

استفاده از زنجیره مارکوف، MOLA و فیلتر همسایگی به منظور توسعه و افزایش کارایی رگرسیون منطقی در پیش‌بینی تغییرات چندگانه کاربری اراضی؛ مطالعه موردی: شهر تهران

حسین عسکریان عمران^۱، پرهام پهلوانی^{*۲}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم‌های اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

۲- استادیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۰۳/۲۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۱۰/۱۶

چکیده

برای پیش‌بینی دقیق‌تر آینده شهر باید مدل‌سازی برای تمام کاربری‌های موجود در شهر انجام گیرد. روش رگرسیون منطقی تنها قادر به مدل‌سازی توسعه شهر به صورت دو متغیره (شهری و غیرشهری) است. هم‌چنین این روش در مرحله تخصیص مکانی، تأثیر پارامتر همسایگی را در نظر نمی‌گیرد. با توجه به این موضوع، هدف اصلی این مقاله ارائه روشی جهت مدل‌سازی چندگانه تغییرات کاربری اراضی و اعمال پارامتر همسایگی در مرحله تخصیص مکانی است تا بدین ترتیب دقت مدل‌سازی افزایش یابد. در روش پیشنهادی، ابتدا مدل‌سازی با استفاده از رگرسیون منطقی برای هر کاربری به صورت مجزا انجام گرفت. در این تحقیق، نتایج حاصل از رگرسیون منطقی به‌عنوان نقشه شایستگی برای تخصیص مکانی، با استفاده از روش‌های زنجیره مارکوف و ترکیبی همسایگی و تخصیص چندهدفه زمین (MOLA) با هم ترکیب شدند و نقشه کاربری اراضی سال هدف تهیه شد. بنابراین در این تحقیق با استفاده از نقشه کاربری اراضی سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۰۸ و با تأثیر پارامتر همسایگی، نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۴ پیش‌بینی گردید و با مقایسه آن با نقشه مرجع سال ۲۰۱۴ دقت مدل‌سازی به دست آمد. نقشه‌های مرجع کاربری اراضی با طبقه‌بندی تصاویر ماهواره لندست در سال‌های ۲۰۰۲، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۴ با روش ماشین بردار پشتیبان به دست آمدند. این روش در چهار حالت مختلف اجرا شد. در سه حالت، تأثیر همسایگی با کرنل‌های ۳×۳، ۵×۵ و ۷×۷ مورد بررسی قرار گرفت و در حالت آخر پیش‌بینی بدون در نظر گرفتن همسایگی انجام شد. سپس دقت چهار حالت با استفاده از نقشه مرجع سال ۲۰۱۴ با یکدیگر مقایسه شد. دقت روش با استفاده از معیارهای دقت کلی، شاخص کاپا و کاپای مکانی در بهترین حالت به ترتیب ۸۴/۲۶ درصد، ۷۶/۳۵ درصد و ۷۹/۳ درصد به دست آمد. سپس، دقت مدل‌سازی هر کاربری نیز به صورت جداگانه با استفاده از روش ROC ارزیابی شد که نتایج نشان از توانایی بالای روش پیشنهادی داشت. در نهایت نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۲۰ در دو سناریو مختلف پیش‌بینی شد.

کلیدواژه‌ها: پیش‌بینی تغییرات چندگانه کاربری اراضی، همسایگی، رگرسیون منطقی، زنجیره مارکوف، MOLA

*نویسنده مسئول: خیابان کارگر شمالی (امیرآباد)، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی.

تلفن: ۸۸۰۰۸۸۴۱

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر با توجه به گسترش بی‌رویه شهرها و هجوم جمعیت به مناطق صنعتی، موضوع کنترل و مدیریت شهر به یکی از مشکلات اصلی جوامع بشری تبدیل شده است. گسترش شهرها را نمی‌توان به‌خودی‌خود امری خوب یا بد تلقی کرد. اگر این گسترش با مدیریت و زیرساخت همراه باشد، نتایج خوب و اگر بدون زیرساخت و مدیریت و برنامه‌ای جامع باشد، نتایج بدی به همراه خواهد داشت [۱]. ترافیک، ازدحام جمعیت، شیوع انواع بیماری‌ها و از بین رفتن محیط زیست از نتایج گسترش بدون مدیریت و زیرساخت هستند. برای جلوگیری از به وجود آمدن این مشکلات، کارشناسان و سیاستمداران نیاز به اطلاعات دقیق درباره گسترش شهر در آینده دارند. مدل‌های توسعه شهری بیان‌گر توسعه آینده شهر و ابزار مناسبی برای برنامه‌ریزی‌های کلان در بحث مدیریت شهری هستند [۲]. در واقع این مدل‌ها با ابزار ریاضی سعی در بیان تعامل اعضای مختلف سیستم شهری با جزئیات کمتر را دارند. مدل‌سازی در به دست آوردن نتایج و عواقب توسعه، تولید نقشه کاربری اراضی، تلفیق آینده‌نگری‌های مختلف، پیش‌بینی بهترین الگو برای آینده شهر، درک مستقیم در رابطه با علل الگوی مشاهده‌شده و تسهیل راه رسیدن به توسعه پایدار کمک می‌کند.

سرعت توسعه شهرها در کشورهای در حال توسعه بیشتر از کشورهای توسعه‌یافته است. این در حالی است که تحقیقات انجام‌شده در این کشورها کمتر از کشورهای توسعه‌یافته است [۳]. در بحث مدل‌سازی توسعه شهری تا به حال مطالعات زیادی انجام گرفته است، ولی اکثر این تحقیقات فقط گسترش ساختمان‌ها و گسترش کل شهر را مدل کرده‌اند. در واقع این تحقیقات هیچ گسترشی برای سایر کاربری‌های موجود در شهر در نظر نگرفته‌اند. با توجه به این موضوع، در این مقاله روشی را برای

مدل‌سازی تغییرات چندگانه کاربری اراضی معرفی کرده‌ایم.

با توجه به اهمیت موضوع توسعه شهرها و تغییرات کاربری، تحقیقات زیادی با استفاده از روش‌های مختلف در این زمینه انجام گرفته است [۱، ۴، ۵]. از جمله روش‌های پرکاربرد در زمینه مدل‌سازی توسعه شهری می‌توان به شبکه عصبی^۱، رگرسیون منطقی^۲، اتوماتای سلولی^۳، روش‌های عامل مینا^۴، زنجیره مارکوف^۵ و ترکیب این روش‌ها با روش‌های بهینه‌سازی اشاره کرد. حسینعلی [۱] مدلی عامل مینا همراه با بهینه‌سازی مکانی برای مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی ارائه کرد. در این تحقیق، با شبیه‌سازی رفتار تصمیم‌گیرندگان، اثر سیاست‌گذاری‌ها و برنامه‌ریزی‌های مختلف را بررسی کرد. طیبی و دلاور [۵] با استفاده از روش رگرسیون منطقی، توسعه شهری شیراز را برای سال ۲۰۱۲ پیش‌بینی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که فاکتور فاصله تا ساختمان‌های موجود بیشترین تأثیر مثبت را در فرآیند توسعه شهری شیراز دارد. پیجانوسکی و همکاران [۴] با تلفیق شبکه عصبی و GIS به‌عنوان مدل LTM^۶ به بررسی تغییرات کاربری در شهر میشیگان پرداختند. در واقع هدف این مقاله برآزش مدل LTM با استفاده از فاکتورهای مؤثر در تغییر کاربری برای منطقه مورد مطالعه بوده است. لی و یه [۶] با ترکیب اتوماتای سلولی و شبکه عصبی، روشی برای مدل‌سازی تغییرات چندگانه کاربری ارائه نمودند. هدف اصلی در این تحقیق، برطرف کردن ضعف مدل اتوماتای سلولی در تعریف قوانین به وسیله ترکیب آن با شبکه عصبی بوده است. بتی و زی [۷] از روش اتوماتای سلولی در مدل‌سازی توسعه شهری

¹ Neural Networks

² Logistic Regression

³ Cellular Automata

⁴ Agent based

⁵ Markov Chain

⁶ Land Transformation Model

تخصیص مکانی با اعمال فیلتر همسایگی است. در این تحقیق، رگرسیون منطقی با روش‌های زنجیره مارکوف و روش ترکیبی همسایگی-MOLA⁵ در چهار حالت مختلف با هدف افزایش کارایی رگرسیون منطقی و مدل‌سازی تغییرات چندگانه کاربری اراضی ترکیب شده است.

در ادامه ساختار مقاله به این صورت است که در بخش ۲، الگوریتم‌های به‌کاررفته به اختصار مرور شده و روند کلی پیشنهادی آورده شده است. در بخش ۳، روش‌های ارزیابی نتایج توضیح داده شده است. در بخش ۴، منطقه مطالعاتی و پیش‌پردازش‌های انجام‌شده روی داده‌ها تشریح شده است. در بخش ۵، نتایج به‌دست‌آمده ارائه و ارزیابی شده است و در نهایت در بخش ۶، نتیجه‌گیری و پیش‌بینی و پیشنهادها برای تحقیقات آتی آورده شده است.

۲- روند پیشنهادی

در راستای شرح کامل روند پیشنهادی ابتدا در بخش ۲-۱ روند کلی مدل پیشنهادی این تحقیق و سپس در بخش ۲-۲ به‌طور خلاصه الگوریتم‌های مورد استفاده در این تحقیق مرور می‌شود.

۲-۱- روند کلی

در ابتدا نقشه‌های مناطق جدید برای هر کاربری بین سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۸ تولید شد. در مرحله بعدی، نقشه‌های فاکتور برای سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۰۸ به دست آمدند. سپس با استفاده از رگرسیون منطقی و به‌صورت دو متغیره، توسعه هر کاربری به‌صورت مجزا پیش‌بینی شد. هم‌چنین با استفاده از روش مارکوف تعداد پیکسل‌های مستعد تغییر از یک کاربری به کاربری دیگر محاسبه شد. در مرحله بعد با استفاده از روش MOLA، نتایج حاصل از رگرسیون منطقی و مارکوف با یکدیگر ترکیب شدند. برای اعمال

استفاده کردند. در این تحقیق، کاربرد اتوماتای سلولی ابتدا به‌صورت کلی و سپس به‌صورت کاربردی در مسائل توسعه شهری بیان شد. سپس کارایی این مدل با اجرای آن برای دو منطقه مطالعاتی ثابت شد. زارعی و آل شیخ [۸] رشد شهری را برای شهر شیراز با ترکیب اتوماتای سلولی و الگوریتم ژنتیک^۱ مدل‌سازی کردند. یانگ و همکاران [۹] با ترکیب اتوماتای سلولی، زنجیره مارکوف و الگوریتم بهینه‌یابی کلونی مورچگان^۲، روشی را برای مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی ارائه دادند که مقایسه آن با سایر تحقیقات انجام‌شده بیان‌گر کارایی و دقت قابل قبول مدل در مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی است. مدل SLEUTH^۳ [۱۰] نیز از مدل‌هایی است که در زمینه توسعه شهری کاربرد دارد. این مدل به‌عنوان یک مدل سلول مینا از اطلاعات شیب، نوع کاربری زمین، مناطق غیرقابل گسترش، محدوده شهر، حمل‌ونقل و اطلاعات توپوگرافی منطقه برای مدل‌سازی توسعه شهری استفاده می‌کند. دژکام و همکاران [۱۰] از این مدل برای مدل‌سازی توسعه شهری رشت استفاده کردند. کادوری و کلارک [۱۱] کارایی این مدل را به‌صورت چندزمانه بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که کاهش دقت نقشه‌های پیش‌بینی‌شده توسط این مدل علاوه بر خود مدل به تاریخ شهر و عدم قطعیت^۴ در داده‌های ورودی و دقت نقشه‌های مرجع نیز بستگی دارد.

در اکثر تحقیقات، مدل‌سازی به‌صورت شهری و غیرشهری انجام شده است. بنابراین در این مقاله، روشی برای مدل‌سازی تغییرات چندگانه کاربری اراضی ارائه داده شده است. هدف اصلی این تحقیق، مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات چندگانه کاربری اراضی و افزایش کارایی رگرسیون منطقی در مرحله

¹ Genetic Algorithm

² Ant Colony Optimization

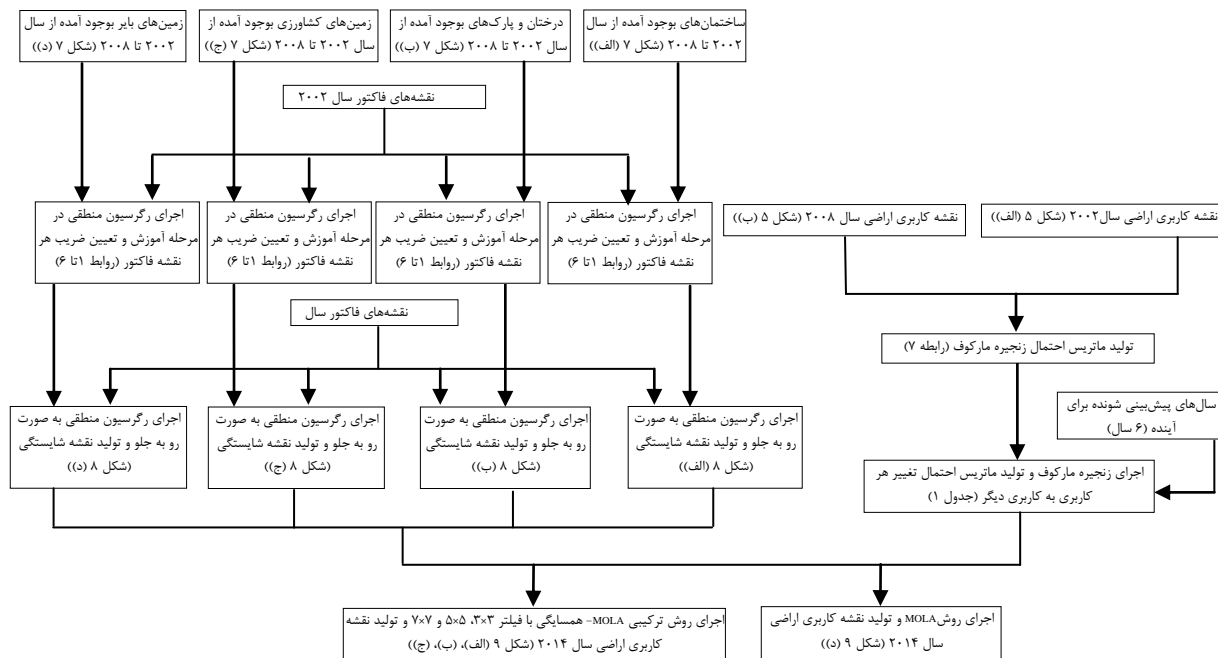
³ Slope, Land-use, Exclusion, Urban, Transportation, Hillshade

⁴ Uncertainty

⁵ Multi Objective Land Allocation

روند پیشنهادی برای پیش‌بینی تغییرات چندگانه کاربری اراضی را نشان می‌دهد

اثر همسایگی در پیش‌بینی، روش MOLA به n مرحله تبدیل شده و در هر مرحله فیلتر همسایگی به روش MOLA اعمال شد. شکل ۱، مراحل اصلی



شکل ۱: روند پیشنهادی برای پیش‌بینی تغییرات چندگانه کاربری اراضی

نشان‌دهنده تغییر و مقدار ۰ نشان‌دهنده عدم تغییر کاربری در بازه زمانی مورد نظر است.

رابطه زیر نشان‌دهنده فرمول رگرسیون منطقی است [۱۲، ۱۳]:

$$P(X) = \frac{1}{1 + e^{-(\alpha + \sum b_i X_i)}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که $P(X)$ نشان‌دهنده احتمال تغییر کاربری هر پیکسل و X_i پارامترهای مستقل مدل (مانند فاصله از راه‌ها) و α ثابت رابطه و $B = (b_0, b_1, b_2, \dots, b_k)$ ضرایب رگرسیون هستند که α و b_i باید برآورد شوند.

تابع رگرسیون منطقی تابعی غیرخطی است که برای خطی‌سازی باید از آن لگاریتم گرفته شود. روابط ۲ و ۳ مراحل خطی‌سازی رگرسیون منطقی را نشان می‌دهد [۱۲، ۱۳]:

$$\text{Logit } P(X) = \ln\left(\frac{P(X)}{1 - P(X)}\right) \quad \text{رابطه (۲)}$$

۲-۲- مروری بر الگوریتم‌های مورد استفاده

در این بخش، به ترتیب روش رگرسیون منطقی (بخش ۲-۲-۱)، روش زنجیره مارکوف (بخش ۲-۲-۲)، روش MOLA (بخش ۲-۲-۳) و درنهایت مفهوم پارامتر همسایگی (بخش ۲-۲-۴) شرح داده می‌شوند.

۲-۲-۱- رگرسیون منطقی

سؤالی که در اکثر تحقیقات مرتبط با کاربری اراضی به وجود می‌آید، این است که چه رابطه‌ای بین یک مجموعه پارامتر مستقل و یک خروجی باینری وابسته وجود دارد؟

برای پاسخ به این سؤال معمولاً از روش رگرسیون منطقی استفاده می‌شود. این روش قادر است میزان تأثیر پارامترهای مستقل (در این جا نقشه فاکتورهای تأثیرگذار (شکل ۶) را با توجه به متغیر وابسته به صورت ۰ و ۱ (شکل ۷) به دست آورد. در مسائل کاربری اراضی متغیر وابسته به صورت ۰ و ۱ است که مقدار ۱

استفاده از ماتریس انتقال بیان می‌کند. ویژگی اصلی این روش این است که حالت بعدی فقط به حالت فعلی وابسته است و به حالت‌های پیشین و همسایه‌ها بستگی ندارد [۱۴]. این روش دارای یک ماتریس انتقال است که پیش‌بینی بر اساس آن انجام می‌گیرد. عناصر این ماتریس، احتمال تغییر از هر کاربری به کاربری دیگر هستند [۱۵]. در مسائل تغییر کاربری اراضی، این روش با استفاده از ماتریس انتقال و حالت کاربری‌ها در زمان t_1 ، حالت کاربری‌ها در زمان t_2 را پیش‌بینی می‌کند. مشکل اصلی این روش در نظر نگرفتن پارامتر مکانی در پیش‌بینی است که برای حل این مشکل می‌تواند با روش‌های دیگر تلفیق شود. برای اجرای این روش ابتدا نیاز است ماتریس انتقال تشکیل شود. این ماتریس می‌تواند بر اساس تجربه یا بر اساس رفتار قدیم مسئله به دست آید. زنجیره مارکوف طبق روابط ۷ و ۸ از سه ماتریس تشکیل شده است [۱۶]. M_{LC} ماتریس انتقال و M_t و M_{t+1} تعداد پیکسل هر کاربری در دو زمان t و $t+1$ هستند:

$$M_{LC} \times M_t = M_{t+1} \quad \text{رابطه (۷)}$$

رابطه (۸)

$$\begin{bmatrix} LC_{AA} & LC_{AB} & LC_{AP} & LC_{AO} \\ LC_{BA} & LC_{BB} & LC_{BP} & LC_{BO} \\ LC_{PA} & LC_{PB} & LC_{PP} & LC_{PO} \\ LC_{OA} & LC_{OB} & LC_{OP} & LC_{OO} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} A_t \\ B_t \\ P_t \\ O_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{t+1} \\ B_{t+1} \\ P_{t+1} \\ O_{t+1} \end{bmatrix}$$

که A نشان‌دهنده کاربری زمین‌های کشاورزی و B نشان‌دهنده کاربری ساختمانی و P نشان‌دهنده کاربری درختان و پارک‌ها و O نشان‌دهنده کاربری زمین‌های بایر و LC_{AB} نشان‌دهنده احتمال تغییر از کاربری B در زمان t به کاربری A در زمان $t+1$ و A_t ، B_t ، P_t و O_t نشان‌دهنده تعداد پیکسل‌های موجود در کاربری‌های A ، B ، P و O در زمان t است. در این تحقیق، زنجیره مارکوف در محیط برنامه‌نویسی متلب پیاده‌سازی شد.

رابطه (۳)

$$\ln\left(\frac{P(X)}{1-P(X)}\right) = \alpha + b_1 X_1 + \dots + b_k X_k + \varepsilon.$$

رگرسیون منطقی برای برآورد بهترین ترکیب ضرایب برآزش مدل (α, b_i) ، از روش بیشینه درست‌نمایی استفاده می‌کند. رابطه ۴ بیان‌گر تابع بیشینه درست‌نمایی به کار گرفته‌شده در رگرسیون منطقی است [۱۲]:

$$L = \prod_{i=1}^N \mu_i^{y_i} \times (1 - \mu_i)^{(1-y_i)} \quad \text{رابطه (۴)}$$

که L بیان‌گر احتمال، y_i بیان‌گر مقدار مشاهده‌شده متغیر وابسته برای نمونه i و در نهایت μ_i بیان‌گر مقدار پیش‌بینی شده برای متغیر وابسته برای نمونه i است [۱۲]:

$$\mu_i = \frac{1}{1 + e^{-\left(\sum_{k=0}^k b_k x_{ik}\right)}} \quad \text{رابطه (۵)}$$

برای بیشینه کردن رابطه ۴ باید رابطه غیرخطی زیر حل شود:

$$\sum_{i=1}^N (y_i - \mu_i) \times x_{ij} = 0 \quad \text{رابطه (۶)}$$

که x_{ij} نشان‌دهنده مقدار مشاهده‌شده برای فاکتور j برای نمونه i است. برای حل رابطه ۶ از الگوریتم نیوتن-رافسون [۱۲] استفاده می‌شود. با انجام مراحل بالا، رگرسیون منطقی قادر به برآورد ضرایب رابطه است. رگرسیون منطقی برای مرحله آموزش و به دست آوردن α و b_i به نقشه مناطق جدید ساخته‌شده (شکل ۷) نیاز دارد. در این تحقیق، رگرسیون منطقی در محیط برنامه‌نویسی متلب^۲ پیاده‌سازی شد.

۲-۲-۲- زنجیره مارکوف

زنجیره مارکوف مدلی است که احتمال تغییر از یک حالت در زمان t_1 به حالت دیگر در زمان t_2 را با

1 Newton-Raphson

2 Matlab

۲-۲-۳- MOLA

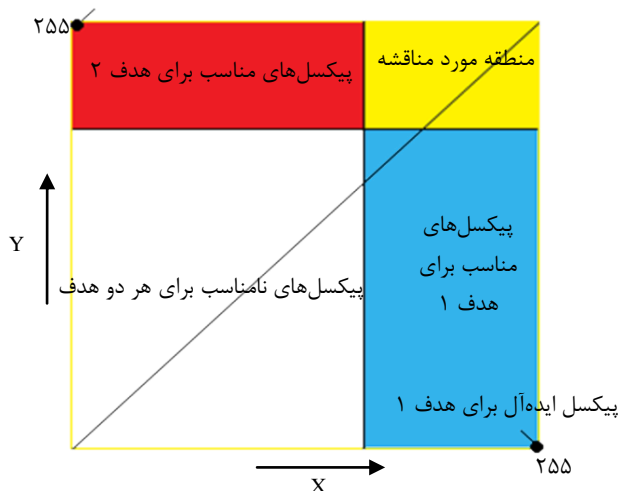
زمانی که مدل‌سازی چندگانه تغییرات کاربری مدنظر است، نیاز است روشی برای پیدا کردن مناطق مناسب برای تخصیص به هر کاربری به کار برده شود. روش MOLA روشی است که مناطق مناسب برای تخصیص به هر هدف در منطقه مورد مطالعه را پیدا می‌کند. کاربرد این روش پیدا کردن مناطق مناسب برای اهداف مسئله است [۱۷]. اهداف مسئله در این روش یک نوع از کاربری زمین هستند. این روش، یک نقشه شایستگی برای هر کاربری و یک عدد برای معرفی مساحت مورد نیاز هر کاربری به عنوان ورودی نیاز دارد که این مساحت به صورت تعداد پیکسل به شبکه معرفی می‌شود. سپس با استفاده از نقشه‌های شایستگی و به ترتیب شایستگی هر پیکسل، تعداد پیکسل‌های مورد نیاز برای هر کاربری تخصیص داده می‌شود. ممکن است در پیدا کردن مناطق مناسب برای هر کاربری، یک پیکسل برای دو یا چند کاربری مناسب باشد که برای انتخاب یک کاربری برای آن پیکسل از مفهوم کوتاه‌ترین فاصله تا پیکسل ایده‌آل استفاده شده است [۱۸].

۲-۲-۳-۱- کوتاه‌ترین فاصله تا پیکسل ایده‌آل

با توجه به شکل ۲ برای تخصیص کاربری به پیکسل‌های نقشه، فضای تصمیم تشکیل می‌شود. فضای تصمیم به صورت یک ماتریس دوبعدی است که تعداد عناصر این ماتریس برابر با تعداد پیکسل‌های منطقه مورد مطالعه است. این ماتریس با استفاده از طبقه‌بندی مجدد نقشه بر اساس مقدار هر پیکسل در نقشه‌های شایستگی دو کاربری تشکیل می‌شود [۱۸]. هر عنصر در این ماتریس دارای دو مقدار (x,y) است که x بیان‌گر مقدار پیکسل در نقشه شایستگی کاربری ۱ و y بیان‌گر مقدار پیکسل در نقشه شایستگی کاربری ۲ است. پس از تشکیل فضای تصمیم، باید مناطق مناسب برای تخصیص به هر کاربری پیدا شود. این کار با توجه به مساحت مورد نیاز

هر کاربری بر اساس شایستگی پیکسل‌ها انجام می‌شود. به این صورت که پیکسل‌های بالاترین شایستگی به کاربری مورد نظر تخصیص داده می‌شوند (شکل ۲- منطقه آبی و زرد: پیکسل‌های مناسب برای کاربری ۱، منطقه قرمز و زرد: پیکسل‌های مناسب برای کاربری ۲). با توجه به شکل ۲، منطقه زرد رنگ (منطقه مورد مناقشه) دارای پیکسل‌هایی است که برای هر دو کاربری مناسب تشخیص داده شده است. برای از بین بردن مناقشه، در فضای تصمیم برای هر کاربری یک پیکسل ایده‌آل در نظر گرفته می‌شود. معیار انتخاب پیکسل ایده‌آل این است که این پیکسل مناسب‌ترین پیکسل برای یک کاربری و نامناسب‌ترین پیکسل برای کاربری دیگر است که این پیکسل در مرحله طبقه‌بندی مجدد نقشه شناسایی می‌شود [۱۷]. سپس خط تصمیم بر اساس مفهوم کوتاه‌ترین فاصله تا پیکسل ایده‌آل ترسیم می‌شود. با توجه به شکل ۲، این خط، منطقه مورد مناقشه را به دو قسمت تبدیل می‌کند که مناطق زیر خط تصمیم در منطقه مورد مناقشه به کاربری ۱ و مناطق بالای خط تصمیم در منطقه مورد مناقشه به کاربری ۲ تعلق پیدا می‌کند. در این تحقیق، این روش در محیط برنامه‌ویسی متلب پیاده‌سازی شد.

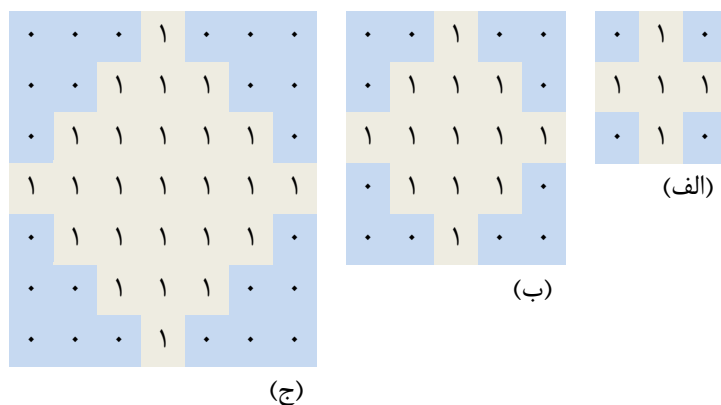
پیکسل ایده‌آل برای هدف ۲



شکل ۲: فضای تصمیم در روش MOLA

۴-۲-۲- همسایگی

یکی از اساسی‌ترین المان‌های مکانی موجود که باعث تغییرات کاربری می‌شود، پارامتر نزدیکی است [۱۹]



شکل ۳: فیلترهای همسایگی؛ الف) ۳×۳، ب) ۵×۵، ج) ۷×۷

$$\text{Overall Accuracy} = \sum_{i=1}^c P_{ii} \quad \text{رابطه (۹)}$$

$$\text{Kappa} = \frac{\sum_{i=1}^c P_{ii} - \sum_{i=1}^c P_{iT} \cdot P_{Ti}}{1 - \sum_{i=1}^c P_{iT} \cdot P_{Ti}} \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

که $i=1, \dots, c$ نشان‌دهنده کاربری‌های موجود در منطقه و P_{ii} نشان‌دهنده پیکسل‌هایی از کاربری i در واقعیت بوده که در مدل شبیه‌سازی شده نیز در کاربری i هستند و P_{ij} نشان‌دهنده پیکسل‌هایی از کاربری i در واقعیت بوده که در مدل شبیه‌سازی شده در کاربری j قرار گرفتند و P_{iT} نشان‌دهنده مجموع پیکسل‌های کلاس i در واقعیت و P_{Ti} نشان‌دهنده مجموع پیکسل‌های کلاس i در مدل شبیه‌سازی شده است.

مشکل اصلی این دو معیار، ناتوانی در بیان جداگانه دقت مکان است. در این جا از معیار کاپای مکان^۳ برای ترمیم این مشکل استفاده کردیم. [۲۱] کاپای مکان را اولین بار برای بیان دقت مکانی شبیه‌سازی معرفی کرد. رابطه ۱۱ بیان‌گر فرمول محاسبه کاپای مکان است:

مناطق نزدیک‌تر به یک کاربری تمایل بیشتری به تغییر به آن کاربری را دارند [۲۰]. نزدیکی توسط فیلتر همسایگی اعمال می‌شود. با اعمال فیلتر میانگین همسایگی به نقشه بولین هر کاربری و ضرب آن در نقشه شایستگی هر کاربری، ارزش مناطق دورتر کمتر و ارزش مناطق نزدیک‌تر بیشتر می‌شود. در این مقاله، سه فیلتر میانگین ۳×۳، ۵×۵ و ۷×۷ (شکل ۳) برای اعمال پارامتر همسایگی به کار برده شده است.

۳- روش‌های ارزیابی نتایج

۳-۱- ماتریس مقایسه

دو معیار دقت کلی^۱ و ضریب کاپا^۲ در تحقیقات زیادی برای بیان دقت شبیه‌سازی استفاده شده‌اند. این معیارها بیان‌گر تطابق بین واقعیت و مدل شبیه‌سازی شده هستند. از مزایای شاخص کاپا استفاده از تمام مقادیر ماتریس مقایسه جهت محاسبه دقت است. روابط ۹ و ۱۰ نحوه به دست آوردن دقت کلی و شاخص کاپا از ماتریس مقایسه را نشان می‌دهد:

¹ Overall accuracy

² Kappa index

³ Klocation

رابطه (۱۱)

$$Klocation = \frac{\sum_{i=1}^c P_{ii} - \sum_{i=1}^c P_{iT} \cdot P_{Ti}}{\sum_{i=1}^c \min(P_{iT}, P_{Ti}) - \sum_{i=1}^c P_{iT} \cdot P_{Ti}}$$

تعداد پیکسل‌هایی است که توسط مدل گسترش نیافته و در نقشه مرجع هم گسترش نیافته است. بنابراین هرچه تعداد پیکسل‌های B و C کمتر باشد، دقت مدل سازی بیشتر است.

سپس مساحت زیر نمودار را محاسبه کرده که این مساحت بین ۰/۵ و ۱ است که ۰/۵ نشان‌دهنده برآزش بر اساس شانس و ۱ نشان‌دهنده بهترین برآزش است.

جدول ۱: جدول سازگاری

نقشه مرجع			
گسترش یافته		گسترش مجموع	
A	B	A+B	گسترش یافته
C	D	C+D	گسترش نیافته
A+C	B+D	A+B+C+D	مجموع

۴- منطقه مطالعاتی و آماده‌سازی داده‌ها

در این بخش ابتدا منطقه مورد مطالعه (بخش ۴-۱) سپس داده‌های مورد استفاده و پردازش‌های اولیه لازم برای آماده‌سازی داده‌ها (بخش ۴-۲) شرح داده می‌شوند.

۴-۱- منطقه مورد مطالعه

شهر تهران به‌عنوان مرکز ایران در شمال کشور و جنوب رشته‌کوه البرز واقع شده است. این شهر در ۳۵ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی و ۵۱ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی قرار دارد. تراکم جمعیت در تهران چیزی بیش از ۱۱۰۰۰ نفر در هر کیلومتر مربع است و این جمعیت روزبه‌روز در حال افزایش است. طبق آمار، جمعیت شهر تهران در سال ۲۰۱۰ بالغ بر ۸/۸ میلیون نفر بوده است [۲۴]. برای این تحقیق، مساحتی حدود ۱۷۹۷ کیلومتر مربع در نظر گرفته شده است (شکل ۴)

دقت کلی و کاپای مکان بین ۰ و ۱ متغیر است که هر چه به ۱ نزدیک‌تر باشد، بیان‌گر تطابق بیشتر مدل با واقعیت است. شاخص کاپا کمتر از ۰/۴ بیان‌گر ضعف مدل و شاخص کاپا بالاتر از ۰/۸ بیان‌گر قدرت مدل در شبیه‌سازی است [۱۵].

۳-۲- شاخص عامل نسبی (ROC^۱)

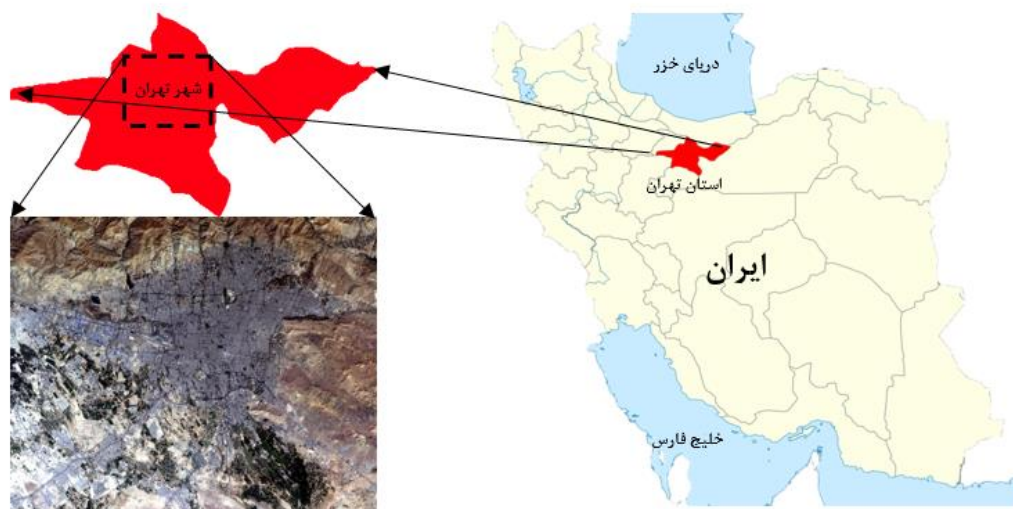
این روش در بررسی دقت مدل شبیه‌سازی‌شده در مسائل تغییرات کاربری اراضی کاربرد زیادی داشته است [۲۲، ۲۳]. این روش رابطه بین نقشه شبیه‌سازی‌شده و نقشه مرجع را به دست می‌آورد. از مزایای این روش این است که دقت مدل‌سازی را با در نظر گرفتن حدود آستانه مختلف به دست می‌آورد. شاخص عامل نسبی، منحنی‌ای است که محور X آن از رابطه ۱۲ و محور Y آن از رابطه ۱۳ بر اساس حدود آستانه تعیین شده از جدول سازگاری (جدول ۱) محاسبه می‌شود.

$$False\ Positive\% = \frac{B}{B + D} \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

$$True\ Positive\% = \frac{A}{A + C} \quad \text{رابطه (۱۳)}$$

که A بیان‌گر تعداد پیکسل‌هایی است که در نقشه پیش‌بینی شده گسترش یافته و در نقشه مرجع نیز گسترش یافته است، B بیان‌گر تعداد پیکسل‌هایی است که توسط مدل گسترش یافته، ولی در نقشه مرجع گسترش نیافته است، C بیان‌گر تعداد پیکسل‌هایی است که در مدل گسترش نیافته، ولی در نقشه مرجع گسترش یافته است و D بیان‌گر

¹ Relative operating characteristic



شکل ۴: منطقه مورد مطالعه

انجام شده است. در طبقه‌بندی انجام‌شده از روش مقایسه یک به یک^۳ استفاده شد. در نهایت، دقت کلی طبقه‌بندی به ترتیب ۸۹/۴ و ۹۱/۲ و ۹۲/۶ به دست آمد. خروجی این مرحله، نقشه‌های کاربری اراضی شهر تهران است (شکل ۵). در منطقه مورد مطالعه و با توجه به قدرت تفکیک مکانی^۴ تصاویر، پنج کاربری زمین‌های کشاورزی، ساختمانی، درختان و پارک‌ها، زمین‌های بایر و منطقه غیرقابل تغییر شناسایی شدند. چهار کاربری اول به‌عنوان کاربری‌های تغییرپذیر و کاربری مناطق غیرقابل تغییر به‌عنوان کاربری تغییرناپذیر در نظر گرفته شدند. در این تحقیق، برای طبقه‌بندی تصاویر از نرم‌افزار Envi استفاده شد.

۲-۴-۲- آماده‌سازی داده‌ها

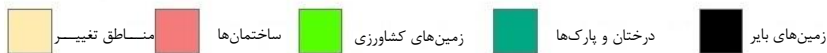
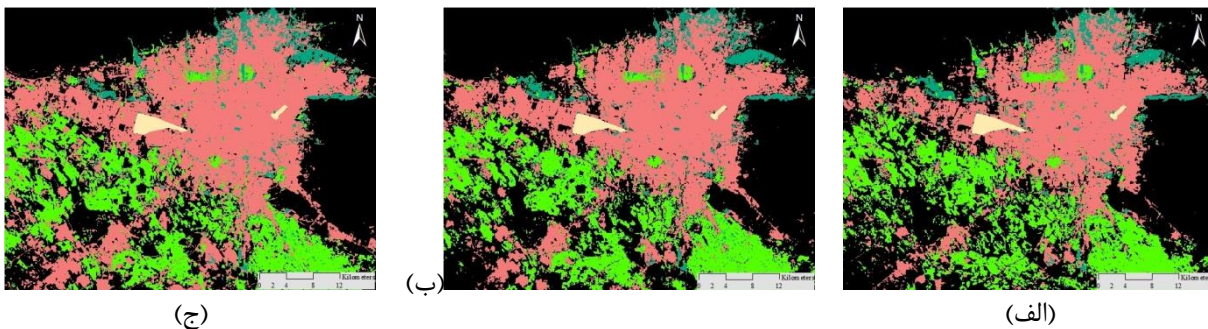
در این بخش، ابتدا نحوه تولید نقشه‌های کاربری اراضی (بخش ۴-۲-۱) سپس نحوه تولید نقشه فاکتورهای تأثیرگذار در تغییرات کاربری (بخش ۴-۲-۲) و در بخش ۴-۲-۳ نحوه تولید نقشه مناطق جدید به‌وجودآمده برای هر کاربری بین سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۸ شرح داده می‌شوند.

۴-۲-۱- تولید نقشه‌های کاربری اراضی

برای تولید نقشه‌های کاربری اراضی، از تصاویر سنجنده ETM+، TM، ماهواره لندست در سال‌های ۲۰۰۲، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۴ استفاده شد. برای انطباق تصاویر با واقعیت زمینی عمل تصحیح هندسی روی آن‌ها انجام شد. بدین منظور از رابطه چندجمله‌ای درجه اول و عمل بازنمونه‌گیری تصویر با استفاده از روش نزدیک‌ترین همسایه استفاده شد. طبقه‌بندی این تصاویر با روش ماشین بردار پشتیبان^۱ و با استفاده از کرنل تابع پایه شعاعی (RBF)^۲

^۳ One vs one
^۴ Spatial Resolution

1 Support Vector Machine
2 Radial basis function



شکل ۵: نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های الف) ۲۰۰۲، ب) ۲۰۰۸، ج) ۲۰۱۴

۴-۲-۲- فاکتورهای تأثیرگذار در تغییرات کاربری

با توجه به نظر کارشناسان و تحقیقات قبلی [۲۵، ۲۲، ۵] سه نوع فاکتور برای مدل‌سازی تغییرات کاربری در نظر گرفته شده است:

۱. فاکتورهای فاصله: فاصله تا زمین‌های کشاورزی موجود^۱، فاصله تا مناطق ساختمانی، فاصله تا درختان و پارک‌های موجود، فاصله تا زمین‌های بایر موجود، فاصله تا گسل، فاصله تا راه‌ها، فاصله تا نقاط خروجی شهر، فاصله تا غربی‌ترین نقاط شهر^۲، فاصله تا شمالی‌ترین نقاط شهر، فاصله از جریان‌های آبی، فاصله تا روستاها، فاصله تا مراکز شهری؛ به‌عنوان فاکتورهای دخالت‌دهنده اجزای

مختلف سیستم شهری و تعامل بین آن‌ها در فرآیند مدل‌سازی مدنظر قرار گرفته شد.

۲. فاکتورهای توپوگرافی: شامل ارتفاع، شیب، جهت شیب؛ این فاکتورها بیان‌گر شکل کلی زمین در منطقه مورد مطالعه هستند.

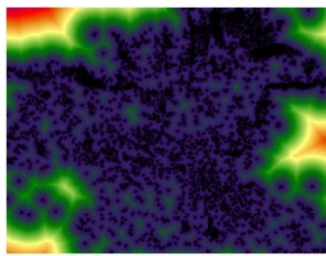
۳. فاکتورهای بولین: شامل منطقه غیرقابل تغییر و نقشه بولین هر کاربری است. این فاکتورها عوامل کنترل‌کننده مدل‌سازی هستند. با وارد کردن این فاکتورها در فرآیند مدل‌سازی در مناطقی که ارزش پیکسل برابر صفر است، مدل‌سازی انجام نمی‌گیرد. (نقشه بولین هر کاربری فقط در مدل‌سازی همان کاربری وارد می‌شود).

در نهایت ۱۷ فاکتور به‌عنوان فاکتورهای تأثیرگذار در تغییر هر کاربری در نظر گرفته شد (شکل ۶). برای تولید نقشه فاکتورهای تأثیرگذار از نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد. برای تولید این نقشه‌ها از نرم‌افزار ArcGIS و Idrisi Selva استفاده کردیم.

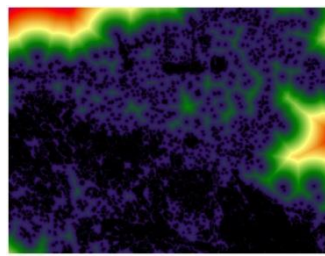
^۱ به معنی فاصله هر پیکسل در منطقه مورد مطالعه تا نزدیک‌ترین پیکسل با کاربری زمین‌های کشاورزی موجود است. به همین ترتیب فاصله تا سایر کاربری‌های شهری تعریف می‌شود.

^۲ منظور از فاصله تا غرب شهر در واقع فاصله هر پیکسل تا ضلع غربی کوچک‌ترین مستطیل کاری (Minimum Bounding Box) است که محدوده منطقه مورد مطالعه را در بر گرفته است. به همین ترتیب فاصله تا شمالی‌ترین نقاط شهری تعریف می‌شود

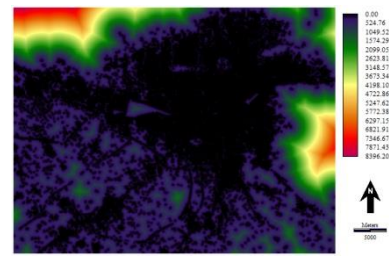
استفاده از زنجیره مارکوف، MOLA و فیلتر همسایگی ...
 حسین عسکریان عمران، پرهام پهلوانی



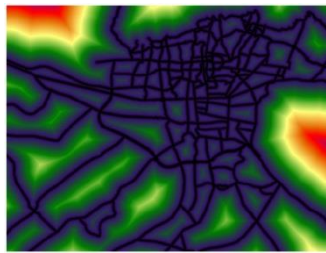
(ا)



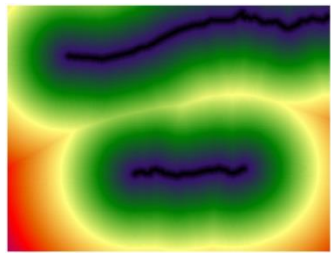
(ب)



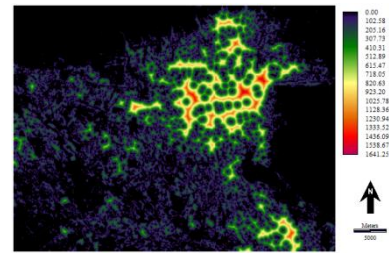
(ج)



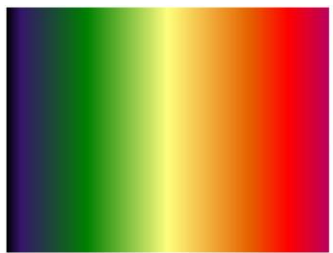
(د)



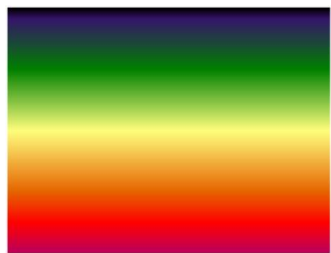
(ه)



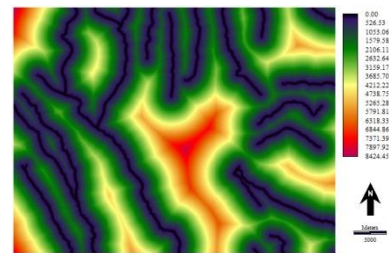
(و)



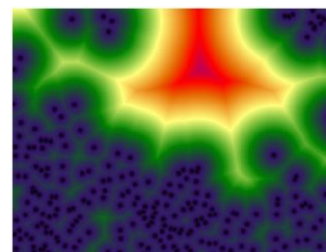
(ز)



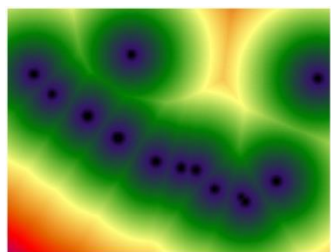
(ح)



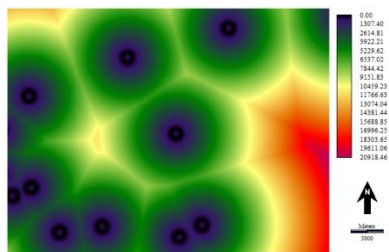
(ط)



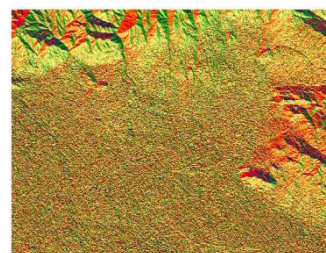
(ث)



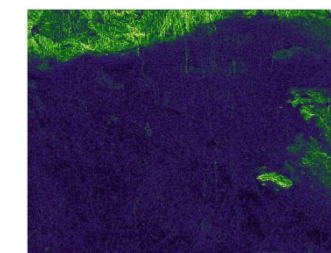
(ج)



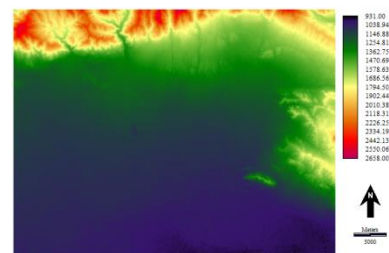
(د)



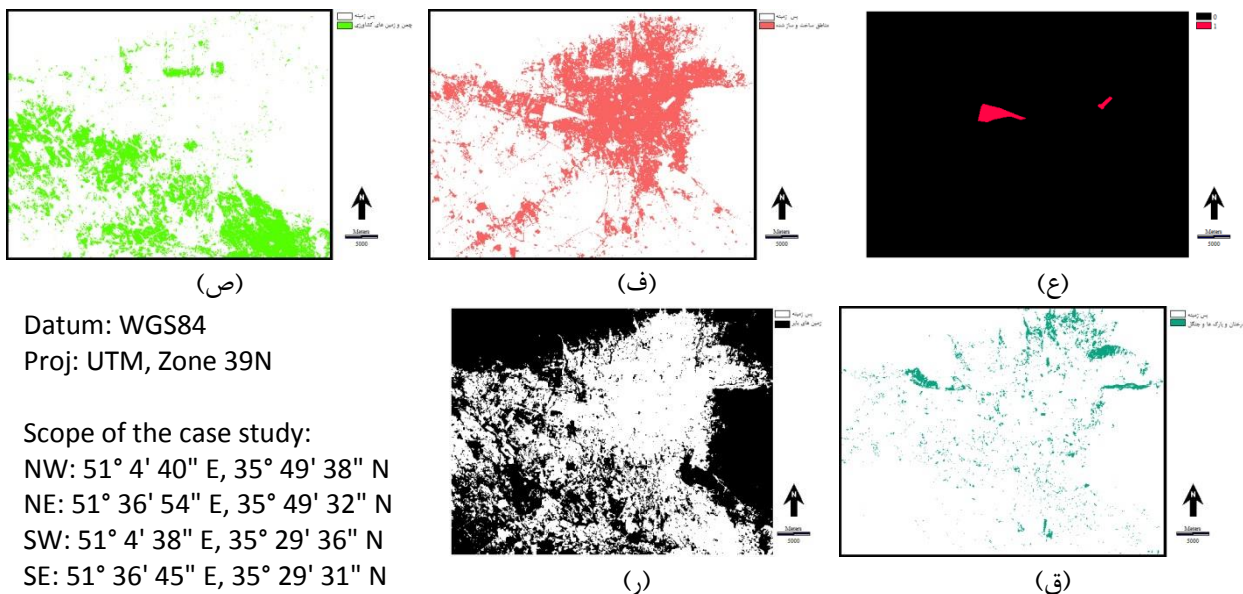
(ه)



(و)



(ز)



شکل ۶: نقشه‌های فاکتور سال ۲۰۰۲؛ الف) فاصله از مناطق ساختمانی، ب) فاصله از زمین‌های کشاورزی، ج) فاصله از درختان و پارک‌ها، د) فاصله از زمین‌های بایر، ه) فاصله از گسل، و) فاصله از راه‌ها، ز) فاصله از جریان‌های آبی، ح) فاصله از شمال شهر، ط) فاصله از غرب شهر، ی) فاصله از مراکز شهری، ک) فاصله از نقاط خروجی شهر، ل) فاصله از روستاها، م) ارتفاع، ن) شیب، س) جهت شیب، ع) منطقه غیرقابل تغییر، ف) نقشه بولین مناطق ساخت‌وساز شده، ص) نقشه بولین چمن و زمین‌های کشاورزی، ق) نقشه بولین درختان و پارک‌ها و جنگل، ر) نقشه بولین زمین‌های بایر.

ترکیب شد و برای رسیدن به هدف ۲، فیلتر همسایگی با روش MOLA ترکیب شد.

در مرحله اول، رگرسیون منطقی در مرحله آموزش، با استفاده از نقشه عوارض جدید هر کاربری از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۸ به صورت بولین (شکل ۷)، اقدام به تعیین ضریب تأثیر هر یک از فاکتورهای مؤثر (شکل ۶) در تغییر کاربری کرد. سپس با استفاده از این ضرایب و نقشه‌های فاکتور سال ۲۰۰۸ و اجرای رگرسیون منطقی به صورت رو به جلو، نقشه شایستگی هر کاربری (شکل ۸) برای سال ۲۰۱۴ تولید شد.

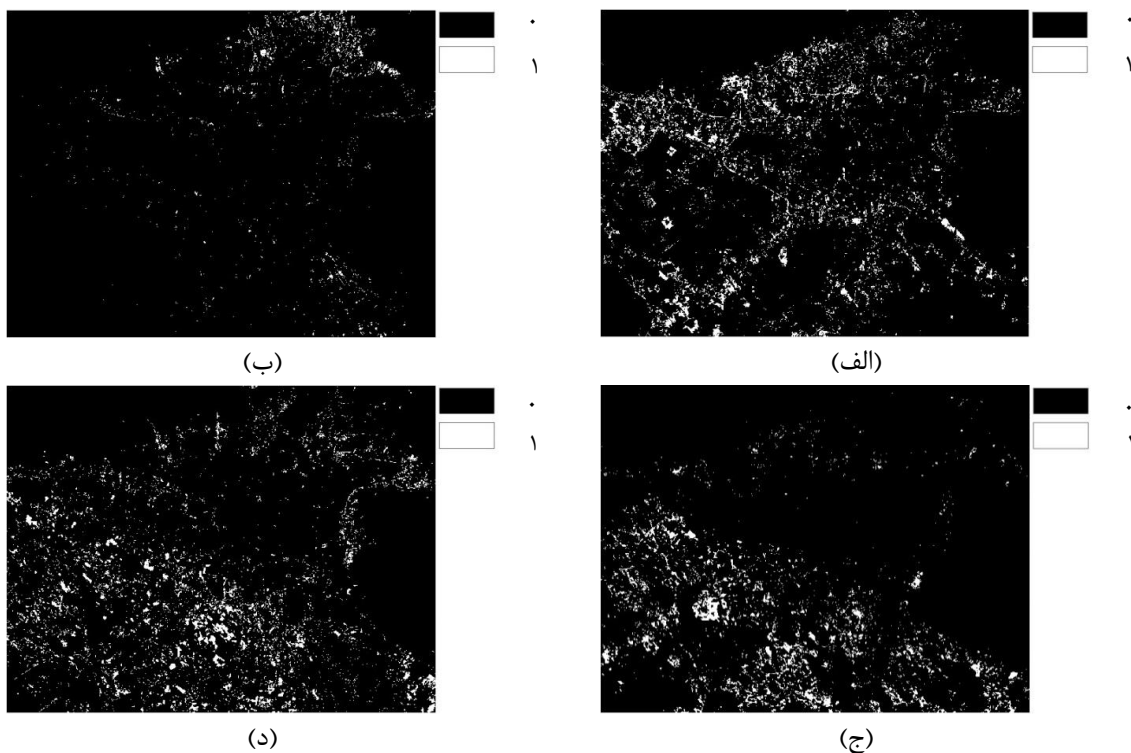
۴-۲-۳- نقشه مناطق جدید به وجود آمده بین سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۸ برای هر کاربری به صورت بولین

برای تولید این نقشه‌ها، نقشه هر کاربری در سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۰۸ را از یکدیگر تفریق و سپس به دو منطقه جدید و تغییرنکرده طبقه‌بندی مجدد کردیم. شکل ۷ نقشه مناطق جدید هر کاربری بین سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۸ را نشان می‌دهد.

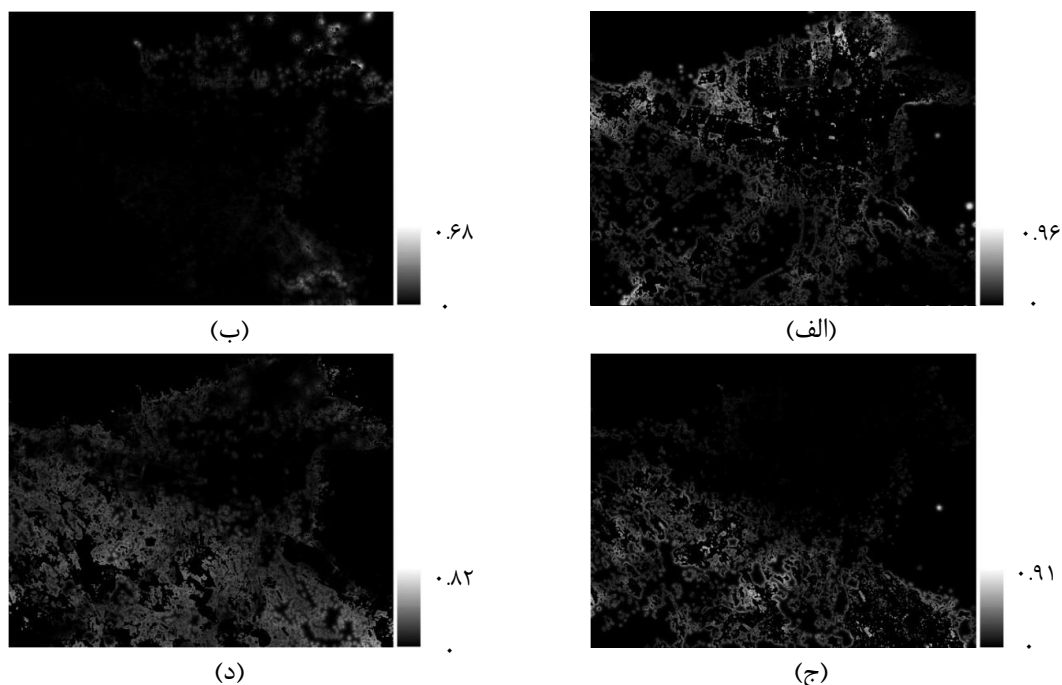
۵- نتایج

همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد، این مقاله دو هدف اصلی را دنبال می‌کند؛ (۱) پیش‌بینی تغییرات چندگانه کاربری اراضی، (۲) افزایش کارایی رگرسیون منطقی با اعمال پارامتر همسایگی. برای به دست آوردن هدف ۱، رگرسیون منطقی با روش ماركوف و MOLA

استفاده از زنجیره مارکوف، MOLA و فیلتر همسایگی ...
حسین عسکریان عمران، پرهام پهلوانی



شکل ۷: نقشه مناطق جدید به وجود آمده برای هر کاربری بین سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۸ (پیکسل با مقدار ۱: مناطق جدید، پیکسل با مقدار ۰: مناطق تغییر نکرده)؛ الف) ساختمان‌ها، ب) درختان و پارک‌ها، ج) زمین‌های کشاورزی، د) زمین‌های بایر



شکل ۸: نقشه شایستگی تولید شده برای هر کاربری توسط رگرسیون منطقی برای سال ۲۰۱۴؛ الف) ساختمان‌ها، ب) درختان و پارک‌ها، ج) زمین‌های کشاورزی، د) زمین‌های بایر

روش MOLA استفاده شد. برای این که مفهوم مجاورت را در شبکه اعمال کنیم، روش MOLA را با فیلتر همسایگی ترکیب کردیم و آن را روش ترکیبی MOLA-همسایگی نامیدیم. این روش از مراحل (به تعداد n) تشکیل شده است که تعداد مراحل برابر با تعداد سال‌های پیش‌بینی شونده برای آینده است. (در این مقاله n برابر با ۶ است.) در هر مرحله $1/n$ تعداد پیکسل‌های پیش‌بینی شده تخصیص داده می‌شود. در هر مرحله، فیلتر میانگین همسایگی (شکل ۳) روی نقشه‌های بولین هر کاربری که به صورت ۰ و ۱ است، حرکت کرده و تأثیر مناطق دورتر را کم می‌کند. سپس با ضرب هر کدام از نقشه‌های بولین فیلتر شده در نقشه شایستگی هر کاربری (شکل ۸)، احتمال تغییر مناطق دورتر کم می‌شود. این روند در هر مرحله برای هر چهار کاربری انجام می‌شود.

سپس این چهار نقشه به‌عنوان نقشه‌های شایستگی جدید به روش MOLA معرفی شده و این روش با حل مناقشه‌ها به تخصیص $1/n$ تعداد پیکسل‌های پیش‌بینی شده می‌پردازد. این روند در هر مرحله اجرا می‌شود و در هر مرحله $1/n$ تعداد پیکسل‌های پیش‌بینی شده تخصیص پیدا می‌کند. با تمام شدن مراحل، همه تعداد پیکسل‌های تغییرپذیر پیش‌بینی شده، تخصیص مکانی پیدا می‌کند. خروجی این مرحله، نقشه کاربری اراضی پیش‌بینی شده برای سال ۲۰۱۴ است. این روش در چهار حالت انجام شد. در سه حالت با در نظر گرفتن همسایگی به‌صورت فیلتر 3×3 و 5×5 و 7×7 و در حالت آخر بدون در نظر گرفتن همسایگی انجام گرفت. هدف از اجرای این روش در چهار حالت این است که میزان افزایش دقت با اعمال پارامتر همسایگی با استفاده از فیلترهای مختلف را به دست آوریم. شکل ۹ نشان‌دهنده نتایج حاصل از چهار حالت است.

پیش‌نیاز ترکیب چهار نقشه شایستگی حاصل از رگرسیون منطقی و تولید نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۴، دانستن تعداد پیکسل‌های مستعد برای تغییر از یک کاربری به کاربری دیگر است. برای این منظور، از روش زنجیره مارکوف استفاده شد. به‌گونه‌ای که ابتدا برای تشکیل ماتریس انتقال مارکوف، از نقشه کاربری اراضی سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۰۸ کمک گرفته شد. با توجه به تغییرات صورت گرفته از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۸ و معرفی بازه زمانی به شبکه، ماتریس انتقال مارکوف تشکیل شد. سپس با استفاده از ماتریس انتقال و معرفی بازه زمانی برای پیش‌بینی (برای شش سال، از ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۴) ماتریس احتمال تغییر هر کاربری به کاربری دیگر به دست آمد (جدول ۲).

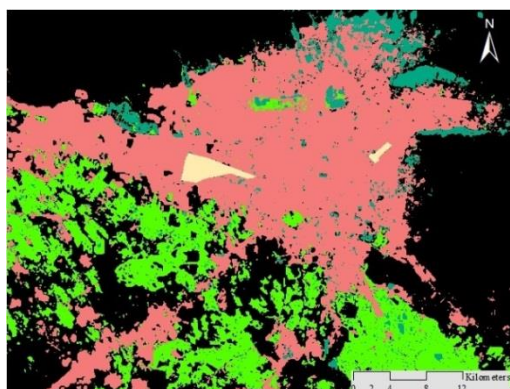
جدول ۲: ماتریس احتمال تغییر مارکوف برای سال ۲۰۱۴ بر اساس سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۰۸ (بر حسب درصد)

		۲۰۱۴			
		زمین‌های کشاورزی	ساختمان‌ها و پارک‌ها	درختان	زمین‌های بایر
۱ ۰ >	کاربری‌ها	۷۵/۱	۳	۲/۲	۱۹/۷
	زمین‌های کشاورزی	۱	۹۳/۴	۱	۴/۶
	ساختمان‌ها و درختان و پارک‌ها	۲/۴	۹/۹	۷۶/۸	۱۰/۹
	زمین‌های بایر	۷/۸	۸/۶	۰/۸	۸۲/۸

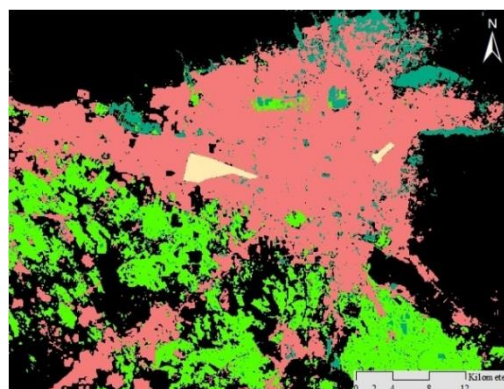
در مرحله آخر نیاز است تا چهار نقشه شایستگی حاصل از رگرسیون منطقی (شکل ۸) و تعداد پیکسل‌های تغییرپذیر پیش‌بینی شده توسط زنجیره مارکوف (جدول ۲) با هم ترکیب شوند و نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۴ تولید شود. با توجه به این که در مرحله ترکیب نقشه‌ها ممکن است بر سر تخصیص کاربری برای هر پیکسل بین دو یا چند کاربری مناقشه به وجود بیاید، برای حل این مشکل از

استفاده از زنجیره مارکوف، MOLA و فیلتر همسایگی ...

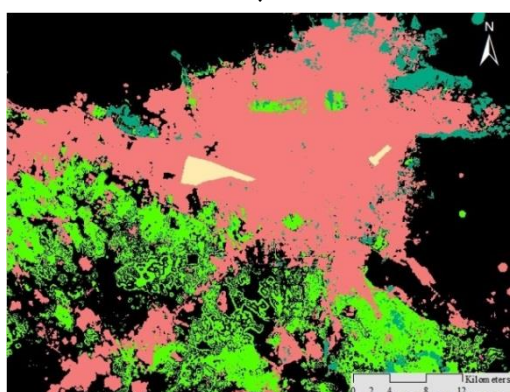
حسین عسکریان عمران، پرهام پهلوانی



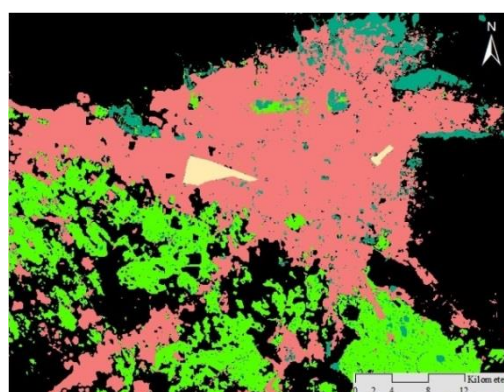
(ب)



(الف)

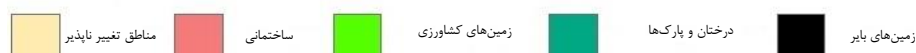


(د)



(ج)

راهنمای نقشه



شکل ۹: نقشه‌های پیش‌بینی شده سال ۲۰۱۴؛ الف) فیلتر ۳×۳، ب) فیلتر ۵×۵، ج) فیلتر ۷×۷، د) بدون فیلتر همسایگی

جدول ۳ نتایج حاصل از شبیه‌سازی در چهار حالت مختلف را با استفاده از این سه معیار نشان می‌دهد.

جدول ۳: نتایج حاصل از شبیه‌سازی در چهار حالت مختلف

فیلتر	دقت		کاپای مکان
	ضریب کاپا	کلی	
فیلتر ۷×۷	۷۴/۸۷	۸۳/۲۸	۷۷/۷۶
فیلتر ۵×۵	۷۵/۵۱	۸۳/۷۱	۷۸/۴۳
فیلتر ۳×۳	۷۶/۳۵	۸۴/۲۶	۷۹/۳
بدون فیلتر	۷۰/۲۶	۸۰/۲۸	۷۲/۳۳

همسایگی

نتایج حاکی از این است که با تأثیر پارامتر همسایگی دقت مدل‌سازی افزایش چشم‌گیری پیدا می‌کند و هر چه فیلتر همسایگی کوچک‌تر باشد، باعث پرداختن

۵-۱- ارزیابی نتایج به‌دست‌آمده

برای ارزیابی نتایج به‌دست‌آمده در این مقاله از دو روش استفاده کرده‌ایم. در روش اول با تشکیل ماتریس مقایسه به بررسی دقت پیش‌بینی به‌صورت کلی برای تمام کاربری‌ها پرداختیم. در روش دوم، از روش شاخص عامل نسبی (ROC) برای ارزیابی دقت مدل‌سازی برای هر کاربری به‌صورت مجزا استفاده کردیم.

۵-۱-۱- ماتریس مقایسه

در این مرحله نقشه‌های پیش‌بینی شده از چهار حالت در روش پیشنهادی با نقشه مرجع سال ۲۰۱۴ مقایسه شدند. برای تعیین دقت پیش‌بینی از معیارهای دقت کلی و ضریب کاپا و کاپای مکانی استفاده کردیم.

به اندازه چشم‌گیری کمتر است، که با توجه به این‌که این کاربری در طول سال در حال تغییر است، این اتفاق قابل توجیه است. هم‌چنین دقت پیش‌بینی این کاربری در حالت چهارم (بدون فیلتر همسایگی) کاهش بسیار محسوسی پیدا می‌کند که نشان‌دهنده تأثیر بیشتر فیلتر همسایگی بر مدل‌سازی این کاربری در مقابل سایر کاربری‌هاست. دقت مدل‌سازی کاربری زمین‌های بایر در سه حالت اول بیشتر از بقیه کاربری‌هاست، که با توجه به وسعت این کاربری و دوری آن از کاربری‌های دیگر قابل توجیه است و در حالت چهارم دقت مدل‌سازی کاربری ساختمان‌ها بیشتر از بقیه کاربری‌هاست. همان‌طور که در قسمت ۵-۱-۱ ذکر کردیم، با کوچک‌تر کردن فیلتر همسایگی دقت مدل‌سازی افزایش پیدا می‌کند، که این موضوع در مورد دقت هر کاربری به‌صورت مجزا به جز در یک حالت (دقت کاربری ساختمانی در حالت چهارم) نیز صدق می‌کند. با توجه به نمودارهای بالا می‌بینیم که سه کاربری ساختمان‌ها و پارک‌ها و زمین‌های بایر تقریباً دارای رفتاری یکسان و کاربری زمین‌های کشاورزی دارای رفتاری متفاوت در مقایسه با کاربری‌های دیگر دارد، که دلیل این قضیه را می‌توان عدم ثبات این کاربری در مقایسه با کاربری‌های دیگر و دقت پایین طبقه‌بندی این کاربری دانست. اختلاف دقت کاربری ساختمانی در بهترین حالت ۰/۶ درصد و برای کاربری زمین‌های بایر ۲/۲ درصد و برای کاربری درخت‌ها و پارک‌ها ۳/۹ درصد و برای کاربری زمین‌های کشاورزی ۱۱/۶ درصد است که به ترتیب با کمتر شدن ثبات کاربری‌ها محدوده تغییرات دقت افزایش می‌یابد.

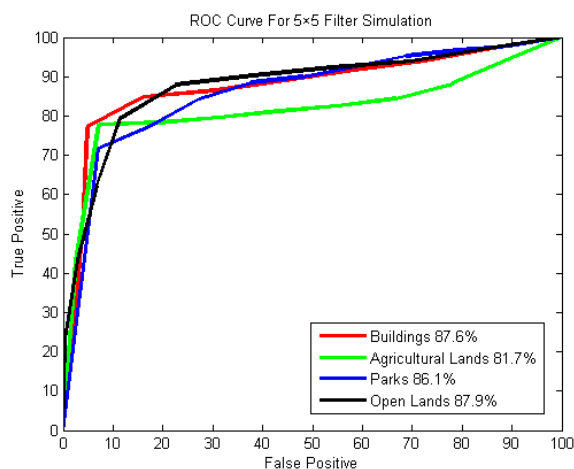
بیشتر به جزئیات و در نتیجه حصول دقت بیشتری می‌شود. این در حالی است که با اعمال فیلتر همسایگی ۷×۷ ضریب کاپا به اندازه ۴/۶۱ درصد نسبت به روش بدون فیلتر همسایگی افزایش پیدا می‌کند و زمانی که فیلتر ۳×۳ اعمال شد، ضریب کاپا به اندازه ۱/۴۸ درصد نسبت به فیلتر ۷×۷ افزایش پیدا کرد.

دقت مدل‌های تغییرات کاربری اراضی علاوه بر کارایی خود مدل از مؤلفه‌های دیگری همچون منطقه مورد مطالعه، دقت طبقه‌بندی تصاویر، عدم قطعیت در داده‌های ورودی و دقت نقشه‌های مرجع تأثیر می‌پذیرد. بنابراین شاید به‌طور قطعی نتوان در مورد دقت مدل ارائه‌شده صحبت کرد. با این وجود با توجه به جدول ۳ و بنا بر آن چه در بخش ۳-۱ ذکر شد، نتایج حاصل در حد قابل قبول است. از این‌رو، مدل ارائه‌شده مدلی کارآمد برای شبیه‌سازی تغییرات چندگانه کاربری اراضی برای شهر تهران است.

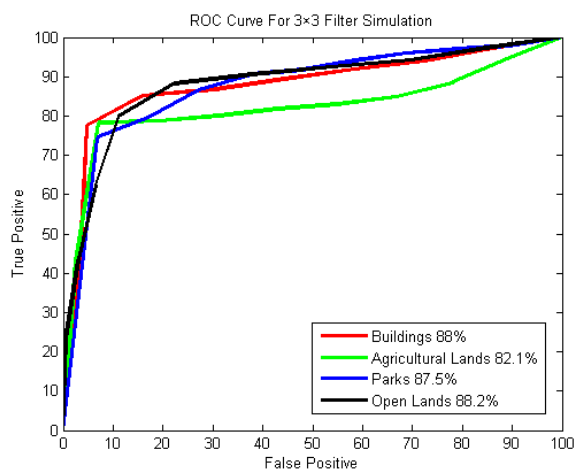
۵-۱-۲- ROC

کاربرد این روش در بررسی دقت مدل شبیه‌سازی‌شده در مسائل توسعه شهری است. یعنی در مسائلی که نقشه به صورت باینری (شهری و غیرشهری) بررسی می‌شود. بنابراین ما در این مقاله خروجی مدل (که به صورت چند کاربری است) را به نقشه‌های باینری تبدیل کردیم، سپس دقت شبیه‌سازی هر کاربری را به صورت جداگانه به دست آوردیم. شکل ۱۰ نشان‌دهنده نمودارهای ROC به دست آمده برای چهار حالت است.

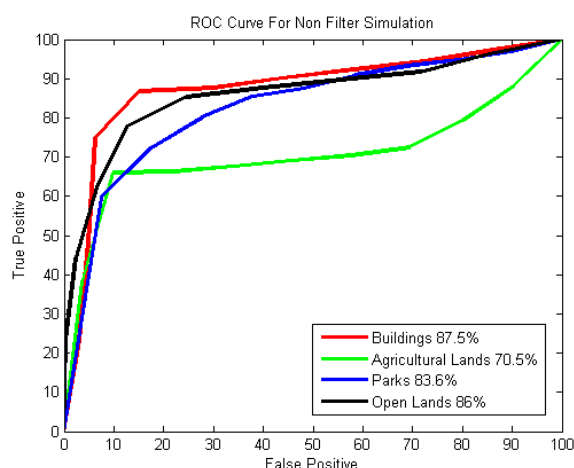
شکل ۱۰ نشان‌دهنده این است که دقت مدل‌سازی زمین‌های کشاورزی از سه کاربری دیگر



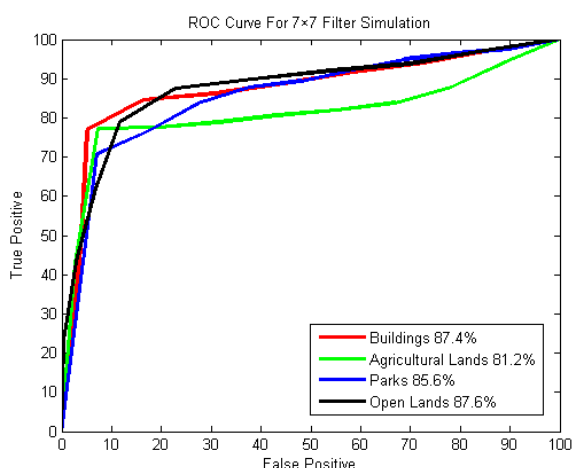
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۱۰: نمودارهای ROC چهار حالت برای هر کاربری به صورت مجزا؛ (الف) فیلتر ۳×۳، (ب) فیلتر ۵×۵، (ج) فیلتر ۷×۷، (د) بدون فیلتر

از روش مارکوف تعداد پیکسل‌های مستعد تغییر از یک کاربری به کاربری دیگر محاسبه شد. سپس برای ترکیب نتایج حاصل از رگرسیون منطقی و مارکوف از روش MOLA استفاده شد. ترکیب نتایج مراحل قبل توسط MOLA به صورت n مرحله انجام شد. تأثیر همسایگی نیز با ترکیب روش MOLA با فیلتر همسایگی اعمال شد. در این مقاله برای در نظر گرفتن تغییرات همه کاربری‌ها و نیز احتساب از بین رفتن آن‌ها، با در نظر گرفتن کاربری زمین‌های بایر که پس‌زمینه نقشه محسوب می‌شود، چرخه تغییرات را کامل کردیم.

۶- نتیجه‌گیری

به‌کارگیری GIS و RS به‌عنوان ابزار مناسبی جهت تلفیق فاکتورهای اجتماعی-اقتصادی و زیست‌محیطی برای مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی محسوب می‌شود. با توجه به این که رگرسیون منطقی فقط قادر به مدل‌سازی به‌صورت دو متغیره است، این تحقیق، روشی برای مدل‌سازی به‌صورت چندمتغیره ارائه داده است. در این مقاله ابتدا با استفاده از رگرسیون منطقی، توسعه هر کاربری به‌صورت مجزا پیش‌بینی شد. در مرحله بعد با استفاده

تغییرات ۱۲ سال، برای شش سال آینده و در سناریوی دوم با استفاده از رفتار تغییرات بین سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۴ و تعیین نرخ تغییرات شش سال، برای شش سال آینده پیش‌بینی شد. شکل ۱۱ نقشه پیش‌بینی‌شده حاصل از دو سناریو را نشان می‌دهد.

جدول ۵: ارزیابی و مقایسه دقت استخراج‌شده با مقاله‌های

پیشین

روش	منبع	ضریب کاپا میانگین ROC
روش پیشنهادی مقاله	-	۷۶/۳۵
رگرسیون منطقی [۲]	۷۳/۹۸	-
شبکه عصبی [۲]	۷۳/۱۶	-
رگرسیون منطقی [۵]	-	۶۹
شبکه عصبی [۲۶]	۷۸	۸۰

با توجه به شکل ۱۱ هر دو نقشه بیان‌گر افزایش چشم‌گیر کاربری ساختمانی و از بین رفتن زمین‌های کشاورزی، به‌خصوص در جنوب غربی تهران هستند. با توجه به سرعت بسیار زیاد رشد شهری در شهر تهران، پیش‌بینی در رابطه با افزایش چشم‌گیر کاربری ساختمانی امری منطقی و نشان از کارایی مدل ارائه‌شده است. در سناریو اول تراکم کاربری ساختمانی بیشتر در وسط شهر است، این در حالی است که در سناریو دوم تراکم در وسط شهر کمتر است و رشد شهر به گوشه‌های نقشه به‌خصوص در جنوب غربی کشیده شده است. با نگاهی دقیق‌تر به شکل ۱۱ می‌توان دریافت که نقشه پیش‌بینی‌شده در سناریو اول کمی واقعی‌تر از سناریو دوم است (با توجه به بازه ۱۲ ساله در مقابل بازه شش ساله منطقی است)، چون در نقشه سناریو دوم برای مناطق دور از دسترس نیز کاربری ساختمانی در نظر گرفته است. این در حالی است که سناریو اول بیشتر کاربری ساختمانی جدید را در غرب تهران پیش‌بینی کرده است. در سناریو اول مقداری از کاربری زمین‌های کشاورزی در شمال شهر

برای به دست آوردن تأثیر اندازه پیکسل در دقت روش ارائه‌شده، روش پیشنهادی برای منطقه مورد مطالعه با داده‌های ۶۰ متری و ۹۰ متری با در نظر گرفتن فیلتر همسایگی ۳×۳ پیاده‌سازی شد، که نتایج آن در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۴: نتایج پیاده‌سازی روش برای اندازه‌های

پیکسل ۳۰، ۶۰ و ۹۰ متری

اندازه دقت کلی	ضریب کاپا	کاپای مکان پیکسل
۳۰ متری	۷۶/۳۵	۸۴/۲۶
۶۰ متری	۷۶/۰۸	۸۳/۷۷
۹۰ متری	۷۵/۸۶	۸۳/۲۳

با مقایسه دقت به دست آمده از داده‌های ۶۰ و ۹۰ متری با داده‌های ۳۰ متری می‌توان دریافت که با افزایش اندازه پیکسل دقت به دست آمده کاهش یافته است، اگرچه این کاهش چندان محسوس نیست.

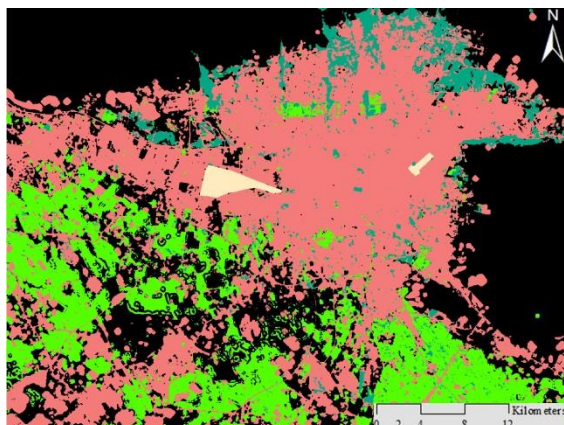
دقت به دست آمده از مدل‌سازی در این مقاله نشان‌دهنده انتخاب مناسب فاکتورهای تأثیرگذار در تغییرات کاربری اراضی است. بنابراین این پارامترها را می‌توان برای تحقیقات آینده نیز به کار برد. با توجه به تحقیقات قبلی [۲۶، ۵، ۲] دقت به دست آمده از مدل‌سازی قابل قبول است (جدول ۵). بنابراین این روش می‌تواند به عنوان یک روش جدید برای افزایش کارایی و توسعه رگرسیون منطقی در مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی به کار گرفته شود. در این مقاله تأثیر پارامتر همسایگی در چهار حالت بررسی شد و نتایج به دست آمده به وضوح بیان‌گر میزان اهمیت این پارامتر در تغییرات کاربری‌های مختلف به یکدیگر است.

در نهایت مدل ارائه‌شده برای پیش‌بینی نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۲۰ در دو سناریو به کار گرفته شد. در سناریو اول نقشه سال ۲۰۲۰ با استفاده از رفتار تغییرات بین سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۴ و تعیین نرخ

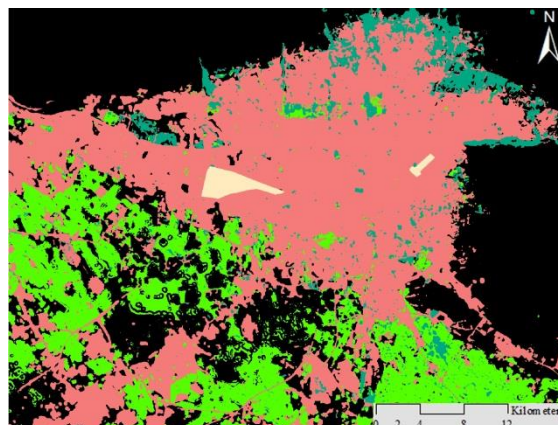
استفاده از زنجیره مارکوف، MOLA و فیلتر همسایگی ...
حسین عسکریان عمران، پرهام پهلوانی

افتاده است که این موضوع نیز بیانگر دقت بیشتر این سناریو در مقابل سناریو دوم است.

جای خود را به کاربری درختها و پارکها داده‌اند. این در حالی است که در سناریو دوم این اتفاق بسیار کمتر

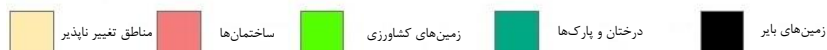


(ب)



(الف)

راهنمای نقشه



شکل ۱۱: نقشه پیش‌بینی شده برای سال ۲۰۲۰ در دو سناریو؛ (الف) با استفاده از رفتار بین سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۴، (ب) با استفاده از رفتار بین سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۴

روش MOLA برای حل مناقشه بر سر تخصیص کاربری از مفهوم کوتاه‌ترین فاصله تا نقطه ایده‌آل استفاده کرد. بنابراین می‌توان در تحقیقات آتی مناقشه‌های به‌وجودآمده در تخصیص کاربری را با استفاده از مفهوم بیشترین همسایگی نیز حل کرد.

هدف از مدل‌سازی انجام‌شده کمک به مدیران و کارشناسان امر مدیریت شهری است تا بتوانند دیدی نسبت به آینده شهر داشته باشند. درضمن آن‌ها می‌توانند با تغییر ابزار و انتخاب فاکتورهای دلخواه با طرح استراتژی‌های خاص نقشه کاربری اراضی را برای آینده پیش‌بینی کنند.

برای تحقیقات آینده می‌توان با استفاده از فاکتورهای جدیدتر مدل‌سازی را انجام داد. در این مقاله،

مراجع

- [1] F. Hosseinali, "Developing an Agent-Based Model with Spatial Optimization for LandUse Development in GIS", Ph.D Thesis, Department of Geospatial Information Systems, Faculty of Geodesy and Geomatics at K.N.T University of Technology, 2012.
- [2] S. Mohammady, M. R. Delavar, "Urban Expansion Modeling with Logistic Regression", JGST, Vol. 4., No. 2, pp. 77-86.
- [3] A. Estelaji, N. Hosseinzadeh, "Challenges of globalization in developing countries, with emphasis on Iran", Quarterly Geographical Journal of Territory (Sarzanin), Vol. 10, pp. 31-52, 2013.
- [4] B. C. Pijanowski, D. G. Brown, B. A. Shellito, and G. A. Manik, "Using neural networks and GIS to forecast land use changes: a land transformation model", Computers, environment and urban systems, Vol. 26, pp. 553-575, 2002.

- [5] A. Tayyebi, M. R. Delavar, M. J. Yazdanpanah, B. C. Pijanowski, S. Saeedi, and A. H. Tayyebi, "A spatial logistic regression model for simulating land use patterns: a case study of the Shiraz Metropolitan area of Iran," in *Advances in earth observation of global change*, ed: Springer, pp. 27-42, 2010.
- [6] X. Li and A. G.-O. Yeh, "Neural-network-based cellular automata for simulating multiple land use changes using GIS", *International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 16, pp. 323-343, 2002.
- [7] M. Batty and Y. Xie, "From cells to cities", *Environment and planning B*, Vol. 21, pp. 31-48, 1994.
- [8] R. Zarei, A. A. Alesheikh, "Urban growth modeling with cellular automata and genetic algorithm", *Research and Urban Planning*, No. 11, pp. 1-16, 2012.
- [9] X. Yang, X.Q. Zheng, and L.N. Lv, "A spatiotemporal model of land use change based on ant colony optimization, Markov chain and cellular automata", *Ecological Modelling*, Vol. 233, pp. 11-19, 2012.
- [10] S. Dezhkam, B. J. Amiri, A. A. Darvishsefat, and Y. Sakieh, "Simulating the urban growth dimensions and scenario prediction through sleuth model: a case study of Rasht County, Guilan, Iran", *GeoJournal*, Vol. 79, pp. 591-604, 2014.
- [11] G. Chaudhuri and K. C. Clarke, "Temporal accuracy in urban growth forecasting: A study using the SLEUTH model", *Transactions in GIS*, Vol. 18, pp. 302-320, 2014.
- [12] D. G. Kleinbaum and M. Klein, *Logistic regression: a self-learning text*: Springer Science & Business Media, 2010.
- [13] A. Tayyebi, P. C. Perry, and A. H. Tayyebi, "Predicting the expansion of an urban boundary using spatial logistic regression and hybrid raster-vector routines with remote sensing and GIS", *International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 28, pp. 639-659, 2014.
- [14] A. Mondal, D. Khare, S. Kundu, and P. K. Mishra, "Detection of land use change and future prediction with Markov chain model in a part of Narmada River Basin, Madhya Pradesh", in *Landscape Ecology and Water Management*, ed: Springer, 2014, pp. 3-14.
- [15] J. J. Arsanjani, M. Helbich, and E. de Noronha Vaz, "Spatiotemporal simulation of urban growth patterns using agent-based modeling: the case of Tehran", *Cities*, Vol. 32, pp. 33-42, 2013.
- [16] M. R. Muller and J. Middleton, "A Markov model of land-use change dynamics in the Niagara Region, Ontario, Canada", *Landscape Ecology*, Vol. 9, pp. 151-157, 1994.
- [17] J. R. Eastman, H. Jiang, and J. Toledano, "Multi-criteria and multi-objective decision making for land allocation using GIS", in *Multicriteria analysis for land-use management*, ed: Springer, 1998, pp. 227-251.
- [18] S.-H. Wang, S.-L. Huang, and W. W. Budd, "Integrated ecosystem model for simulating land use allocation", *Ecological Modelling*, Vol. 227, pp. 46-55, 2012.
- [19] H. Wu, L. Zhou, X. Chi, Y. Li, and Y. Sun, "Quantifying and analyzing neighborhood configuration characteristics to cellular automata for land use simulation considering data source error," *Earth Science Informatics*, Vol. 5, pp. 77-86, 2012.
- [20] J. Jokar Arsanjani, "Dynamic Land-Use/Cover Change Simulation: Geosimulation and Multi Agent-Based Modelling," ed: Springer Theses, Springer Verlag, 2012.
- [21] R. G. Pontius, "Quantification error versus location error in comparison of categorical maps", *Photogrammetric engineering and remote sensing*, Vol. 66, pp. 1011-1016, 2000.
- [22] A. A. Alsharif and B. Pradhan, "Urban sprawl analysis of Tripoli Metropolitan city (Libya) using remote sensing data and

- multivariate logistic regression model", *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, Vol. 42, pp. 149-163, 2014.
- [23] R. G. Pontius and L. C. Schneider, "Land-cover change model validation by an ROC method for the Ipswich watershed, Massachusetts, USA", *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Vol. 85, pp. 239-248, 2001.
- [24] Statistical Centre of Iran: "www.amar.org.ir," 2010.
- [25] L. Qiuying, F. Chuanglin, L. Guangdong, and R. Zhoupeng, "Quantitative Measurement of Urban Expansion and its Driving Factors in Qingdao: an Empirical Analysis Based on County Unit Data," *Journal of Resources and Ecology*, Vol. 6, pp. 172-179, 2015.
- [26] B. Pijanowski, A. Tayyebi, M. Delavar, and M. Yazdanpanah, "Urban expansion simulation using geospatial information system and artificial neural networks", *International Journal of Environmental Research*, Vol. 3, No. 4, pp. 493-502, 2010.

..



Using of Markov Chain, MOLA, and Neighborhood filter for developing and increasing the efficiency of Logistic Regression to predict multiple land-use changes, a case study: Tehran

Hosein Askarian Omran¹, Parham Pahlavani^{2*}

- 1- MSc. Student, School of Surveying and Geospatial Eng., College of Eng., University of Tehran, Tehran, Iran
2- Assistant professor, School of Surveying and Geospatial Eng., College of Eng., University of Tehran, Tehran, Iran

Abstract

To reach a more accurate prediction of future of a city, modeling must be done for all land-uses of the town. Logistic regression only can model a bivariate urban growth, i.e., urban and non-urban. Also, this method cannot consider the neighborhood effects in the allocation process. Due to this issue, the aim of this paper is to provide a method for modeling multiple land-use changes and applying the neighborhood parameter in allocation process, and thereby increasing the accuracy of modeling. So, in this article, we predicted the land-use map of the year 2014, using the land-use maps of the years 2002 and 2008 by considering the effects of the neighborhood parameter and by comparing the predicted land-use map of the year 2014 with the reference map of 2014, the accuracy of the model was obtained. Reference land-use maps were obtained using classification of Landsat images of 2002, 2008, and 2014 using the Support Vector Machine (SVM) method. In the proposed method, the first modeling was performed separately using the Logistic Regression method for each land-use. Then the results of the Logistic Regression as a Competency Map for allocation process were combined with the Markov Chain and a combined method of MOLA-Neighborhood to obtain the land-use map of 2014. The procedure was performed in 4 different scenarios. In three of them, the neighborhood effects was considered as 3×3 , 5×5 , and 7×7 kernel and in the last one, modeling was performed without considering neighborhood effects. The accuracy of 4 scenarios was compared using the reference map of 2014. In the best scenario the accuracy of method was obtained using overall accuracy, kappa index and location about 84.26 % and 76.35 %, and 79.3 %. Finally, the accuracy of each land-use category was evaluated separately using the ROC, which indicates the capability of the proposed approach of this paper. Finally, the land-use map of the year 2020 was predicted in two different scenarios.

Key words: Multiple Land use Changes, Neighborhood, Logistic Regression, Markov Chain, MOLA.