی بایر، فاصله از محدوده شهر و فاصله از جاده‌ها می‌شد و محدودیت شامل مناطق ساخته شده می‌باشد.

نقشه تناسب مکانی اراضی زراعی و باغی: فاکتورهای مورد استفاده در ایجاد تناسب مکانی مزارع و باغات شامل کاربری‌های دارای بیش‌ترین احتمال تبدیل به مزارع و باغات، فاصله از اراضی بایر، فاصله از محدوده شهر، فاصله از جاده‌ها، فاصله از سطوح ساخته شده و فاصله از باغات و مزارع می‌شد. و تنها محدودیت مورد نظر مناطق ساخته شده و

منابع آبی می‌شد. به دلیل قرار گرفتن شهر و مناطق اطراف آن در دشت، این منطقه دارای شیب خیلی کم بوده و لذا در فرایند تحقیق در نظر گرفته نشده است.

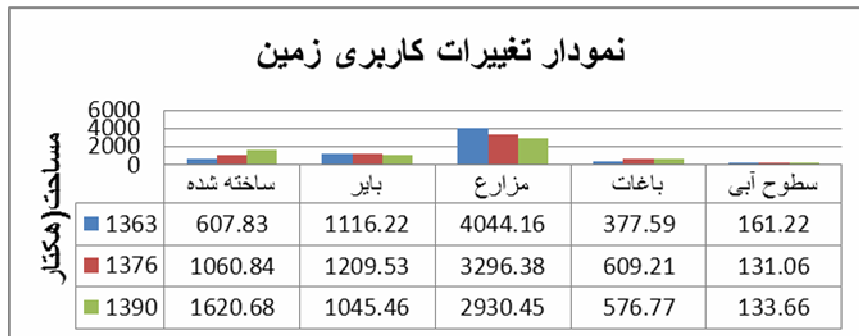
نقشه محدودیت سطوح آبی: برای ایجاد تناسب مکانی سطوح آبی اقدام به ایجاد یک نقشه بولین برای نواحی آبی گردید که در این نقشه برای نواحی آبی یک (تناسب کامل) و برای نواحی دیگر صفر (عدم مناسبت) تعلق می‌گیرند. یعنی این کاربری برای خودش به مثابه فاکتور رشد مدنظر قرار می‌گیرد و کاربری‌های دیگر برای این پوشش/کاربری زمین نوعی محدودیت به حساب می‌آیند.

شبیه‌سازی تغییرات پوشش/کاربری زمین

شبیه‌سازی تغییرات کاربری زمین برای دو دوره ۱۳۹۰ و ۱۴۰۴ انجام می‌گیرد. ابتدا با استفاده از مدل CA-Markov اقدام به شبیه‌سازی تغییرات کاربری زمین تا سال ۱۳۹۰ می‌شود. نقشه شبیه‌سازی شده ناشی از این فرایند با نقشه واقعی پوشش/کاربری زمین به دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای سال ۱۳۹۰ مقایسه می‌شود. و در صورت داشتن مطابقت زیاد، اقدام به شبیه‌سازی تغییرات تا سال ۱۴۰۴ می‌گردد. و در صورت نداشتن مطابقت زیاد در فرایند تحقیق تجدید نظر صورت می‌گیرد.

برای شبیه‌سازی تغییرات کاربری زمین برای سال ۱۳۹۰ در نرم‌افزار IDRISI سه نوع داده که در مراحل قبل ایجاد گردیده نیاز است؛ نقشه پایه سال ۱۳۷۶، ماتریس مناطق گذار ۱۳۶۳-۱۳۷۶ و مجموعه نقشه‌های تناسب مکانی کاربری‌های سال ۱۳۷۶. بسته به فاصله زمانی بین نقشه مبنا و سال مورد پیش‌بینی (در این جا ۱۴ سال) تعداد تکرار برای انجام مدل داده می‌شود. در صورت مطابقت نقشه‌های کاربری زمین پیش‌بینی شده سال ۱۳۹۰ با نقشه طبقه‌بندی شده سال ۱۳۹۰ اقدام به شبیه‌سازی تغییرات کاربری زمین برای سال ۱۴۰۴ می‌گردد. مثل نمونه قبل سه نوع داده برای شبیه‌سازی تغییرات مورد نیاز است؛ نقشه پایه سال ۱۳۹۰، ماتریس مناطق گذار ۱۳۶۳-۱۳۹۰ و مجموعه نقشه‌های تناسب مکانی کاربری‌های سال ۱۳۹۰. تعداد تکرار برای مدل CA به دلیل فاصله زمانی سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۴۰۴ چهارده بار تعیین گردید.

تجزیه و تحلیل تغییرات پوشش/کاربری زمین

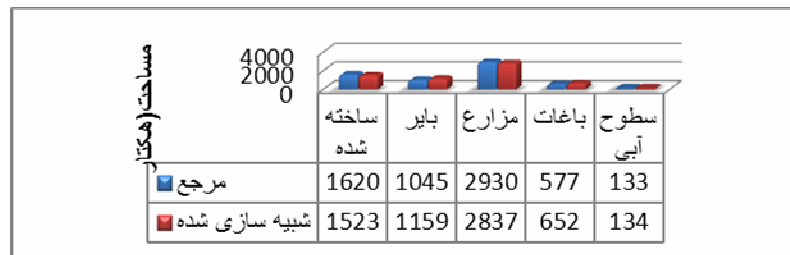


نمودار شماره (۱) تغییرات کاربری زمین

مقایسه تغییرات کاربری زمین طی سال‌های ۱۳۶۳، ۱۳۷۶ و ۱۳۹۰ نشان می‌دهد که کاربری مناطق ساخته شده روند سریع افزایشی داشته و کاربری مزارع روند سریع کاهش‌ی داشته است و کاربری‌های اراضی بایر و باغات دچار نوسان بودند. نمودار (۱) روند تغییرات را طی این سه دوره نشان می‌دهد.

ارزیابی صحت مدل

در این مرحله به ارزیابی مدل CA-Markov از طریق مقایسه نقشه‌های پوشش/کاربری زمین مرجع (نقشه طبقه‌بندی شده حاصل از تصویر ماهواره‌ای لندست ETM) سال ۱۳۹۰ و نقشه پوشش/کاربری زمین شبیه‌سازی شده سال ۱۳۹۰ پرداخته می‌شود. نمودار زیر نشان‌دهنده تفاوت این دو نوع نقشه می‌باشد. بنابراین مدل CA-Markov می‌تواند برای پیش‌بینی تغییرات پوشش/کاربری زمین برای سال‌های آینده مناسب باشد.

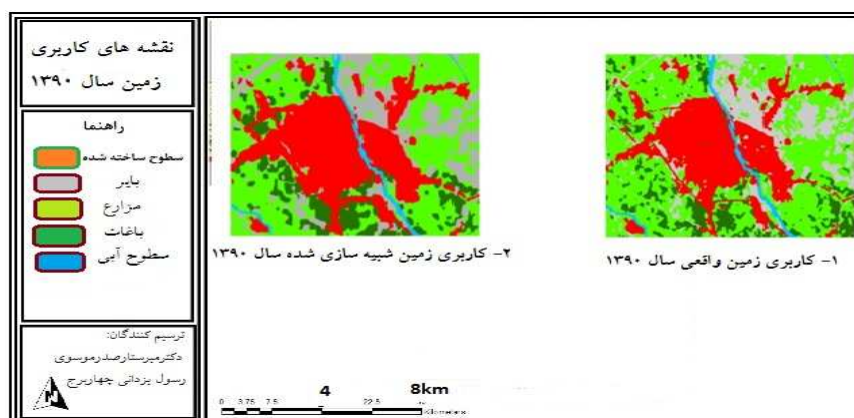


نمودار (۲) مقایسه پوشش/کاربری زمین واقعی و شبیه‌سازی شده سال ۲۰۱۱

شبیه‌سازی تغییرات پوشش/کاربری زمین برای آینده

با توجه به موفقیت مدل‌سازی تغییرات پوشش/کاربری زمین برای سال ۱۳۹۰ با استفاده از مدل CA-Markov، اقدام به شبیه‌سازی تغییرات پوشش/کاربری زمین برای سال ۱۴۰۴ می‌گردد. برای شبیه‌سازی تغییرات کاربری زمین برای سال ۱۴۰۴، نقشه طبقه‌بندی شده پوشش/کاربری زمین به‌عنوان نقشه مبنا انتخاب گردید. سپس، اقدام به تهیه ماتریس مناطق گذار ۱۳۹۰-۱۳۶۳ با استفاده از مدل تحلیل زنجیره مارکوف گردید. در مرحله سوم، نقشه‌های تناسب مکانی کلاس‌های کاربری زمین مناطق ساخته‌شده، اراضی بایر، مزارع و باغات با استفاده از فاکتورها و محدودیت‌های مربوطه هرکدام از کاربری‌ها تهیه گردید. برای سطوح آبی، نقشه بولین این پوشش/کاربری به‌عنوان نقشه تناسب مکانی در نظر گرفته شد. تعداد تکرار مدل نیز بر حسب تعداد سال‌های مورد پیش‌بینی ۱۴ تعیین گردید.

طبق نتایج حاصل شده از شبیه‌سازی تغییرات کاربری‌ها برای سال ۱۴۰۴، کاربری مناطق ساخته شده از ۱۶۲۰ هکتار در سال ۱۳۹۰ به حدود ۲۰۰۹ هکتار در سال ۱۴۰۴ رسیده است. یعنی حدود ۲۴ درصد افزایش مساحت پیش‌بینی شده است. کاربری اراضی بایر از ۱۰۴۵ هکتار در سال ۱۳۹۰ به ۱۰۹۸ هکتار در سال ۱۴۰۴ رسیده است. یعنی حدود ۵ درصد افزایش در میزان مساحت این کاربری طی ۱۴ سال آینده پیش‌بینی شده است. نقشه (۵) نقشه‌های پوشش/کاربری زمین سال ۱۳۹۰ و شبیه‌سازی شده سال ۱۴۰۴ را نشان می‌دهد.



شکل (۵) نقشه‌های پوشش/کاربری زمین

کاربری باغات نیز با ۵۷۷ هکتار مساحت در سال ۱۳۹۰ به ۷۱۸ هکتار مساحت در سال ۱۴۰۴ رسیده است. یعنی برای این کاربری ۲۴ درصد افزایش در ۱۴ سال آینده پیش‌بینی شده است. علت اصلی افزایش مساحت کاربری باغات را می‌توان در بازدهی اقتصادی بالای این کاربری نسبت به کاربری مزارع ذکر کرد. و نیز همانطور که از مشاهده نقشه‌های پوشش/کاربری زمین سال‌های ۱۳۶۳، ۱۳۷۶ و ۱۳۹۰ پیداست، این کاربری‌ها اغلب در منطقه بلافصل سطوح ساخته شده قرار ندارند. برخلاف کاربری‌های مناطق ساخته شده، اراضی بایر و باغات، برای کاربری مزارع طی ۱۴ سال آینده روند کاهشی پیش‌بینی شده است. این کاربری در سال ۱۳۹۰، حدود ۲۹۳۰ هکتار مساحت داشت که در سال ۱۴۰۴ این مقدار به ۲۳۴۶ هکتار رسیده است. یعنی طی ۱۴ سال آینده برای این کاربری ۱۹ درصد کاهش در میزان مساحت پیش‌بینی شده است. کلاس سطوح آبی نیز با پایداری نسبی از ۱۳۳ هکتار در سال ۱۳۹۰ به ۱۳۴ هکتار در سال ۱۴۰۴ رسیده است.

نتیجه‌گیری

اکثر شهرهای ایران، از دیرباز در کنار رودخانه‌ها و منابع آبی دیگر استقرار یافته و اراضی پیرامون آن‌ها را زمین‌های مرغوب کشاورزی احاطه کرده است. رشد جمعیت شهرنشین،

تقاضای زیاد به زمین، بورس‌بازی و احتکار زمین، ضعف قوانین مدیریت شهری، سیاست‌های توسعه دولتی و سبک زندگی مصرف‌گرایانه، منجر به تغییر کاربری اراضی کشاورزی اطراف شهر به کاربری‌های شهری شده است که شاخص‌های پایداری شهر را مورد تهدید قرار می‌دهد.

شهر میاندوآب نیز بین دو رودخانه دائمی واقع گردیده و اراضی پیرامون آن را اراضی مرغوب کشاورزی احاطه کرده است. طبق سرشماری نفوس و مسکن جمعیت شهر در سال ۱۳۳۵ نزدیک ۱۴ هزار نفر بود که در سال ۱۳۸۵ به ۱۱۳ هزار نفر رسید. در سال ۱۳۶۳ میزان مساحت شهر و مناطق ساخته‌شده اطراف شهر ۶۰۷ هکتار بود که با روندی افزایشی به ۱۰۶۰ هکتار در سال ۱۳۷۶ و ۱۶۲۰ هکتار در سال ۱۳۹۰ رسید. بیش‌ترین تغییرات صورت گرفته ناشی از تغییر اراضی کشاورزی به اراضی بایر و سپس سطوح ساخته شده شهری بوده است. برعکس کاربری‌های سطوح ساخته شده، کاربری‌های مزارع نیز در این مدت با کاهش شدید مواجه بودند. به طوری که از ۴۰۴۴ هکتار مساحت در سال ۱۳۶۳ به ۲۹۳۰ هکتار در سال ۱۳۹۰ کاهش یافته است. یعنی تغییر ۱۱۱۴ هکتار از اراضی مرغوب کشاورزی به سطوح شهری و اراضی بایر اطراف شهر طی ۲۷ سال گذشته.

در این تحقیق، بعد از تحلیل تغییرات صورت گرفته طی ۲۷ سال گذشته، با استفاده از نقشه‌های پوشش/کاربری زمین سال‌های ۱۳۶۳، ۱۳۷۶ و ۱۳۹۰ اقدام به مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین شهر میاندوآب و اراضی بلافصل آن با استفاده از مدل CA-Markov برای سال ۱۴۰۴ گردید. این مدل از طریق مقایسه نتایج نقشه‌های پوشش/کاربری زمین طبقه‌بندی شده سال ۱۳۹۰ (مرجع) و شبیه‌سازی شده سال ۱۳۹۰ ارزیابی گردید و نتایج ارزیابی حاکی از موفقیت کامل مدل در شبیه‌سازی تغییرات برای سال‌های آینده دارد.

بنابراین، بر اساس موفقیت ارزیابی سال ۱۳۹۰، اقدام به مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین با استفاده از مدل CA-Markov برای سال ۱۴۰۴ گردید. نتایج تحقیق حاکی از افزایش زیاد مساحت کاربری‌های سطوح ساخته شده و باغات و افزایش نسبی کاربری اراضی بایر و کاهش خیلی زیاد کاربری مزارع می‌باشد. مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین تا



سال ۱۴۰۴ نشان می‌دهد که اگر روند فعلی رشد سطوح ساخته شده شهری بدون تدوین سیاست‌های توسعه پایدار ادامه یابد، منجر به کاهش سریع و بازهم بیشتر زمین‌های مرغوب کشاورزی اطراف شهر شده و بروز پدیده نامطلوب پراکنش شهری خواهد شد.

منابع

- بریاسولیس، هلن (۱۳۸۸)، «*الگوهای تحلیلی تغییر کاربری زمین؛ رویکردهای نظری و مدل‌سازی*»، مترجمان: مجتبی رفیعیان و مهران محمودی، انتشارات آذرخش، تهران.
- خوش‌گفتار، محمدمهدی و محمد طالعی (۱۳۸۹)، «*شبیه‌سازی رشد شهری در تهران با استفاده از مدل CA-Markov*»، *سنجش از دور و GIS/یران*، ۲، صص ۱۷-۳۴.
- دونای، ژان-پل، بارنسلی، مایک و پل لانگلی (۱۳۸۵)، «*سنجش از دور و آنالیز شهری*»، مترجمان: آرزو فیض‌الهیگی و فاطمه مسیبی، مرکز تحقیقات سازمان نقشه‌برداری کشور، تهران.
- رضازاده، راضیه و مهرداد میراحمدی (۱۳۸۸)، «*مدل اتوماسیون سلولی، روشی نوین در شبیه‌سازی رشد شهری*»، *نشریه علمی پژوهشی فناوری آموزش*، جلد ۴، شماره ۱، صص ۴۷-۵۵.
- صدرموسوی، میرستار و رسول قربانی (۱۳۸۵)، «*پیامدهای زیست‌محیطی گسترش سکونتگاه‌ها؛ مطالعه موردی: دره اسکوچای*»، *مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای*، شماره ۸۰، صص ۵۶-۱۳۷.
- ضیائیان فیروزآبادی، پرویز؛ شکیبیا، علیرضا، متکان، علی‌اکبر و علی صادقی (۱۳۸۸)، «*سنجش از دور (RS)، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و مدل سلول‌های خودکار (CA) به‌عنوان ابزاری برای شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی شهری (مطالعه موردی: شهر شهرکرد)*»، *علوم محیطی*، سال هفتم، شماره اول، صص ۱۳۳-۱۴۸.
- علیمحمدی سراب، عباس؛ متکان، علی‌اکبر و بابک میرباقری (۱۳۸۹)، «*ارزیابی کارایی مدل سلول‌های خودکار در شبیه‌سازی گسترش اراضی شهری در حومه جنوب غرب تهران*»، *مدرس علوم انسانی-برنامه‌ریزی و آمایش فضا*، دوره چهاردهم، شماره ۲، صص ۸۱-۱۰۲.
- مهندسان مشاور زیستا (۱۳۷۷)، «*طرح توسعه و عمران شهر میاندوآب و حوزه نفوذ*».
- ولی‌شریعت‌پناهی، مجید؛ مشیری، سیدرحیم؛ استعلاجی، علیرضا؛ محمدی، شکراله و جمیله فتوحی (۱۳۸۴)، «*راهکارهای بررسی و تحلیل تغییرات کاربری اراضی با تأکید بر سنجش از دور و با تحلیل کاربری بر روی ناحیه گرگان*».

- Araya, Y. & Cabral, P. (2010), "Analysis and modeling of urban land cover change in Setubal and Sesimbra, Portugal", *Journal of Remote Sensing*, 2, PP.1549-1563.
- Eastman, R. (2006), "IDRISI ANDES tutorial", Clark labs, Clark University, 284.
- Garcia, A, Sante, I, Crecente, R, Miranda, D. (2011), "An analysis of the effect of the stochastic component of urban cellular automata models", *Computers, Environment and Urban Systems*, 35, PP.289-296
- Guan, D., Li, H., Inohae, T., Su, W., Nagaie, T., Hokao, K. (2011), "Modeling urban land use change by the integration of cellular automaton and Markov model", *Ecological Modeling*, 222, PP. 3761-3772.
- Jokar Arsanjani, J., Helbich, M, Kainz, W., Darvishi Bloorani, A. (2012) "Integration of logistic regression, Markov chain and cellular automata models to simulate urban expansion", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*.
- Liu, Y., Liu, (2009), "Modelling urban development with geographical information systems and cellular automata", CRC Press, 188.
- Lopez, E., Bocco, G., Mendoza, M., Duhau, E. (2001), "Predicting land-cover and land-use change in the urban fringe, A case in Morelia city, Mexico", *Landscape and Urban Planning*, 55, PP. 271-285.
- Sang, L., Zhang, C., Yang, J., Zhu, D., Yun, W, (2011), "Simulation of land use spatial pattern of towns and villages based on CA-Markov model, *Mathematical and Computer Modeling*, 54, PP. 938-943.
- Sante, I, Garcia, A, Miranda, D, Crecente, R. (2010), "Cellular automata models for the simulation of real-world urban processes: A review and analysis", *Landscape and urban planning*, 96, PP. 108-122.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs (2010), "World urbanization prospects: The 2010 revision", New York, United nation publication, 323.