



ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی اراک و روستاهای پیرامون

پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۱۱/۱۸

دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۹/۲۸

صفحات: ۱-۲۲

سها توکلی؛ دانشجوی دکتری، گروه جغرافیای انسانی و آمایش، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
بیژن رحمانی؛ دانشیار، گروه جغرافیا انسانی و آمایش، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
علی اکبر عنابستانی؛ استاد، گروه جغرافیا انسانی و آمایش، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

چکیده

روش‌های مختلفی برای ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی وجود دارد که یکی از کارآمدترین این روش‌ها اتوماتای سلولی است. در اتوماتای سلولی حالت یک سلول در هر زمان بستگی به حالت خاص خود و حالت‌های همسایگان خود در گام زمانی قبلی دارد. با توجه به ماهیت فضایی این مدل، در پژوهش حاضر تغییرات کاربری اراضی و روندهای توسعه فضایی شهر اراک و روستاهای پیراشهری با استفاده از مدل مذکور و پردازش تصاویر ماهواره‌ای ارزیابی و پیش‌بینی شد. از زنجیره مارکوف برای ایجاد قوانین گذار استفاده گردید. در این راستا کاربری اراضی در سه دوره زمانی ۱۹۹۰، ۲۰۰۶ و ۲۰۲۳ میلادی با استفاده از طبقه‌بندی به روش ماشین‌های بردار پشتیبان تهیه شده و میزان تغییرات هر کاربری محاسبه گردید. سپس، تغییرات کاربری و گسترش فضایی شهر اراک و روستاهای پیرامون با استفاده از مدل اتوماتای سلولی برای افق ۲۰۴۰ میلادی پیش‌بینی شد. نتایج بیان‌گر دینامیک بالای تغییرات کاربری در سطح منطقه است. این امر ناشی از توسعه فضایی زیاد شهر اراک بوده که تأثیرات عمیقی بر منطقه پیراشهری داشته است. محاسبات نشان داد که در طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۶ میلادی مساحت کاربری ساخته‌شده با افزایشی در حدود ۴۱۰۴/۳ هکتار به رقم ۸۳۹۱/۸ هکتار رسیده است. در طی دوره زمانی ۲۰۰۶ تا ۲۰۲۳ میلادی بالغ بر ۳۵۱۶/۷ هکتار به مساحت کاربری مذکور افزوده شده است. در این رابطه درصد زیادی از اراضی کشاورزی منطقه به کاربری ساخته‌شده تغییر یافته‌اند. نتایج مدل اتوماتای سلولی نشان داد که تا ۲۰۴۰ میلادی، بیشترین میزان دینامیک فضایی بین کاربری‌های ساخته‌شده-کشاورزی خواهد بود. پیش‌بینی می‌شود که تا ۲۰۴۰ میلادی بالغ بر ۲۵۷۱ هکتار از اراضی کشاورزی منطقه به کاربری ساخته‌شده تبدیل شوند. در این رابطه، ساخت‌وسازهای زیادی در محور اراک-قیم و محور اراک-سازند صورت خواهد گرفت. در منطقه پیراشهر شمال اراک توسعه کاربری ساخته‌شده به صورت توسعه فضایی روستاها و گسترش ویلاها خواهد بود.

واژه‌های

کلیدی:

کاربری اراضی،
روستاهای
پیراشهری،
اراک.

E- Mail: b-rahmani@sbu.ac.ir

نحوه ارجاع به مقاله:

توکلی، سها، رحمانی، بیژن، عنابستانی، علی‌اکبر. ۱۴۰۳. ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی

اراک و روستاهای پیرامون. مجله توسعه فضاهای پیراشهری. ۶(۱۲): ۱-۲۲.



در قرن بیست و یکم، بیش از نیمی از جمعیت جهان در شهرها زندگی می‌کنند که باعث شده دو بحران عمده و به‌هم‌پیوسته «جمعیتی» و «زیست‌محیطی» رخ دهد. در نتیجه، اراضی ارزشمند خارج از شهر را ساختمان‌ها و متعلقات مربوط به آن‌ها بلعیده‌اند (یاراحمدی، ۱۳۷۸: ۹). با وجود آگاهی از اثرات نامطلوب ناشی از توسعه‌های کالبدی شهر بر محیط طبیعی، این واقعیت را نیز باید قبول کرد که پدیده توسعه شهری امری اجتناب‌ناپذیر است. اگرچه رشد درون‌شهری می‌تواند بخشی از این نیاز را مرتفع نماید، ولی توسعه غالباً در حومه شهرها اتفاق می‌افتد، جایی که توسعه کاربری‌های غیرمنطقی زمین باعث از بین رفتن منابع طبیعی مرغوب و تخریب اکوسیستم‌های حساس می‌گردد. برای کنترل و هدایت چنین توسعه‌هایی مشخص نمودن ابعاد توسعه مطلوب، مکان‌گزینی صحیح زمین و اعمال سیاست‌های حفاظت در راستای اهداف اجتماعی و اقتصادی نیاز به برنامه‌ریزی‌های دقیق و علمی دارد (رسولی، ۱۳۹۱: ۱۲۷). بنابراین، توسعه نامنظم شهری اثرات مخربی بر شهرها و محیط اطراف آن‌ها می‌گذارد، که از جمله می‌توان به ناهمگونی چشم‌اندازهای طبیعی و تخریب زمین‌های کشاورزی اشاره کرد. علی‌رغم اینکه یافته‌های علمی اثبات کرده‌اند که این الگو برای توسعه شهری مؤثر نیست اما همچنان الگوی غالب توسعه شهری است (باتیسانی و یارنال، ۲۰۰۹). در مجموع، باید اذعان داشت که آنچه امروزه به‌عنوان جنبه‌های منفی شهر و توسعه شهری مورد انتقاد است، عمدتاً نه ماهیت شهر، بلکه روند ناموزون و برون‌زای شهری است که غالباً نتیجه پیشی گرفتن رشد و توسعه فیزیکی شهرها بر توسعه زیرساخت‌ها و خدمات مورد نیاز، یا تقدم مقیاس بر عملکرد و برتری کمیت بر کیفیت است. (پورمحمدی و جام کسری، ۱۳۹۰: ۳۱-۵۴). در زمان ما توسعه فیزیکی ناموزون شهرها، یکی از مسائل مهم را در کاربری زمین پدید آورده است. این توسعه در واقع ادامه گسترش شهر در اطراف آن است؛ زیرا در اطراف شهرهای بزرگ، مناطقی وجود دارند که همواره، دوره انتقال از بهره‌برداری‌های روستایی به شهری را می‌گذرانند (شکویی، ۱۳۸۲: ۲۱۳). بدین ترتیب، صیانت از فضاها و سکونتگاه‌های روستایی و جلوگیری از تبدیل آن‌ها به فضاها، مسکونی، ویلاها، جاده‌ها، تأسیسات صنعتی و... در کنار حفظ توان اکولوژیکی و تولیدی آن‌ها و همچنین مدیریت پایدار اراضی زراعی و باغی روزبه‌روز دشوارتر می‌شود و تغییر کاربری آن‌ها علی‌رغم احتیاج شهرها و روستاها به فضاها، سبز، به‌ویژه در اطراف کلان‌شهرها، به‌صورت انفجاری و مستمر در حال وقوع است. با صنعتی شدن و شهرنشینی، اقتصاد جهانی به سرعت در حال توسعه است، اما مناطق روستایی در حال کاهش هستند. این مسئله در بسیاری از کشورها مورد توجه جدی قرار گرفته است (لیو و لی، ۲۰۱۷؛ جایی^۳ و همکاران، ۲۰۲۱). در فرآیند تحول شهری-روستایی، کشاورزان به شدت خواستار بهبود شرایط زندگی خود هستند. اشغال زمین‌های کشاورزی ناشی از ساخت‌وسازهای مسکونی جدید افزایش شدیدی داشته که منجر به تخلیه گسترده زمین‌های مسکونی روستایی شده است (تان و لی، ۲۰۱۳).

^۱Batisani and Yarnal^۲Liu & Li^۳Jia^۴Tan & Li

علاوه بر این، مهاجرت روستاییان به شهر، تخلیه روستایی را تشدید کرده است (گی و همکاران، ۲۰۱۹؛ هو و همکاران، ۲۰۱۶). تحولات فضایی روستاهای پیرامونی سبب شده است که کشاورزی سنتی از یک جامعه بومی-روستایی به یک جامعه شهری-روستایی تبدیل گردد (لیو و وانگ، ۲۰۱۸). پشت این تحولات فضایی، تحول روابط انسانی-زمین، روابط صنعتی-کشاورزی، و روابط شهری-روستایی باعث سازمان‌دهی مجدد ساختارهای اجتماعی، اقتصادی و فضایی روستایی شده است (وانگ و همکاران، ۲۰۱۵)، به گونه‌ای که در سطح خرد، بسیاری از شهرستان‌ها به تدریج تفکیک شده‌اند و تفاوت‌های فضایی قابل توجهی را نشان می‌دهند (گو و همکاران، ۲۰۱۹). در این فرآیند، تحولات فضایی روستاهای پیرامونی نیز تغییر کرده است.

با توجه به موارد فوق، هدف پژوهش حاضر ارزیابی تغییرات کاربری در منطقه پیراشهری اراک و شبیه‌سازی این تغییرات برای افق ۲۰۴۰ میلادی است. در دهه‌های اخیر توسعه فضایی-کالبدی شهر اراک تحولات عمیقی بر کاربری اراضی منطقه پیراشهری و روستاهای پیرامون داشته است. از جمله مهم‌ترین تحولات مذکور می‌توان به تخریب گسترده اراضی کشاورزی، رشد فضایی روستاها، ادغام برخی از روستاها در داخل ساختار شهری اراک، توسعه فزاینده ویلاها در اراضی کشاورزی روستاهای پیرامون اراک و تغییر برخی کارکردهای روستاها اشاره نمود. در دهه‌های اخیر چندین تکنیک مدل‌سازی برای درک بهتر و پیش‌بینی رشد شهری-روستایی توسعه یافته. براساس تئوری سیستم باز، یک شهر می‌تواند به‌عنوان یک سیستم خودسازمانده پیچیده و باز در نظر گرفته شود که به دور از تعادل است و مبادله‌ای مستمر از کالا و انرژی با سایر شهرها و حوزه نفوذ شهر در جریان است. از این رو، توسعه شهری یک فرایند فضایی دینامیک است که برخی از ویژگی‌های اساسی یک سیستم خودسازمانده را نمایش می‌دهد. همانند انتشار یک بیماری یا آتش، مرز یک ناحیه شهری به طور مداوم به سمت اراضی روستایی مجاور گسترش می‌یابد. فرم سابق شهر بر روی شکل کنونی شهر تأثیر می‌گذارد، و آن، به نوبه خود، الگوهای آتی شهری را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این امر نشان می‌دهد که اتخاذ رویکردی در چارچوب پارادایم خودسازمانده برای بررسی رفتار محلی سیستم در مدل‌سازی توسعه شهری واقع‌بینانه‌تر است، همین امر، منجر به ظهور دسته جدیدی از مدل‌های شبیه‌سازی شد که یکی از متداول‌ترین این مدل‌ها، شبیه‌سازی جغرافیایی مبتنی بر اتوماتا یا ماشین‌های خودکار می‌باشد (لیو، ۲۰۰۹). در پژوهش حاضر نیز شبیه‌سازی توسعه فضایی-کالبدی شهر اراک و روستاهای پیرامون با استفاده از مدل اتوماتای سلولی-زنجیره مارکوف صورت گرفت.

ارزیابی تغییرات کاربری اراضی شهرها و روستاها جزو موضوعات مورد توجه در برنامه‌ریزی شهری و روستایی بوده است؛ به‌عنوان مثال: وو و همکاران (۲۰۰۶)، تغییرات کاربری اراضی در پکن را با استفاده از زنجیره

^۱Ge^۲Hu^۳Liu & Wang^۴Wang^۵Gu^۶Liu^۷Wu

مارکوف و تحلیل‌های رگرسیون و با بکارگیری تصاویر لندست بررسی کرده و تغییرات کاربری اراضی را برای ۲۰ سال آینده مدل‌سازی کردند. گوان^۱ و همکاران (۲۰۱۱)، با ترکیب مدل ماشین‌های خودکار سلولی و زنجیره مارکوف تغییرات زمانی و توزیع فضایی کاربری‌های اراضی را با تکیه بر فاکتورهای طبیعی و اقتصادی-اجتماعی در ساگای ژاپن بررسی و پیش‌بینی کردند. جوکار ارسنجانلی و همکاران (۲۰۱۲)، با استفاده از تلفیق مدل‌های رگرسیون لجستیک، زنجیره مارکوف و ماشین‌های خودکار سلولی گسترش مادرشهر تهران را شبیه‌سازی نمودند. باگان و یاماگاتا^۲ (۲۰۱۲)، روند رشد فضایی-زمانی شهر توکیو را در طی ۴۰ سال گذشته با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای لندست مورد تجزیه و تحلیل قراردادند. جیانگ^۳ و همکاران (۲۰۱۳)، تأثیر گسترش شهرها بر نحوه کاربری اراضی کشاورزی در چین را مورد بررسی قرار دادند. ابوراس^۴ و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از مدل اتوماتای سلولی-زنجیره مارکوف و مدل فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) رشد شهر سرمان در مالزی را پیش‌بینی نمودند. ترس^۵ و همکاران (۲۰۲۳) به شبیه‌سازی رشد شهری (شهر سالم هندوستان) و تأثیرات زمانی-مکانی آن با استفاده از مدل اتوماتای سلولی-زنجیره مارکوف پرداختند. خوش‌گفتار و همکاران (۱۳۸۹)، تغییرات کاربری زمین در بخشی از شهر تهران را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای اِستر برای دوره زمانی ۲۰۰۹-۲۰۰۱ پیش کردند و سپس مدل تلفیقی ماشین‌های خودکار سلولی و زنجیره مارکوف را جهت پیش‌بینی رشد شهری تهران برای سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۲۰ اجرا کردند. بابایی اقدم و همکاران (۱۳۹۱)، میزان و نحوه تبدیل کاربری‌های اراضی و بایر موجود در منطقه شهری اردبیل به سطوح ساخته شده را بررسی کرده و سپس الگوی آتی این تغییرات را تا افق ۱۴۰۰ با استفاده از مدل CLUE-S مدل‌سازی کردند. بکائیان و همکاران (۱۳۹۹) روند تغییرات کاربری اراضی شهر تهران را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست پیش‌بینی نمودند. حسین‌آبادی و همکاران (۱۳۹۹) به ارزیابی و شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی شهر بیرجند و پیرامون آن با استفاده از طبقه‌بندی شی‌گرا و مدل زنجیره مارکوف پرداختند. خزایی و همکاران (۱۴۰۲) به بررسی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی کلانشهر تهران با استفاده از تکنولوژی سنجش‌ازدور پرداختند. با توجه به موارد مذکور در پژوهش حاضر روند تغییرات کاربری اراضی و رشد فضایی-کالبدی شهر اراک و روستاهای پیرامون با کاربست مدل ماشین‌های خودکار سلولی-زنجیره مارکوف ارزیابی و پیش‌بینی شد. در طی دهه‌های اخیر تغییرات کاربری اراضی گسترده‌ای در محدوده شهر اراک و روستاهای پیرامون اتفاق افتاده است. بخش عمده‌ای از این تغییرات مربوط به توسعه فضایی-کالبدی شهر اراک و روستاهای پیرامون بوده و در طی آن بخش‌های قابل توجهی از اراضی کشاورزی منطقه به کاربری ساخته شده تبدیل گردیده‌اند. با پیش و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و آگاهی از روند توسعه فضایی-کالبدی سکونتگاه‌های منطقه می‌توان نسبت به اتخاذ استراتژی‌های مناسب به منظور کنترل تغییرات کاربری اراضی و جلوگیری از تخریب اراضی کشاورزی اقدام نمود.

^۱Guan^۲Bagan and Yamagata^۳Jiang^۴Aburas^۵Theres

روش‌شناسی

داده‌های مورد استفاده

تصاویر ماهواره‌ای مهم‌ترین داده‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر به‌شمار می‌روند. در این رابطه از سه سری تصاویر ماهواره‌ای شامل تصاویر ماهواره‌ای سنتینل (سال ۲۰۲۳ میلادی)، تصاویر ماهواره‌ای استر (سال ۲۰۰۶ میلادی) و تصاویر ماهواره‌ای لندست (مربوط به سال ۱۹۹۰ میلادی) استفاده شد. تمامی تصاویر مورد استفاده مربوط به اوایل فصل تابستان بوده که زمان مناسبی برای تهیه نقشه‌های کاربری اراضی و ارزیابی تغییرات می‌باشد. تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث، مدل رقومی ارتفاع (DEM) منطقه با قدرت تفکیک فضایی ۱۲ متر مربوط به ماهواره ALOS-PALSAR و نقشه راه‌های کشور سایر داده‌های مهم تحقیق حاضر به‌شمار می‌روند. به‌منظور پردازش تصاویر ماهواره‌ای، ارزیابی تغییرات کاربری اراضی و مدل‌سازی دینامیک توسعه شهری و روستایی از نرم‌افزارهای تصاویر ماهواره‌ای، ArcGIS، ENVI و TerrSet استفاده شد. روش‌شناسی پژوهش حاضر را می‌توان به دو بخش ارزیابی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تکنیک‌های دورسنجی (RS) و شبیه‌سازی فضایی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل اتوماتای سلولی - زنجیره مارکوف تفکیک نمود. تغییرات کاربری اراضی و رشد فضایی - کالبدی شهرها و روستاها دارای ماهیت فضایی می‌باشد و به نحو مطلوبی می‌توانند با استفاده از مدل جغرافیایی (فضایی) اتوماتای سلولی شبیه‌سازی شوند.

ارزیابی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای

در پژوهش حاضر نقشه‌های کاربری اراضی منطقه مطالعاتی در سه دوره زمانی ۱۹۹۰، ۲۰۰۶ و ۲۰۲۳ میلادی با بهره‌گیری از پردازش تصاویر ماهواره‌ای حاصل گردید. به‌منظور طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای از الگوریتم ماشین‌های بردار پشتیبان (SVM) استفاده شد. در این طبقه‌بندی تفکیک کلاس‌ها براساس سطح تصمیم‌گیری است که نواحی حاشیه‌ای کلاس‌ها را به حداکثر می‌رساند (چانگ و لین، ۲۰۰۱). SVM در ساده‌ترین شکل خود یک طبقه‌بندی کننده باینری (دودویی) می‌باشد و می‌توان آن را با ترکیب چندین طبقه‌بندی کننده باینری (ایجاد یک طبقه‌بندی کننده باینری برای هر جفت کلاس) به یک طبقه‌بندی کننده چند کلاسی تبدیل کرد. همچنین با به‌کارگیری کرنل‌های غیرخطی، این نوع طبقه‌بندی را می‌توان به یک طبقه‌بندی کننده غیرخطی تبدیل نمود. این فرآیند، طبقه‌بندی داده‌های سنجش‌ازدوری را که معمولاً تفکیک‌پذیری کلاس‌ها در آن به‌صورت غیرخطی است، امکان‌پذیر می‌سازد (واپنیک، ۱۹۹۵). در این طبقه‌بندی، ریسک تجربی خطای طبقه‌بندی با حداکثرسازی بین نقاط داده و مرز تصمیم‌گیری، به حداقل می‌رسد (ماشاو، ۲۰۰۴). در پژوهش حاضر کاربری‌ها در هفت کلاس طبقه‌بندی شدند: کلاس ۱ شامل اراضی ساخته‌شده، کلاس ۲ شامل اراضی کشاورزی آبی، کلاس ۳ شامل اراضی کشاورزی دیم، کلاس ۴ شامل مراتع، کلاس ۵ شامل توده‌های آب، کلاس ۶ شامل کفه‌های رسی شور و کلاس

^۱Chang & Lin^۲Vapnik^۳Mashao

۷ شامل نمکزارها. با توجه به هدف پژوهش، کلاس اراضی ساخته شده و اراضی کشاورزی آبی از اهمیت بیشتری برخوردارند. بدیهی است که مراتع منطقه از تراکم پوشش گیاهی متفاوتی برخوردار بوده و همچنین دارای تغییرپذیری مکانی-زمانی زیادی می‌باشند. بدین ترتیب در راستای اهداف تحقیق و همچنین به منظور افزایش دقت طبقه‌بندی از تفکیک مراتع منطقه به پوشش‌های گیاهی مختلف اجتناب به عمل آمد.

شبیه‌سازی فضایی تغییرات کاربری اراضی با کاربرد مدل هیبرید اتوماتای سلولی- زنجیره مارکوف

برای شبیه‌سازی فضایی، پیش‌بینی تغییرات پوشش‌های زمین و دینامیک توسعه فضایی شهری و روستایی در منطقه مطالعاتی از مدل اتوماتای سلولی- زنجیره مارکوف استفاده شد. زنجیره مارکوف یک فرایند تصادفی گسسته است که طبق آن، توزیع احتمال برای یک سیستم در مرحله بعد و تمام مراحل آینده بر پایه وضعیت فعلی و وضعیت‌های گذشته سیستم تعیین می‌گردد (گوان و همکاران، ۲۰۰۸). بنابراین، مدل زنجیره مارکوف، تغییرات کاربری اراضی از یک دوره به دوره دیگر را تبیین خواهد کرد و آن را به‌عنوان مبنایی برای پیش‌بینی تغییرات آینده مورد استفاده قرار می‌دهد. این امر از طریق توسعه ماتریس احتمال گذار^۱ و ماتریس مساحت‌های گذار کاربری‌های اراضی از یک‌زمان به زمان دیگر انجام می‌شود که مبنایی برای پیش‌بینی برای یک دوره زمانی بعدی خواهد بود (استمن^۲، a، ۲۰۱۲). ماتریس احتمال گذار، بیان‌کننده احتمالی است که هر سلول کلاس خاص در دوره زمانی بعد مطابق وضعیت پیشین خود به سلول کلاس‌های دیگر تبدیل می‌شود (استمن، b، ۲۰۱۲). و براساس رابطه زیر می‌باشد (گوان و همکاران، ۲۰۱۱؛ دونگجی^۳ و همکاران، ۲۰۰۸):

$$P = (P_{ij}) = \begin{pmatrix} P_{11}P_{12} \cdots P_{1n} \\ P_{21}P_{22} \cdots P_{2n} \\ \cdots \\ P_{n1}P_{n2} \cdots P_{nn} \end{pmatrix} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در ماتریس فوق، P_{ij} احتمال تبدیل یا گذار کاربری اراضی نوع i ام به نوع j ام از اولین مرحله تا آخرین مرحله و n تعداد کاربری‌های اراضی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. از طرفی، P_{ij} باید دارای شرایط زیر باشد:

$$0 \leq P_{ij} \leq 1 (i, j = 1, 2, 3, \dots, n) \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$\sum_{i=1}^n P_{ij} = 1 (i, j = 1, 2, 3, \dots, n) \quad \text{رابطه (۳)}$$

و در نهایت، پیش‌بینی مدل مارکوف براساس رابطه زیر خواهد بود:

$$P_{(n)} = P_{(n-1)} P_{ij} \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در آن: $P_{(n)}$ احتمال حالت (وضعیت) در هر زمان و $P_{(n-1)}$ احتمال حالت اولیه می‌باشد.

ماتریس مساحت‌های گذار، نشان‌دهنده کل مساحتی است که انتظار می‌رود در دوره زمانی بعدی تغییر یابد (استمن، b، ۲۰۱۲) و مطابق با رابطه زیر می‌باشد (خین^۴ و همکاران، ۲۰۱۲):

^۱transition probability matrix

^۲transition areas matrix

^۳Eastman

^۴Dongjie

^۵Xin

$$A = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \cdots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \cdots & A_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ A_{n1} & A_{n2} & \cdots & A_{nn} \end{bmatrix} \quad \text{رابطه (۵)}$$

که در آن A ماتریس مساحت گذار؛ A_{ij} مجموع مساحت‌های حاصل از تبدیل حالت A به حالت j ام در طی سال آغازین تا سال هدف دوره‌های شبیه‌سازی و n تعداد کاربری‌های اراضی منطقه مورد مطالعه می‌باشد. یکی از مسائل ذاتی تحلیل مارکوف فقدان مفهوم جغرافیایی آن است. یعنی، هیچ مؤلفه فضایی در نتیجه مدل‌سازی وجود ندارد. بنابراین، ماشین‌های خودکار سلولی جهت افزودن مشخصه فضایی به مدل مورد استفاده قرار می‌گیرند (استمن، (a)، ۲۰۱۲). در واقع، مجاورت^۱ یکی از عناصر فضایی اساسی است که مسئول پویایی و دینامیک بسیاری از رخدادها را تغییر می‌دهد. نواحی، تمایل به تغییر به کلاسی دارند که نزدیک آن کلاس هستند (یعنی پدیده گسترش^۲). این امر می‌تواند به‌طور بسیار مؤثری با استفاده از ماشین‌های خودکار سلولی مدل‌سازی شود. یک ماشین خودکار سلولی به‌طور مستقل حالت یا وضعیت خود را براساس حالت قبلی و همسایگان بلافاصله خود مطابق با یک قانون خاص تغییر می‌دهد (استمن، (b)، ۲۰۱۲). به عبارت دیگر، حالت یک سلول در یک زمان مشخص بستگی به حالت خاص خود و حالت‌های همسایگان خود در گام زمانی قبلی دارد (لیو، ۲۰۰۹). تفاوت عمده بین این دو مدل این است که در زنجیره مارکوف، حالت آینده یک سیستم تنها وابسته به حالت قبلی خود است اما در ماشین‌های خودکار سلولی، حالت آینده سیستم علاوه بر حالت قبلی خود، وابسته به حالت‌های همسایگان خود نیز می‌باشد و همین ویژگی است که به مدل ماشین‌های خودکار سلولی مؤلفه فضایی یا جغرافیایی می‌بخشد. یک ماشین خودکار سلولی می‌تواند به‌صورت زیر به زبان ریاضی بیان شود (لیو، ۲۰۰۹):

اگر $S_{x_{ij}}^t$ حالت یک سلول x_{ij} در موقعیت j ام در زمان t باشد و $S_{x_{ij}}^t$ عضو یک تعداد متناهی از حالات سلول‌ها در فضای سلولی باشد و همچنین $S_{x_{ij}}^{t+1}$ حالت سلول در زمان $t+1$ باشد آنگاه،

$$S_{x_{ij}}^{t+1} = f \left(S_{x_{ij}}^t, S_{\Omega_{x_{ij}}}^t \right) \quad \text{رابطه (۶)}$$

که در آن: $\Omega_{x_{ij}}$: نشان‌دهنده یک مجموعه از سلول‌ها در همسایگی سلول x_{ij} ، $S_{\Omega_{x_{ij}}}^t$: نشان‌دهنده یک مجموعه از حالت‌های سلول‌های $\Omega_{x_{ij}}$ در زمان t ، و f : یک تابع نشان‌دهنده مجموعه‌ای از قوانین گذار می‌باشد. اگر خود سلول به‌عنوان یک عضوی از همسایگان خود در نظر گرفته شود، آنگاه رابطه (۳-۱۰) می‌تواند به‌صورت زیر نوشته شود:

$$S_{x_{ij}}^{t+1} = f \left(S_{\Omega_{x_{ij}}}^t \right) \quad \text{رابطه (۷)}$$

رابطه (۷) می‌تواند به شکل کلامی بیان شود: اگر چیزی در همسایگی یک سلول رخ دهد؛ آنگاه در گام زمانی بعدی، چیز دیگری برای سلول رخ خواهد داد. در شکل (۱) فلوچارت روش شناسی تحقیق ارائه شده است.

^۱proximity

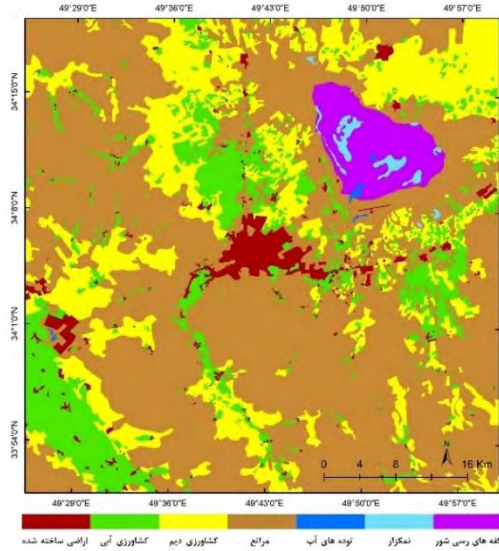
^۲expansion phenomenon

یافته‌های پژوهش

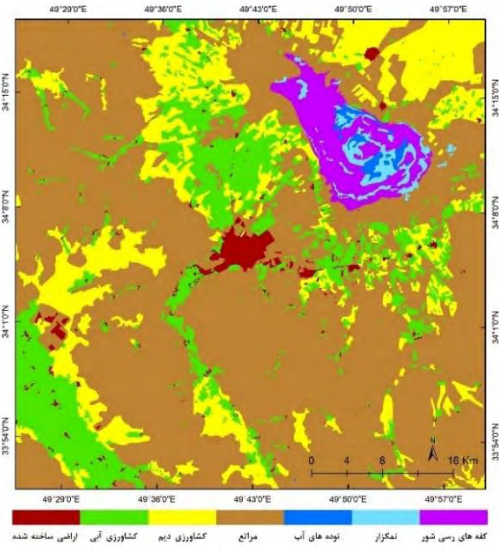
ارزیابی تغییرات کاربری‌های اراضی با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای

در این بخش از پژوهش تغییرات کاربری اراضی منطقه اراک در طی دوره‌های زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۶ میلادی و ۲۰۰۶ تا ۲۰۲۳ میلادی مورد ارزیابی قرار گرفته است. در شکل‌های (۳) تا (۸) کاربری اراضی و تغییرات آن‌ها در سطح منطقه مطالعاتی در طی سال‌های مذکور ارائه گردیده است. در جدول‌های (۱) تا (۵) نیز مساحت و تغییرات هر یک از کاربری‌ها آورده شده است. نتایج حاصله را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود:

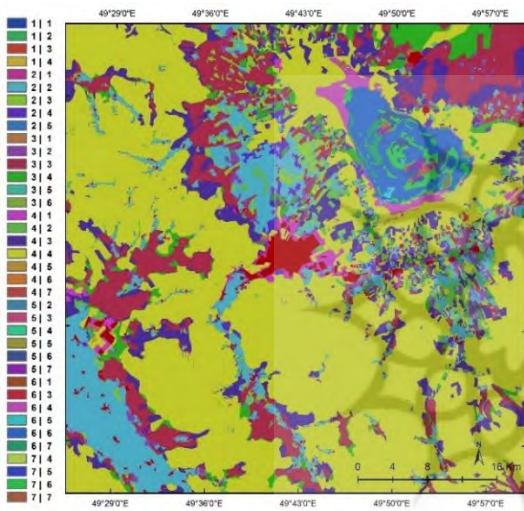
اراضی ساخته شده در محدوده مطالعاتی منطبق بر شهر اراک، شهرک‌های صنعتی و روستاهای پیرامون می‌باشند. در سطح منطقه، کاربری مذکور از دینامیک و پویایی بالایی برخوردار بوده است. با توجه به محاسبات صورت گرفته، مساحت کاربری مذکور در سال ۱۹۹۰ میلادی بالغ بر ۴۲۸۷/۴ هکتار بوده که حدود ۱/۵ درصد از سطح محدوده مطالعاتی را به خود اختصاص داده است. در طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۶ میلادی مساحت کاربری مذکور با افزایشی در حدود ۴۱۰۴/۳ هکتار به رقم ۸۳۹۱/۸ هکتار رسیده است. به بیان دیگر مساحت تحت اشغال کاربری ساخته شده حدود دو برابر شده است. در طی سال‌های مذکور علاوه بر بالا بودن نرخ زاد و ولد در سطح شهرستان، جمعیت مهاجر زیادی نیز در شهر اراک و روستاهای پیرامون سکنی گزیده‌اند. همچنین صنایع و کارخانجات زیادی در سطح شهرستان احداث شده که به نوبه خود باعث افزایش ساخت و ساز در منطقه گردیده است. در طی دوره زمانی دوم (از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۲۳ میلادی) بالغ بر ۳۵۱۶/۷ هکتار به مساحت کاربری مذکور افزوده شده است. در کل، مساحت کاربری ساخته شده از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳ میلادی حدود ۷۶۲۱ هکتار (۷۶/۲ کیلومتر مربع) افزایش یافته است. در طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۶ میلادی حدود ۹۳۹/۲ هکتار از اراضی کشاورزی آبی، حدود ۵۰۲/۸ هکتار از اراضی کشاورزی دیم و ۲۶۵۸/۱ هکتار از مراتع منطقه در معرض ساخت و ساز قرار گرفته و به کاربری‌های مسکونی، تجاری و غیره تبدیل شده‌اند. بیش از ۸۰ درصد این تغییرات مربوط به شهر اراک و روستاهای پیراشهری آن بوده است. تخریب اراضی کشاورزی آبی و دیم و تبدیل آن‌ها به کاربری‌های ساخته شده در طی سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۲۳ روند پرشتابی به خود گرفته است. در این رابطه بالغ بر ۱۱۱۰/۳ هکتار از اراضی کشاورزی آبی، ۱۸۸۵/۹ هکتار از اراضی کشاورزی دیم و ۱۸۸۵/۳ هکتار از مراتع منطقه در طی دوره زمانی مذکور تبدیل به کاربری ساخته شده گردیده‌اند. بدین ترتیب، در طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳ میلادی در مجموع حدود ۲۲۰۶ هکتار از اراضی مرغوب و حاصلخیز کشاورزی منطقه به واسطه توسعه شهر اراک و روستاهای منطقه تخریب شده و از حیز انتفاع خارج گردیده‌اند. در طی سال‌های اخیر پدیده تبدیل و تغییر کاربری اراضی کشاورزی به کاربری‌های مسکونی (به شکل ویلا و خانه باغ) در منطقه پیراشهری اراک به یکی از انواع غالب دینامیک تغییر کاربری اراضی تبدیل شده است. این امر مخصوصاً در قسمت‌های شمالی منطقه پیراشهری اراک نمود بارزتری یافته است. پدیده مذکور باعث گسیختگی و از بین رفتن یکپارچگی اراضی کشاورزی منطقه شده است.



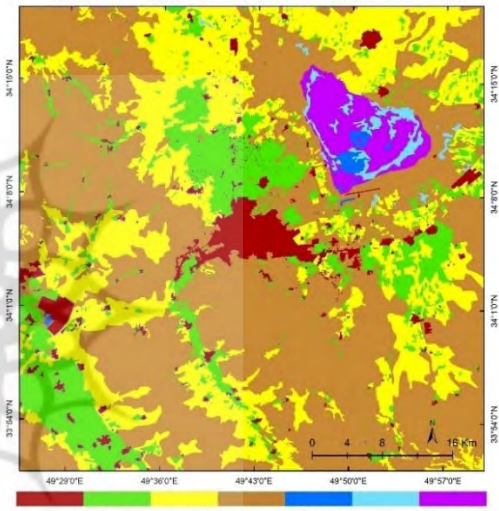
شکل ۴. کاربری منطقه در سال ۲۰۰۶



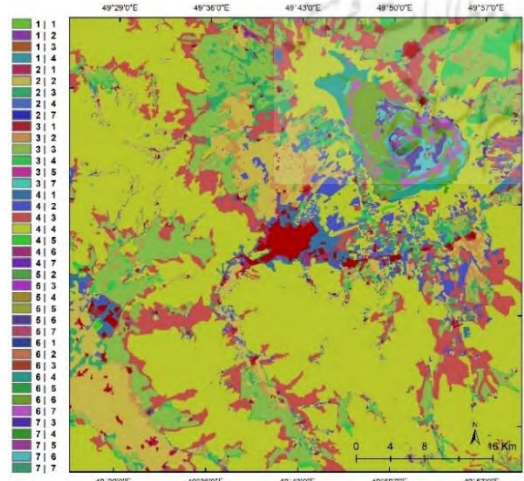
شکل ۳. کاربری منطقه در سال ۱۹۹۰



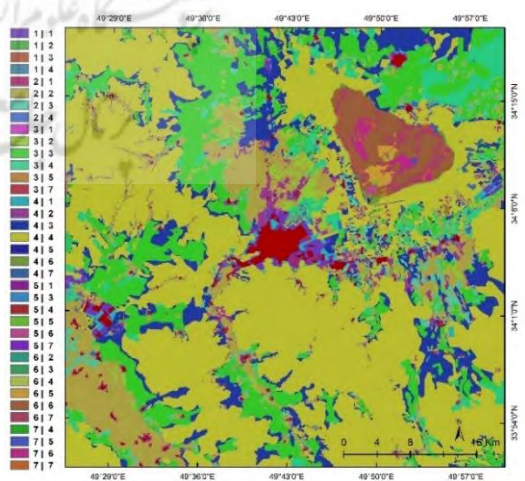
شکل ۶. تغییرات کاربری بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۶



شکل ۵. کاربری منطقه در سال ۲۰۲۳



شکل ۸. تغییرات کاربری بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳



شکل ۷. تغییرات کاربری بین سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۲۳

کاربری کشاورزی و تغییرات آن یکی دیگر از مسائل مهم، مخصوصاً در رابطه با روستاهای منطقه، می باشد. کشاورزی مهم ترین بخش فعالیت های اقتصادی روستاهای منطقه مورد مطالعه است. در این رابطه، اراضی کشاورزی و حتی مراتع (باهدف فعالیت هایی مانند دامداری و زنبورداری) اهمیت مضاعفی پیدا می کند. در سطح منطقه مطالعاتی در سال ۱۹۹۰ بالغ بر ۴/۲۷۶ هکتار از سطح زمین تحت پوشش اراضی کشاورزی آبی بوده است. مساحت کاربری مذکور تا سال ۲۰۰۶ با کاهشی در حدود ۴/۴۱۴۷ هکتار به رقم ۳۶۱۲۹ هکتار رسیده است. بخش عمده ای از این اراضی در نتیجه توسعه فضایی - کالبدی شهر اراک و روستاهای پیرامون به کاربری های مسکونی، تجاری و صنعتی تبدیل شده اند. در فاصله سال های ۲۰۰۶ تا ۲۰۲۳ میلادی مساحت کاربری مذکور به حدود ۶/۳۸۱۱۸ هکتار رسیده است. بدین ترتیب در سال ۲۰۲۳ نسبت به سال ۲۰۰۶ حدود ۷/۰ درصد بر سطح اراضی کشاورزی آبی منطقه افزوده شده است. این امر علی رغم تخریب قابل توجه این اراضی در پیرامون شهر اراک و روستاهای پیرامون در ارتباط با توسعه کشت و زرع در منطقه بوده است. افزایش اراضی سطح کشت باعث فشار فزاینده به منابع آبی منطقه گردیده که تبعات آن در حال نمایان شدن است. در حالت کلی در فاصله سال های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳ بالغ بر ۲۱۵۸ هکتار از اراضی کشاورزی منطقه در نتیجه توسعه ساخت و ساز تخریب شده است. اراضی مذکور جزو حاصلخیزترین خاک های شهرستان اراک در دشت اراک و دره قره کهریز می باشند. واقعیت این است زمین هایی که در طی دهه های اخیر به فعالیت های کشاورزی اختصاص یافته اند در سطوح شیب دار و پهنه های با درجه شوری بالا بوده و به شدت نسبت به نوسانات اقلیمی و دخالت های انسانی آسیب پذیرند. بدین ترتیب، میزان تخریب اراضی حاصلخیز کشاورزی منطقه به مراتب بیشتر از رقم فوق الذکر بوده است. در رابطه با تبدیلات بین کاربری کشاورزی آبی و سایر کاربری ها می توان به محاسباتی که در جدول های (۳)، (۴) و (۵) ارائه شده استناد نمود. در طی بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۶ حدود ۲/۹۳۹ هکتار از اراضی کشاورزی به کاربری ساخته شده، حدود ۲/۶۹۴۳ هکتار به اراضی دیم و حدود ۷/۵۷۶۷ هکتار به مراتع تبدیل شده است. تغییر اراضی کشاورزی آبی به کاربری دیم و مراتع را می توان به دلایل مختلف نظیر از بین رفتن منابع آبی، تغییر مالکیت و غیره نسبت داد. در طی همین سال ها، بالغ بر ۹/۴۶۵۱ هکتار از اراضی دیم و ۱/۴۸۴۷ هکتار از مراتع به اراضی کشاورزی آبی تبدیل شده اند. بخش قابل توجهی از این اراضی از توان کشاورزی پایینی برخوردار بوده و نسبت به مخاطرات محیطی و انسانی از آسیب پذیرتری بالایی برخوردارند. در طی دوره زمانی ۲۰۰۶ تا ۲۰۲۳ حدود ۳/۱۱۱۰ هکتار از اراضی کشاورزی آبی به کاربری ساخته شده، حدود ۴/۶۳۸۳ هکتار به کاربری دیم و ۴/۲۰۱۷ هکتار به مراتع تبدیل شده اند. در نقطه مقابل بالغ بر ۲/۶۵۵۵ هکتار از اراضی دیم و ۱/۴۹۳۹ هکتار از مراتع به کاربری کشاورزی آبی تبدیل شده اند. همان گونه که قبلاً بیان گردید در طی سال های اخیر تبدیل اراضی کشاورزی منطقه پیراشهری اراک به خانه باغ و ویلا یکی از مهم ترین روندهای تغییر کاربری در سطح منطقه بوده است. این روند به وضوح در نتایج پردازش تصاویر ماهواره ای منطقه نمود یافته است. این امر باعث گسیختگی اراضی کشاورزی شده که تداوم روند مذکور در آینده می تواند حجم قابل توجهی از اراضی کشاورزی منطقه را تحت تأثیرات مخرب خود قرار دهد.

کاربری دیم از نظر فعالیت های اقتصادی ساکنان روستاها حائز اهمیت است. در طی دوره های زمانی مطالعاتی مساحت کاربری مذکور در سطح منطقه مطالعاتی دارای روند افزایشی بوده است. در این رابطه، مساحت اراضی

دیم در سال ۱۹۹۰ میلادی حدود ۴۷۰/۴ کیلومتر مربع بوده که با افزایش ۴/۸ درصدی به حدود ۶۰۴ کیلومتر مربع در سال ۲۰۰۶ میلادی رسیده است. همچنین مساحت کاربری مذکور در سال ۲۰۲۳ میلادی حدود ۷۴۹/۶ کیلومتر مربع بوده که نسبت به سال ۲۰۰۶ حدود ۵/۲ و نسبت به سال ۱۹۹۰ حدود ۱۰ درصد افزایش یافته است. در این رابطه بیشترین تغییر کاربری به نفع اراضی دیم مربوط به کاربری مراتع بوده است. در طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۶ میلادی حدود ۲۲۱/۱ هکتار و در طی سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۲۳ میلادی حدود ۲۶۷/۵ هکتار از مراتع منطقه تبدیل به اراضی دیم شده‌اند. در این رابطه بخش‌های قابل توجهی از دامنه‌های میانی و حتی بالادست ارتفاعات منطقه در مقیاسی گسترده به اراضی کشاورزی دیم تبدیل شده‌اند. بدین ترتیب، مساحت کاربری مراتع در طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳ میلادی پیوسته دارای روند کاهشی بوده است. در این زمینه در طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۶ میلادی مساحت کاربری مذکور حدود ۳/۸ درصد و در طی سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۲۳ میلادی حدود ۷/۴ درصد کاهش یافته است. بدین ترتیب مساحت کاربری مراتع منطقه مطالعاتی در مجموع حدود ۱۱/۲ درصد کاهش پیدا کرده است.

کاربری توده‌های آب در ارتباط با چندین تالاب کوچک در مناطق کوهستانی منطقه (مخصوصاً در ارتفاعات سفیدخانی در جنوب منطقه) و آب‌های شور دریاچه میقان می‌باشد. دریاچه کویر میقان در قسمت‌های مرکزی چاله اراک واقع بوده و به‌عنوان سطح اساس رودخانه‌ها و زهکش‌های منطقه عمل می‌کند. میزان آب موجود در کویر میقان به شدت تابع شرایط اقلیمی بوده و دارای تغییرپذیری شدید ماهانه و سالانه می‌باشد. بدین ترتیب مساحت و میزان تغییرات کاربری مذکور تنها برای دوره زمانی مطالعاتی صادق است. این قضیه در مورد کاربری‌های نمکزارها و کفه‌های رسی شور نیز صادق است. دو کاربری مذکور منطبق بر قسمت‌های مرکزی چاله اراک بوده و با توجه به شرایط اقلیمی حاکم بر منطقه و دخالت‌های انسانی از تغییرپذیری بالایی برخوردار می‌باشد. کاربری‌های کشاورزی و ساخته شده توسط اراضی شور و کویری مذکور تحت تأثیر قرار گرفته‌اند که در سال‌های اخیر به دلیل وقوع خشکسالی‌ها و برداشت بی‌رویه از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی اثرات مخرب آن‌ها نمایان‌تر شده است.

جدول ۱. مساحت هر یک از کاربری‌های منطقه مورد مطالعه در طی سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۶ و ۲۰۲۳ میلادی

کاربری	مساحت (سال ۱۹۹۰)		مساحت (سال ۲۰۰۶)		مساحت (سال ۲۰۲۳)	
	هکتار	درصد	هکتار	درصد	هکتار	درصد
اراضی ساخته شده	۴۲۸۷/۴	۱/۵	۸۳۹۱/۸	۳/۰	۱۱۹۰۸/۵	۴/۲
اراضی کشاورزی آبی	۴۰۲۷۶/۴	۱۴/۳	۳۶۱۲۹/۰	۱۲/۹	۳۸۱۱۸/۶	۱۳/۶
اراضی کشاورزی دیم	۴۷۰۴۴/۰	۱۶/۷	۶۰۳۹۵/۵	۲۱/۵	۷۴۹۶۳/۰	۲۶/۷
مرتع	۱۷۴۶۲۹/۹	۶۲/۲	۱۶۳۹۷۴/۰	۵۸/۴	۱۴۳۲۶۹/۲	۵۱/۰
توده‌های آب	۱۳۲۶/۴	۰/۵	۲۸۲/۸	۰/۱	۱۱۹۹/۰	۰/۴
کفه‌های رسی شور	۱۰۰۵۴/۰	۳/۶	۱۰۱۷۰/۳	۳/۶	۸۴۰۷/۰	۳/۰
نمکزار	۳۲۸۱/۸	۱/۲	۱۵۵۷/۹	۰/۶	۳۰۳۵/۵	۱/۱

جدول ۲. تغییرات مساحت هر یک از کاربری‌های منطقه مطالعاتی در طی سه دوره زمانی ۱۹۹۰، ۲۰۰۶ و ۲۰۲۳

تغییر مساحت از ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳		تغییر مساحت از ۲۰۰۶ تا ۲۰۲۳		تغییر مساحت از ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۶		کاربری
درصد	هکتار	درصد	هکتار	درصد	هکتار	
۲/۷	۷۶۲۱/۰	۱/۳	۳۵۱۶/۷	۱/۵	۴۱۰۴/۳	اراضی ساخته شده
-۰/۸	-۲۱۵۷/۹	۰/۷	۱۹۸۹/۶	-۱/۵	-۴۱۴۷/۴	اراضی کشاورزی آبی
۹/۹	۲۷۹۱۹/۰	۵/۲	۱۴۵۶۷/۶	۴/۸	۱۳۳۵۱/۵	اراضی کشاورزی دیم
-۱۱/۲	-۳۱۳۶۰/۷	-۷/۴	-۲۰۷۰۴/۷	-۳/۸	-۱۰۶۵۶/۰	مراعات
-۰/۰۵	-۱۲۷/۳	۰/۳	۹۱۶/۲	-۰/۴	-۱۰۴۳/۵	توده‌های آب
-۰/۶	-۱۶۴۷/۰	-۰/۶	-۱۷۶۳/۳	۰/۰۴	۱۱۶/۳	کفه‌های رسی شور
-۰/۱	-۲۴۶/۳	۰/۵	۱۴۷۷/۶	-۰/۶	-۱۷۲۳/۹	نمکزار

جدول ۳. تغییرات کاربری اراضی (به هکتار) از سال ۱۹۹۰ (ستون‌ها) تا سال ۲۰۰۶ (سطرها)

کاربری	ساخته شده	کشاورزی آبی	کشاورزی دیم	مراعات	توده‌های آب	کفه‌های رسی شور	نمکزار	مجموع
ساخته شده	۴۲۷۹/۹	۹۳۹/۲	۵۰۲/۸	۲۶۵۸/۱	۰/۰	۱۲/۹	۰/۰	۸۳۹۲/۹
کشاورزی آبی	۱/۰	۲۶۶۲۷/۲	۴۶۵۱/۹	۴۸۴۷/۱	۰/۷	۰/۰	۰/۰	۳۶۱۲۷/۹
کشاورزی دیم	۰/۲	۶۹۴۳/۲	۳۱۳۳۴/۳	۲۲۱۰۸/۸	۱/۵	۷/۵	۰/۰	۶۰۳۹۵/۴
مراعات	۶/۳	۵۷۶۷/۰	۱۰۵۳۱/۷	۱۴۴۸۰۵/۲	۱۰/۷	۲۳۱۷/۳	۵۳۴/۴	۱۶۳۹۷۲/۶
توده‌های آب	۰/۰	۰/۱	۲۰/۲	۷۵/۴	۳/۹	۱۴۴/۰	۳۹/۶	۲۸۳/۱
کفه‌های رسی شور	۰/۰	۰/۰	۳/۵	۵۳/۰	۱۰۴۷/۸	۶۸۱۰/۱	۲۲۵۶/۰	۱۰۱۷۰/۴
نمکزار	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۸۱/۶	۲۶۱/۵	۷۶۲/۴	۴۵۲/۲	۱۵۵۷/۷
مجموع	۴۲۸۷/۴	۴۰۲۷۶/۷	۴۷۰۴۴/۴	۱۷۴۶۲۹/۲	۱۳۲۶/۱	۱۰۰۵۴/۲	۳۲۸۲/۱	۲۸۰۹۰۰/۰

کاپای کل: ۰/۸۱

جدول ۴. تغییرات کاربری اراضی (به هکتار) از سال ۲۰۰۶ (ستون‌ها) تا سال ۲۰۲۳ (سطرها)

کاربری	ساخته شده	کشاورزی آبی	کشاورزی دیم	مراعات	توده‌های آب	کفه‌های رسی شور	نمکزار	مجموع
ساخته شده	۸۳۷۶/۰	۱۱۱۰/۳	۵۳۳/۹	۱۸۸۵/۳	۳/۵	۰/۰	۰/۰	۱۱۹۰۸/۹
کشاورزی آبی	۵/۵	۲۶۶۱۶/۸	۶۵۵۵/۲	۴۹۳۹/۱	۰/۰	۰/۴	۰/۰	۳۸۱۱۷/۱
کشاورزی دیم	۴/۴	۶۳۸۳/۴	۴۱۷۹۸/۹	۲۶۷۴۹/۸	۵/۳	۱۹/۵	۰/۰	۷۴۹۶۱/۳
مراعات	۷/۱	۲۰۱۷/۴	۱۱۴۸۴/۴	۱۲۹۳۸۸/۳	۱۲/۷	۳۰۴/۷	۵۷/۱	۱۴۳۲۷۱/۵
توده‌های آب	۰/۰	۰/۰	۳/۹	۱۰۲/۶	۱۲۵/۵	۹۲۲/۱	۴۵/۴	۱۱۹۹/۳
کفه‌های رسی شور	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۳۶۱/۶	۱۳۵/۹	۶۸۴۴/۷	۱۰۶۴/۴	۸۴۰۶/۶
نمکزار	۰/۰	۰/۰	۱۹/۳	۵۴۵/۹	۰/۳	۲۰۷۹/۰	۳۹۰/۹	۳۰۳۵/۴
مجموع	۸۳۹۲/۹	۳۶۱۲۷/۹	۶۰۳۹۵/۴	۱۶۳۹۷۲/۶	۲۸۳/۱	۱۰۱۷۰/۴	۱۵۵۷/۷	۲۸۰۹۰۰/۰

کاپای کل: ۰/۸۹

جدول ۵. تغییرات کاربری اراضی (به هکتار) از سال ۱۹۹۰ (ستون‌ها) تا سال ۲۰۲۳ (سطرها)

کاربری	ساخته شده	کشاورزی آبی	کشاورزی دیم	مراغ	توده‌های آب	کفه‌های رسی شور	نمکزار	مجموع
ساخته شده	۴۲۷۷/۱	۲۲۰۶/۲	۱۰۰۴/۳	۴۴۰۸/۵	۰/۰	۱۲/۸	۰/۰	۱۱۹۰۸/۹
کشاورزی آبی	۱/۴	۲۵۷۶۹/۴	۵۷۱۳/۵	۶۶۳۱/۷	۰/۷	۰/۴	۰/۰	۳۸۱۱۷/۱
کشاورزی دیم	۷/۰	۸۵۱۴/۵	۳۳۶۴۷/۴	۳۲۷۶۵/۹	۴/۸	۲۱/۲	۰/۵	۷۴۹۶۱/۳
مراغ	۱/۹	۳۷۶۸/۳	۶۶۶۲/۱	۱۳۰۱۱۹/۷	۸/۴	۲۲۱۸/۶	۴۹۲/۶	۱۴۳۲۷۱/۵
توده‌های آب	۰/۰	۰/۰	۱۷/۰	۱۵۰/۲	۴۶/۹	۷۲۶/۴	۲۵۸/۹	۱۱۹۹/۳
کفه‌های رسی شور	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۱۰۲/۸	۱۰۵۳/۸	۵۲۶۵/۰	۱۹۸۵/۰	۸۴۰۶/۶
نمکزار	۰/۰	۱۸/۳	۰/۱	۴۵۰/۴	۲۱۱/۵	۱۸۰۹/۸	۵۴۵/۲	۳۰۳۵/۴
مجموع	۴۲۸۷/۴	۴۰۲۷۶/۷	۴۷۰۴۴/۴	۱۷۴۶۲۹/۲	۱۳۲۶/۱	۱۰۰۵۴/۲	۳۲۸۲/۱	۲۸۰۹۰۰/۰

کاپای کل: ۰/۸۸

پیش‌بینی دینامیک فضایی کاربری‌های اراضی با استفاده از مدل اتوماتای سلولی - زنجیره مارکوف

به منظور پیش‌بینی دینامیک فضایی کاربری‌های اراضی و روند گسترش فیزیکی شهر و روستاهای منطقه مطالعاتی ابتدا لازم است که ماتریس احتمال گذار و ماتریس مساحت‌های گذار انواع کاربری‌های اراضی با استفاده از زنجیره مارکوف محاسبه شود. در جدول (۶) ماتریس احتمال گذار و در جدول (۷) ماتریس مساحت‌های گذار منطقه مطالعاتی برای افق ۲۰۴۰ میلادی ارائه شده است.

در ماتریس احتمال گذار (جدول ۶) مقادیر قطر اصلی بیانگر احتمال عدم تغییر و یا به زبان اتوماتای سلولی، عدم تبدیل حالت سلول‌های کاربری موردنظر به سلول‌های سایر کاربری‌ها می‌باشد. در این رابطه، کلاس کاربری ساخته شده (کلاس ۱) با رقم ۰/۹۹۸ دارای بیشترین مقدار است. یعنی با احتمال نزدیک به ۱۰۰ درصد کاربری ساخته شده به سایر کاربری‌ها تبدیل نخواهد شد. در رابطه با کاربری کشاورزی آبی احتمال عدم تغییر ۰/۷۳۶۷ محاسبه شده است. بدین معنی که به احتمال ۷۴ درصد کاربری کشاورزی آبی به سایر کاربری‌ها تبدیل نخواهد شد. ذکر این نکته مهم است که مقادیر احتمال مذکور با استفاده از زنجیره مارکوف محاسبه شده که دارای بعد فضایی نبوده و مقادیر آن‌ها برای کل سلول‌ها می‌باشد. این در حالی است که مدل اتوماتای سلولی دارای بعد فضایی بوده و حالت‌های همسایه‌های سلول را نیز مدنظر قرار می‌دهد. در این تحقیق حالت هر سلول یکی از کاربری‌های هفت گانه است. بدین ترتیب در فرایند مدل‌سازی، مقادیر احتمال گذار هر سلول با توجه به حالت‌های سلول‌های مجاور تغییر خواهد یافت. بنابراین سلول‌های با کاربری کشاورزی که در مجاورت خود چندین سلول با کاربری ساخته شده داشته باشد دارای مقدار بالاتری از احتمال گذار به کاربری مذکور خواهند بود. این امر مخصوصاً در رابطه با حالت‌های سلول‌های مجاور شهرها و روستاهای منطقه حائز اهمیت بیشتری است. در رابطه با تبدیل کاربری‌ها به کاربری ساخته شده، کلاس کشاورزی آبی با مقدار ۰/۰۳۰۷ دارای بیشترین میزان احتمال تغییر به کاربری ساخته شده می‌باشد. البته رقم مذکور کلی بوده و با توجه به ماهیت اتوماتای سلولی پیکسل‌های کشاورزی در مجاورت پیکسل‌های اراضی ساخته شده از احتمال تغییر به مراتب بالاتری برخوردار خواهند بود. با توجه به روند تغییرات گذشته و همچنین توزیع فضایی کاربری کشاورزی آبی پرواضح است که مهم‌ترین دلیل بالا بودن احتمال تغییر کاربری کشاورزی به کاربری ساخته شده در ارتباط با مجاورت بخش‌های قابل توجهی از کاربری مذکور در

پیرامون شهر اراک و روستاهای پیرامون می‌باشد. با استفاده از ماتریس احتمالات گذار، تصاویر احتمال شرطی-مارکوفی تعلق به هر یک از کلاس‌های موردنظر حاصل می‌شود. برای هر کلاس، تصاویر احتمال شرطی، بیان-کننده احتمالی است که هر سلول در دوره زمانی بعدی به کلاس تعیین شده تعلق خواهد داشت (شکل‌های ۹ تا ۱۲). در واقع این احتمال، مشروط به حالت یا وضعیت کنونی آن‌ها می‌باشد (استمن، (b)، ۲۰۱۲).

با توجه به ماتریس مساحت‌های گذار (جدول ۷) پیش‌بینی می‌شود که تا افق ۲۰۴۰ میلادی بیشترین مساحت‌های گذار انواع کاربری‌ها به کاربری اراضی ساخته شده مربوط به گذار کلاس کشاورزی آبی (کلاس ۲) با تعداد ۲۵۷۱۰۰ سلول (۲۵۷۱ هکتار) باشد. بدین ترتیب، تا افق ۲۰۴۰ میلادی بیش از ۲۵۰۰ هکتار از اراضی کشاورزی مجاور شهر اراک و روستاهای پیرامون به کاربری ساخته شده شهری و روستایی تغییر خواهند یافت. همانند ماتریس احتمالات گذار، مقادیر قطر اصلی نشان‌دهنده مساحتی از هر کاربری می‌باشد که بدون تغییر باقی خواهند ماند. در این رابطه، مساحت گذار کلاس اراضی ساخته شده به سایر کلاس‌ها رقمی ناچیز به شمار می‌رود. بدین ترتیب می‌توان گفت که با تداوم روند گذشته، توسعه فضایی شهر اراک و روستاهای پیرامون در درجه اول به سمت اراضی کشاورزی آبی و سپس مراتع و اراضی دیم خواهد بود. دلیل اصلی مقادیر بالای مساحت گذار کلاس کشاورزی به ساخته شده مربوط به مجاورت بلافصل اراضی کشاورزی آبی با شهر و روستاهای منطقه می‌باشد.

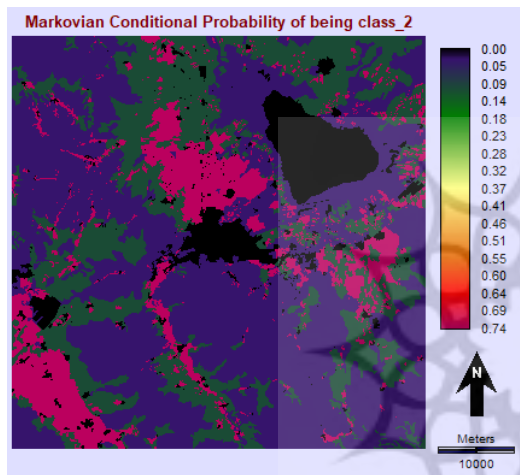
جدول ۶. ماتریس احتمال گذار محاسبه شده برای سال ۲۰۴۰

نمکنار	کفه‌های رسی شور	توده‌های آب	مراتع	کشاورزی دیم	کشاورزی آبی	ساخته شده	احتمال تغییر به:
							کاربری
۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۷	۰/۹۹۸۰	ساخته شده
۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۵۵۸	۰/۱۷۶۷	۰/۷۳۶۷	۰/۰۳۰۷	کشاورزی آبی
۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۱	۰/۱۹۰۲	۰/۶۹۲۱	۰/۱۰۸۵	۰/۰۰۸۸	کشاورزی دیم
۰/۰۰۳۳	۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۰۶	۰/۷۸۹۱	۰/۱۶۳۱	۰/۰۳۰۱	۰/۰۱۱۵	مراتع
۰/۰۰۱۱	۰/۴۷۹۹	۰/۴۴۳۱	۰/۰۴۴۷	۰/۰۱۸۷	۰/۰۰۰۰	۰/۰۱۲۴	توده‌های آب
۰/۲۰۴۴	۰/۶۷۳۰	۰/۰۹۰۷	۰/۰۳۰۰	۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	کفه‌های رسی
۰/۲۵۰۹	۰/۶۸۳۳	۰/۰۲۹۱	۰/۰۳۶۷	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	نمکنار

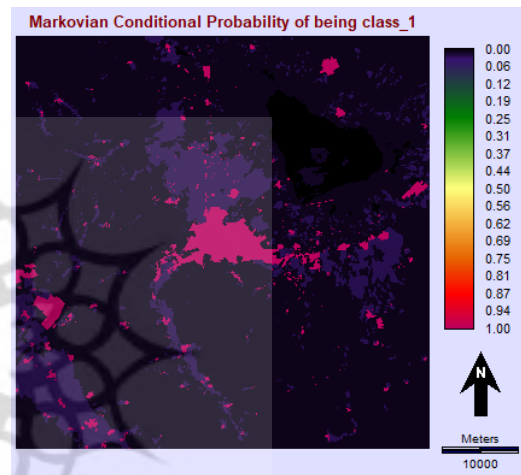
conditional probability images

جدول ۷. ماتریس مساحت‌های گذار محاسبه‌شده برای سال ۲۰۴۰

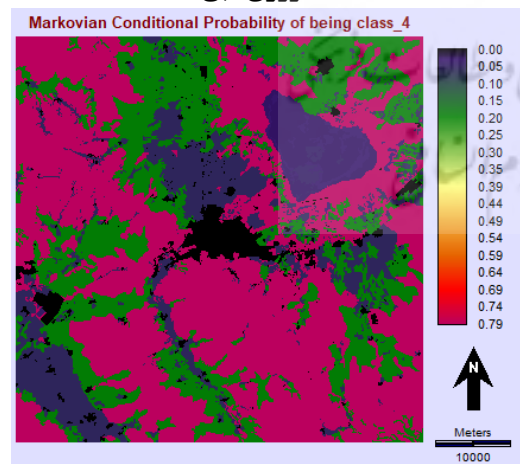
پیش‌بینی می‌شود گذر کند به:							سلول‌ها در:
نمکزار	کفه‌های رسی شور	توده‌های آب	مراغ	کشاورزی دیم	کشاورزی آبی	ساخته‌شده	کاربری
۰	۰	۰	۱۰۰۲	۶۱۷	۷۸۲	۱۱۹۸۵۰۰	ساخته‌شده
۰	۰	۰	۲۲۲۸۰۰	۶۹۳۵۰۰	۲۶۰۸۲۰۰	۲۵۷۱۰۰	کشاورزی آبی
۲۳۹۲	۰	۴۷۸	۱۴۲۵۴۱۰	۵۲۷۴۲۰۰	۷۳۳۶۰۰	۸۰۱۰۰	کشاورزی دیم
۴۷۶۹۹	۳۱۵۹۳	۸۹۶۶	۱۱۳۵۳۸۰۰	۲۴۶۷۴۰۰	۳۳۱۶۰۰	۸۶۲۰۰	مراغ
۱۶۰۰	۵۷۵۶۰	۵۳۱۴۶	۵۳۶۳	۲۲۴۵	۰	۰	توده‌های آب
۱۷۱۸۴۴	۵۶۵۷۶۵	۷۶۲۱۵	۲۵۱۸۶	۱۶۱۳	۳۵	۰	کفه‌های رسی شور
۷۶۱۶۳	۲۰۷۴۰۶	۸۸۳۹	۱۱۱۲۷	۰	۰	۰	نمکزار



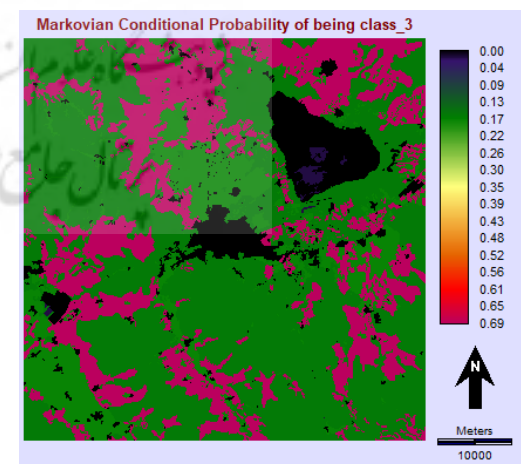
شکل ۱۰. احتمال شرطی مارکوفی تعلق به کلاس کشاورزی آبی



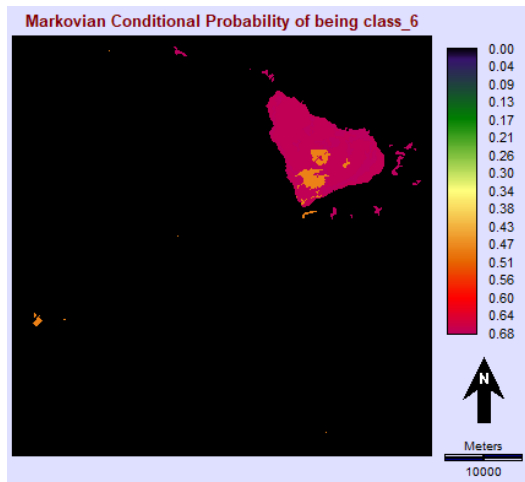
شکل ۹. احتمال شرطی مارکوفی تعلق به کلاس ساخته‌شده



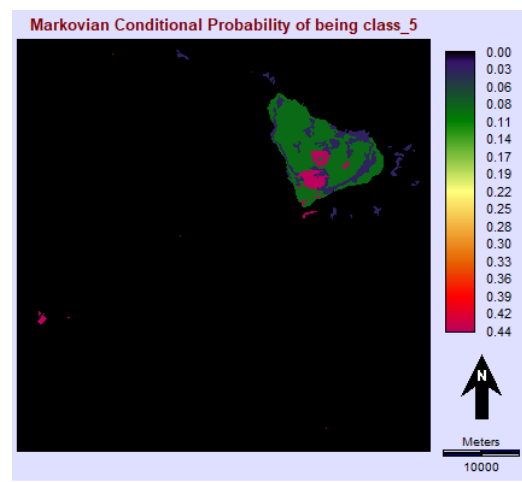
شکل ۱۲. احتمال شرطی مارکوفی تعلق به کلاس مراغ



شکل ۱۱. احتمال شرطی مارکوفی تعلق به کلاس دیم

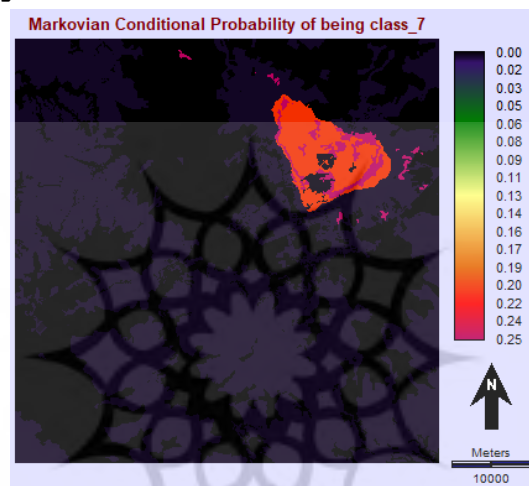


شکل ۱۴. احتمال شرطی مارکوفی تعلق به کلاس کفه‌های



شکل ۱۳. احتمال شرطی مارکوفی تعلق به کلاس آب

رسی



شکل ۱۵. احتمال شرطی مارکوفی تعلق به کلاس نمگزار

در پژوهش حاضر به منظور پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی تا افق ۲۰۴۰ میلادی برخی از قوانین گذار با استفاده از زنجیره مارکوف تعریف شد. قوانین گذار، چگونگی گذار (تبدیل) یک قطعه زمین از یک حالت به حالت دیگر را تعیین می‌کند. بدین ترتیب، نشان‌دهنده فرایند توسعه در سطح منطقه می‌باشند. قوانین گذار در اغلب موارد به صورت مجموعه‌ای از عبارات «اگر- آنگاه» بیان می‌شوند که می‌توانند الگوهای پیچیده‌ای از توسعه را ایجاد کنند. در پژوهش حاضر، قوانین دیگری نیز به صورت لایه‌های رستری جداگانه برای هر کلاس طرح‌ریزی گردید. قوانین برای هر کلاس به صورت متفاوت و در برخی موارد به صورت عکس هم اعمال شد. برای نمونه، در رابطه با شیب مشخص است که در شیب‌های تند امکان توسعه شهر وجود ندارد در حالی که برعکس، احتمال اینکه شیب‌های تند به صورت اراضی مرتعی باقی بمانند زیاد است. این قوانین با استفاده از ارزیابی چندمعیاره و توابع عضویت فازی ایجاد شد. تمامی لایه‌هایی که با اعمال این قوانین برای هر کلاس حاصل شد با هم تلفیق شده و تحت عنوان نقشه‌های تناسب^۱ وارد مدل گردید. به عنوان مثال، جهت تهیه نقشه تناسب کلاس اراضی ساخته شده، عوامل مؤثر بر توسعه

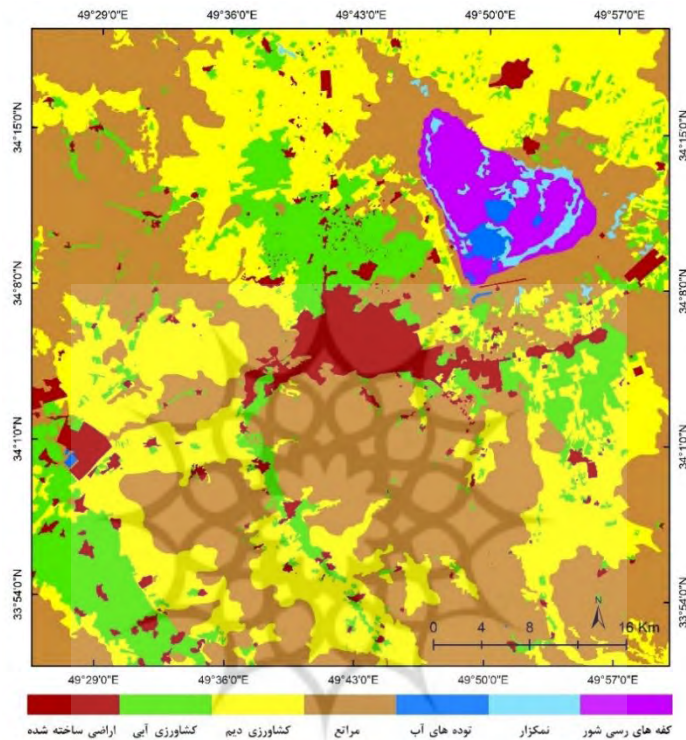
^۱Suitability maps

کاربری مذکور شامل لایه‌های احتمال شرطی مارکوفی تعلق به کلاس ۱، نوع کاربری اراضی فعلی، فاصله از کاربری ساخته‌شده، جاده‌های ارتباطی اصلی، شیب، محدودیت‌های مرتبط با توده‌های آب، شورزارها و کفه‌های رسی می‌باشند. در رابطه با قانون همسایگی، همسایگی فون‌نیومن به صورت یک فیلتر مجاورت ۵×۵ اعمال شد. پس از تهیه تمامی پارامترهای موردنیاز، مدل ترکیبی ماشین‌های خودکار سلولی- زنجیره مارکوف اجرا گردید و تغییرات کاربری اراضی برای سال ۲۰۴۰ میلادی حاصل شد (شکل ۱۵). برای اعتبارسنجی مدل از لایه پوشش زمین مربوط به سال ۲۰۰۶ استفاده شد. مقدار ضریب کاپا که نشان‌دهنده توان تبیین مدل است ۸۸ می‌باشد که نشان‌دهنده دقت مطلوب مدل است.

با توجه به نتایج حاصل از اجرای مدل اتوماتای سلولی- زنجیره مارکوف می‌توان گفت که تا سال ۲۰۴۰ میلادی، همانند دوره‌های گذشته، بیشترین میزان دینامیک فضایی بین کاربری‌های ساخته‌شده- کشاورزی آبی و اراضی دیم- مراتع خواهد بود. در این رابطه تغییر کاربری اراضی کشاورزی آبی به ساخته‌شده از اهمیت مضاعفی برخوردار است. پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۰۴۰ میلادی بالغ بر ۲۵۷۱ هکتار از اراضی کشاورزی آبی منطقه مطالعاتی به کاربری ساخته‌شده تبدیل شوند. امری که می‌تواند تبعات سنگینی مانند از بین رفتن بخش اشتغال کشاورزی و تهدیدات مرتبط با امنیت غذایی در پی داشته باشد. تا اقی ۲۰۴۰ میلادی مجموع مساحت کاربری ساخته‌شده در منطقه مطالعاتی حدود ۱۶۲۱۹ هکتار خواهد بود که نسبت به سال ۲۰۲۳ میلادی حدود ۴۳۱۱ هکتار افزایش خواهد یافت. بیشترین میزان افزایش مساحت کاربری ساخته‌شده در محدوده پیراشهری اراک و روستاهای مجاور آن خواهد بود. در این رابطه، ساخت‌وسازهای زیادی در محور شرقی شهر اراک (محور اراک-قم) صورت خواهد گرفت. در این راستا روستاهایی مانند احمدآباد و حاجی‌آباد جذب ساختار شهر اراک خواهند شد. محور دوم توسعه فضایی- کالبدی محور غربی (محور اراک- شازند) می‌باشد که ساخت‌وسازها در امتداد محور مذکور نیز قابل توجه خواهد بود. در منطقه پیراشهر شمالی شهر اراک توسعه کاربری ساخته‌شده به دو صورت خواهد بود. نخست اینکه برخی از روستاها با افزایش قابل توجه توسعه فضایی به کانون‌های شهری تبدیل خواهند شد که روستاهای گاوخانه و مرزیجران نمونه‌هایی بارزی از روستاهای مذکور به‌شمار می‌روند. در حال حاضر نیز دو روستای مذکور به کانون سرریز جمعیت اراک تبدیل شده‌اند. شکل دوم توسعه کاربری مذکور به صورت گسترش خانه‌باغ‌ها و ویلاها خواهد بود. پدیده مذکور در طی چند سال اخیر نیز به یکی از مهم‌ترین روندهای تغییر کاربری منطقه تبدیل شده است. این پدیده با از بین بردن و گسست یکپارچگی اراضی اثرات مخربی بر زمین‌های حاصلخیز کشاورزی منطقه داشته که تداوم روند فعلی می‌تواند کل بخش کشاورزی را در معرض تهدید قرار دهد. توسعه فضایی شهر اراک در قسمت‌های جنوبی به دلیل وجود ارتفاعات سفیدخانی و توپوگرافی نامساعد محدود خواهد بود.

با توجه به موارد مذکور می‌توان بیان داشت که بیشترین اثرات منفی جریانات فضایی بر تحولات سکونتگاه‌های روستایی پیراشهری اراک مربوط به بخش کشاورزی روستاها می‌باشد. در این رابطه تغییرات کاربری اراضی کشاورزی را می‌توان یکی از مهم‌ترین تهدیدات بخش کشاورزی روستاهای هدف محسوب داشت. در دهه‌های گذشته تغییر کاربری اراضی کشاورزی به اراضی ساخته‌شده بخش قابل توجهی از زمین‌های کشاورزی روستاها را تخریب نموده است. در این رابطه توسعه کالبدی- فضایی روستاها، ایجاد کارگاه‌ها، صنایع و تأسیسات شهری در

پیرامون روستاها و خرید و تبدیل اراضی به ویلاها و خانه‌باغ‌ها توسط اهالی غیربومی نقش مهمی بر عهده داشته‌اند. خرید زمین به منظور ویلاسازی و دلال‌بازی باعث سوداگری زمین شده و قیمت اراضی به شدت افزایش یافته است. امری که باعث تشویق کشاورزان به فروش زمین و تغییر شغل شده است. بدین ترتیب، با توسعه و نفوذ بیش از پیش ساختارهای شهری در روستاها عملاً سبک زندگی روستایی اکثر روستاهای پیراشهری دگرگون شده و به زندگی شهری شباهت بیشتری پیدا نموده‌اند. در حال حاضر نیز برخی از روستاها، مانند روستای مرزیجران، تبدیل به روستا-شهر شده‌اند. در این گونه روستا-شهرها ساختارهای شهری در ابعاد متعدد روستاها ترکیب یافته‌اند.



شکل ۱۶. پیش‌بینی کاربری اراضی منطقه مطالعاتی برای افق ۲۰۴۰ میلادی

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر تغییرات کاربری اراضی و روندهای توسعه فضایی شهر اراک و روستاهای پیرامون مورد ارزیابی قرار گرفته و برای افق ۲۰۴۰ میلادی شبیه‌سازی شد. به منظور ارزیابی تغییرات کاربری اراضی از تکنیک‌های مبتنی بر پردازش تصاویر ماهواره‌ای استفاده شد. پیش‌بینی تغییرات نیز مدلی ترکیبی اتوماتای سلولی-زنجیره مارکوف بود. نتایج تحقیق بیان‌گر این است که در سطح منطقه مطالعاتی، کاربری ساخته‌شده (شهر اراک و روستاهای پیرامون) از بیشترین میزان دینامیک برخوردار می‌باشد. مساحت کاربری مذکور پیوسته دارای روند افزایشی بوده است. در این رابطه، در طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳ میلادی، مساحت کاربری مذکور حدود ۷۶۲۱ هکتار افزایش یافته است. افزایش کاربری ساخته‌شده عمدتاً به زیان کاربری کشاورزی آبی بوده است. در طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳ میلادی در مجموع حدود ۲۲۰۶ هکتار از اراضی حاصلخیز کشاورزی منطقه به‌واسطه توسعه

شهر اراک و روستاهای منطقه تخریب شده و از بین رفته‌اند. بدین ترتیب، ارزیابی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای نشان داد که در طی دهه‌های اخیر تغییرات کاربری اراضی گسترده‌ای در محدوده شهر اراک و روستاهای پیراشهری اتفاق افتاده است. بخش عمده‌ای از این تغییرات مربوط به توسعه فضایی - کالبدی شهر اراک و روستاهای پیرامون بوده و در طی آن بخش‌های قابل توجهی از اراضی کشاورزی منطقه به کاربری ساخته شده تبدیل گردیده‌اند. در این رابطه، افزایش جمعیت شهر اراک و روستاهای پیرامون (به دلیل افزایش نرخ زادوولد و مهاجرپذیری) همراه با توسعه کارخانجات و صنایع منجر به توسعه کالبدی شهر و روستاها و تبدیل اراضی کشاورزی به مسکن و تأسیسات و زیرساخت‌ها شده است. پیش‌بینی تغییرات با کاربست مدل اتوماتای سلولی - زنجیره مارکوف نیز نشان می‌دهد که تا سال ۲۰۴۰ میلادی بالغ بر ۲۵۷۱ هکتار از اراضی کشاورزی آبی منطقه به کاربری ساخته شده تبدیل خواهند شد. بیشترین میزان افزایش مساحت کاربری ساخته شده در محدوده پیراشهری اراک و روستاهای مجاور آن خواهد بود. در این رابطه، ساخت‌وسازهای زیادی در محور شرقی شهر اراک (محور اراک - قم) صورت خواهد گرفت. در این راستا برخی از روستاها جذب ساختار شهر اراک خواهند شد. محور دوم توسعه فضایی، محور اراک - شازند در غرب شهر اراک می‌باشد که ساخت‌وسازها در امتداد محور مذکور نیز قابل توجه خواهد بود. در منطقه پیراشهر شمال شهر اراک توسعه کاربری ساخته شده به دو صورت توسعه فضایی روستاها و گسترش خانه‌باغ‌ها و ویلاها خواهد بود. نتایج حاصل از پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از اتوماتای سلولی - زنجیره مارکوف را می‌توان به‌عنوان دورنما و سناریویی در رابطه با توسعه فضایی - کالبدی شهرها و روستاها در نظر گرفته و مطابق با آن نسبت به برنامه‌ریزی توسعه بهینه منطقه اقدام نمود. روندهای گذشته و پیش‌بینی تغییرات به‌وضوح نشان می‌دهد که توسعه فضایی شهر اراک و روستاهای پیرامون باعث تخریب شدید کاربری کشاورزی آبی شده و خواهد شد. در طی سال‌های اخیر با رواج پدیده ویلاسازی در اراضی کشاورزی منطقه پیراشهری اراک روند تخریب و نابودی اراضی کشاورزی و تغییر کارکرد طبیعی روستاها آهنگ پرشتابی گرفته است. بدین ترتیب لازم است نظارت‌های سفت و سخت در زمینه تغییرات کاربری اراضی منطقه اعمال شود. همچنین ضرورت دارد مطالعاتی در زمینه تغییر روندهای توسعه فضایی - کالبدی شهر اراک و روستاهای پیرامون باهدف حفاظت از اراضی کشاورزی و محیط‌زیست منطقه صورت گیرد. توسعه درون‌زای شهری - روستایی و احداث شهرک‌هایی در پهنه‌های با توان کشاورزی پایین می‌تواند روند تخریب زمین‌های حاصلخیز کشاورزی را متوقف ساخته یا کاهش دهد. بدین ترتیب می‌بایست نظارت‌های سخت‌گیرانه بر تغییرات کاربری اراضی صورت گیرد. در رابطه با حفظ اراضی کشاورزی لازم است که فعالیت‌های کشاورزی روستاها مدرنیزه شوند و از گسترش خزنده ویلاسازی در سطح اراضی کشاورزی منطقه جلوگیری شود. همچنین در توسعه فضایی - کالبدی روستاها و شهر اراک به پتانسیل‌های توسعه درون‌زا توجه شده و تحقیقاتی در این زمینه صورت گیرد.

منابع

- 0 بابایی اقدم، فریدون و ابراهیم‌زاده آسمین، حسین. ۱۳۹۱. مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی و بابر به سطوح ساخته شده در منطقه شهری اردبیل با استفاده از مدل CLUE-S. نشریه جغرافیا و توسعه، شماره ۲۱، صص ۳۴-۲۶.

- 0 بکائیان، فاطمه؛ شمسی پور، علی اکبر و علی خواه اصل، مرضیه. ۱۳۹۹. **پایش روند تغییرات کاربری اراضی با تأکید بر توسعه فیزیکی شهر تهران**. فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره ۲۲، شماره ۱، شماره پیاپی ۹۲، صص ۶۱-۷۸.
- 0 پورمحمدی، محمدرضا و جام کسری، محمد. ۱۳۹۰. **تحلیلی بر الگوی توسعه ناموزون تبریز**. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۵، شماره ۱۰۰، صص ۵۴-۳۱.
- 0 حسین آبادی، سعید؛ اکبری، ابراهیم و نقدیشی، افسانه. ۱۳۹۹. **ارزیابی و شبیه سازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از طبقه بندی شی گرا و مدل زنجیره مارکوف (مورد مطالعه: شهر بیرجند و پیرامون آن)**. جغرافیا و مخاطرات محیطی، دوره ۹، شماره ۱، شماره پیاپی ۱، صص ۱۸۸-۱۶۹.
- 0 خزایی، عادل؛ عباسپور، مجید؛ بابایی کفاکی، ساسان؛ تقوی، لعبت و رشیدی، یوسف. ۱۴۰۲. **بررسی و پیش بینی تغییرات کاربری اراضی کلانشهر تهران با استفاده از تکنولوژی سنجش از دور**. فصلنامه علوم محیطی، دوره ۲۱، شماره ۲، صص ۱۳۸-۱۲۱.
- 0 خوش گفتار، محمدمهدی؛ طالعی، محمد و ملک پور، پیمان. ۱۳۸۹. **مدل سازی زمانی - مکانی رشد شهری: روش مبتنی بر تلفیق Cellular automata و زنجیره مارکوف**. نشریه انجمن سنجش از دور و GIS ایران، سال دوم، شماره ۱۷، صص ۳۴-۶.
- 0 رسولی، علی اکبر. ۱۳۹۱. **کاربرد GIS در برنامه ریزی شهری و منطقه ای**. تبریز: انتشارات سازمان شهرداری ها و دهیاری های کشور.
- 0 شکویی، حسین. ۱۳۸۲. **دیدگاه های نو در جغرافیای شهری**. تهران: انتشارات سمت.
- 0 یاراحمدی، امیر. ۱۳۷۸. **به سوی شهرسازی انسان گرا**. تهران: شرکت پردازش و برنامه ریزی شهری.
- 0 Aburas, MM., Ho, YM., Ramli, MFR. and Ash'aari, ZH. 2017. **Improving the capability of an integrated CA-Markov model to simulate spatio-temporal urban growth trends using an Analytical Hierarchy Process and Frequency Ratio**. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Vol. 59, PP. 65-78.
- 0 Bagan, H. and Yamagata, Y. 2012. **Landsat analysis of urban growth: How Tokyo became the world's largest megacity during the last 40 years**. Remote Sensing of Environment, Vol. 127, pp. 210-222.
- 0 Batisani, N. and Yarnal, B. 2009. **Urban expansion in Centre County, Pennsylvania: Spatial dynamics and Landscape transformations**. Applied Geography, Vol. 9, Issue. 2, pp. 235-249.
- 0 Chang, C-C. and Lin, C-J. 2011. **LIBSVM: a library for support vector machines**. ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology, Volume 2, Issue 3, pp. 1-27
- 0 Dongjie, G., Weijun, G., Kazuyuki, W. and Hidetoshi, F. 2008. **Land use change of Kitakyushu based on landscape ecology and Markov model**. Journal of Geographical Sciences, Vol. 18, pp: 455-468.
- 0 Eastman, JR (a). 2012. **IDRISI Selva Tutorial, Manual Version 17**. Clark Labs, Clark University, 354p.
- 0 Eastman, JR (b). 2012. **IDRISI Selva Manual, Manual Version 17**. Clark Labs, Clark University, 322p.
- 0 Ge, D., Wang, Z., Tu, S., Long, H., Yan, H and Sun, D. 2019. **Coupling analysis of greenhouse-led farmland transition and rural transformation development in China's traditional farming area: A case of qingzhou city**. Land Use Policy, Vol. 86, PP.113-125.
- 0 Gu, X., Xie, B., Zhang, Z. and Guo, H. 2019. **Rural multifunction in Shanghai suburbs: Evaluation and spatial characteristics based on villages**. Habitat International, Vol. 92, PP. 1-10.
- 0 Guan, D., Li, H., Inohae, T., Su, W., Nagaie, T. and Hokao, N. 2011. **Modeling urban land use change by the integration of cellular automaton and Markov model**. Ecological Modelling, Vol. 222, pp. 3761-3772.
- 0 Hu, Z., Peng, J., Du, Y., Song, Z., Liu, Y. and Wang, Y. 2016. **Reconstructing hollow villages in the view of structural reform of the supply side**. Acta Geographica Sinica, Vol. 71, No. 12, PP. 2119-2128.

- 0 Jia, K., Qiao, W., Chai, Y., Feng, T., Wang, Y. and Ge, D. 2020. **Spatial distribution characteristics of rural settlements under diversified rural production functions: A case of Taizhou, China.** Habitat International, Vol. 102, PP.1-12.
- 0 Jiang, L., Deng, X. and Seto, KC. 2013. **The impact of urban expansion on agricultural land use intensity in China.** Land Use Policy, Vol. 35, PP. 33-39.
- 0 Jokar, Aj., Helbich, M., kainz, W. and Darvishi, A. 2102. **Integration of logistic regression, markov chain and cellular automata models to simulate urban expansion.** Journal of applied earth observation and geoinformation, Vol. 21, PP. 265-275.
- 0 Liu, S. and Wang, G. 2018. **From native rural China to urban-rural China: The rural transition perspective of China transformation.** Management World, Vol. 34, No. 10, PP. 128-146.
- 0 Liu, Y. and Li, Y. 2017. **Revitalize the world's countryside.** Nature News, Vol. 548, PP. 275- 277.
- 0 Liu, Y. 2009. **Modelling urban development with geographical information systems and cellular automata.** CRC Press, Taylor & Francis Group, 188p.
- 0 Mashao, D. 2004. **Comparing SVM and GMM on parametric feature-sets.** In Proceedings of the 15th Annual Symposium of the Pattern Recognition Association of South Africa, Cape Town, South Africa. 27th – 29th November 2004.
- 0 Tan, M. and Li, X. 2013. **The changing settlements in rural areas under urban pressure in China: Patterns, driving forces and policy implications.** Landscape and Urban Planning, Vol. 120, PP. 170-177.
- 0 Theres, L., Radhakrishnan, Se. and Rahman, A. 2023. **Simulating Urban Growth Using the Cellular Automata Markov Chain Model in the Context of Spatiotemporal Influences for Salem and Its Peripherals, India.** Earth, Vol. 4, No. 2, PP. 296-314.
- 0 Vapnik, VN. 1995. **The Nature of Statistical Learning Theory.** New York: Springer-Verlag.
- 0 Wang, XR., Hui, ECM., Choguill, C. and Jia, SH. 2015. **The new urbanization policy in China: Which way forward?.** Habitat International, Vol. 47, PP. 279-284.
- 0 Wu, Q., Li, H-q., Wang, R-S., Paulussen, J., He, Y., Wang, M., Wang, B-H. and Wang Z. 2006. **Monitoring and predicting land use change in Beijing using remote sensing and GIS.** Landscape and Urban Planning, Vol. 78, pp. 322-333.
- 0 Xin, Y., Xin-Qi, Z. and Li-Na, L. 2012. **A spatiotemporal model of land use change based on ant colony optimization, Markov chain and cellular automata.** Ecological Modelling, Vol. 233, pp. 11-19.