Urban Ecological Research Open Access

Vol. 16(1), (Series 38): 151-164

DOI: 10.30473/grup.2025.68168.2790

E-ISSN: 2538-3949 P-ISSN: 2538-3930

ORIGINAL ARTICLE

Prediction of Spatial Land Use Changes Based on LCM Using RS and GIS in Metropolises, Case Study: Arak Metropolis

Amir Ansari[1]*, Masoume Tahmasabi[2]

1. Associate Professor, Department of Environmental Sciences and Engineering, Arak University, Arak, Iran.
2. Bachelor, Secretary of Social Sciences, Farhangian University, Arak, Iran.

Correspondence
Amir Ansari
Email: a-ansari@araku.ac.ir

Receive: 10/June/2023
Revise: 29/Nov/2024
Accept: 10/Jan/2025

How to cite
Ansari, A., & Tahmasabi, M. (2024). Prediction of Spatial Land Use Changes Based on LCM Using RS and GIS in Metropolises, Case Study:Arak Metropolis. *Urban Ecological Researc*h, 16(1), 151-164.

ABSTRACT

Arak Metropolis and its surrounding lands have undergone many changes in recent years. This study aims at monitoring and predicting land use changes using land change modeling (LCM) module in the Arak Metropolis. Land sat images of year 1976, 1996 and 2024 were employed to produce digital land use maps. The images were classified into fure classes including city, agriculture, rangeland and forest areas. LCM module in Idrisi GIS software was used to analyze the land use changes and predict the land uses status in 2024, based on artificial neural network (ANN) and Markov Chain analysis. ANN was trained with various influencing factors include distance from road, distance from city human made areas, distance from Land changed edge, distance from stream, elevation and slope. The results indicated that 9343 hectares (50.38) of the rangeland cover have been degraded during the period 1976-2024. Furthermore, the agriculture and city human made areas have been increased 3194ha (147.72) and 4547ha (83.53) in comparison to initial situation. Also, the result shows that rangeland and agriculture and forest areas will decrease in the year 2040 compare to 2024 while, city human made areas increase.

KEYWORDS
Land Change Modeling (LCM), Prediction, Arak Metropolis, Land Use Changes, Artificial Neural Network (ANN).

© 2024, by the author (s). Published by Payame Noor University, Tehran, Iran.
This is an open access article under the CC BY (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

نشریه علمی
پژوهش‌های بوم‌شناسی شهری

سال شانزدهم، شماره یک، (پیاپی سی و هشتم)، بهار ۱۴۰۴، (۱۶۴-۱۵۱)

DOI: 10.30473/grup.2025.68168.2790

E-ISSN: 2538-3949 P-ISSN: 2538-3930

«مطالعه پژوهشی»

پیش‌بینی فضایی تغییرات کاربری اراضی کلان‌شهرها براساس مدل LCM با استفاده از RS و GIS، مورد پژوهش: کلان‌شهر اراک

امیر انصاری[1*] و معصومه طهماسبی[2]

۱. دانشیار، گروه علوم و مهندسی محیطزیست، دانشگاه اراک، اراک، ایران.
۲. کارشناسی، دبیری علوم اجتماعی، دانشگاه فرهنگیان، اراک، ایران.

نویسنده مسئول: امیر انصاری
رایانامه: a-ansari@araku.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۲۰
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۹/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۲۱

استناد به این مطالعه:
انصاری، امیر و طهماسبی، معصومه (۱۴۰۴). پیش‌بینی فضایی تغییرات کاربری اراضی کلان‌شهرها براساس مدل LCM با استفاده از RS و GIS، مورد پژوهش: کلان‌شهر اراک. *فصلنامه علمی پژوهش‌های بوم‌شناسی شهری*، ۱۶(۱)، ۱۶۴-۱۵۱.

چکیده

کلان‌شهر اراک و اراضی پیرامون آن در سال‌های اخیر با تغییرات زیادی مواجه بوده است. هدف این تحقیق پایش تغییرات کاربری اراضی در گذشته و بررسی امکان پیش‌بینی آن در آینده با استفاده از مدل-ساز تغییر زمین در کلان‌شهر اراک است. در این تحقیق تصاویر ماهواره‌ای لندست سال‌های ۱۹۷۶، ۱۹۹۶ و ۲۰۲۴ تجزیه و تحلیل شدند. تصاویر هر سه مقطع زمانی به ۴ کلاس اراضی شهری، مرتع، کشاورزی و جنگلی طبقه‌بندی شدند. پیش‌بینی وضعیت کاربری اراضی برای راستی آزمایی در سال ۲۰۲۴ با استفاده از نقشه‌های ۱۹۷۶ و ۱۹۹۶ به کمک مدل‌ساز تغییر زمین و بر پایه شبکه‌های عصبی مصنوعی و تحلیل زنجیره مارکوف انجام گردید. به این منظور از متغیرهای مکانی فاصله از جاده، فاصله از شبکه آبراهه، فاصله از اراضی شهری، ارتفاع، شیب و فاصله از حاشیه اراضی تغییر یافته، به‌عنوان عوامل مؤثر بر تغییرات در شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد در طول دوره ۱۹۷۶ تا ۲۰۲۴ معادل ۵۰/۳۸ درصد برابر ۹۳۴۳ هکتار از مراتع کاهش یافته است. طی این دوره حدود ۱۴۷/۷۲ درصد معادل ۳۱۹۴ هکتار و ۸۳/۵۳ درصد معادل ۴۵۴۷ هکتار به ترتیب اراضی کشاورزی و انسان‌ساخت شهری افزایش یافته است. همچنین نتایج پیش‌بینی مدل نشان داد که مساحت اراضی مرتعی، کشاورزی و جنگلی در سال ۲۰۴۰ در مقایسه با ۲۰۲۴ کاهش یافته و اراضی انسان‌ساخت شهری افزایش خواهند - یافت. بنابراین در سال‌های آتی شهر اراک توسعه شدیدی به سمت شرق و شمال خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی

آشکارسازی تغییرات اراضی، شبکه عصبی مصنوعی، کلان‌شهر اراک.

حق انتشار این مستند، متعلق به نویسندگان آن است. ۱۴۰۴ ©.
ناشر این مقاله، دانشگاه پیام نور است. این مقاله تحت گواهی زیر منتشرشده و با رعایت شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است.
This is an open access article under the CC BY (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

مقدمه

کاربری سرزمین یکی از مهم‌ترین عواملی است که انسان از طریق آن محیط‌زیست خود را تحت تأثیر می‌دهد و از نظر تاریخی مهم‌ترین تغییر کاربری اراضی که توسط انسان صورت گرفته از میان بردن جنگل‌ها و تبدیل آن‌ها به اراضی کشاورزی و سکونتگاه‌ها می‌باشد (Lausch & Herzog, 2002). تیپا و موریام در سال ۲۰۱۱ از مدل‌ساز تغییر زمین (LCM) برای مدل‌سازی توسعه شهر نپال استفاده کردند، برای این کار از تصاویر ماهواره‌ای ۱۹۱۱، ۲۰۰۱ و ۲۰۱۰ و برای مدل‌سازی سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۳۰، ۲۰۴۰ و ۲۰۵۰ با استفاده از سه سناریوی تاریخی، محیط‌زیستی و حفظ منابع کمک گرفتند (Thapa & Murayama, 2011).

با رشد سریع شهرنشینی، وسعت زیادی از اراضی طبیعی مانند جنگل‌ها، مراتع و تالاب‌ها به اراضی کشاورزی و مناطق مسکونی تبدیل شده‌اند. تغییرات سریع کاربری سرزمین تأثیرهای عمیقی روی محیط‌های طبیعی و انسانی گذاشته است. به‌عنوان نمونه، توسعه اراضی کشاورزی و سازه‌ها سبب جنگل‌زدایی، فرسایش خاک، تخریب حوضه آبخیز، کاهش تنوع زیستی و آلودگی می‌شود. گذشته از این تغییرات مربوط به استفاده از زمین‌های کشاورزی و شتاب شهرنشینی به افزایش سطوح نفوذناپذیر منجر شده است که سبب توسعه شبکه حمل‌ونقل و تجمع آلودگی‌های غیرنقطه‌ای همراه با رواناب سطحی می‌شود. به‌واسطه این تأثیرات بزرگ، آشکارسازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری سرزمین به موضوع مهمی در مدیریت محیط‌زیست و آمایش سرزمین تبدیل شده است (Yu et al., 2011).

با توجه به اینکه شهر اراک در دشت حاصلخیز اراک و فراهان قرار دارد و صنعت و کشاورزی از فعالیت‌های اصلی ساکنین این شهر می‌باشد و تأثیر بسزایی در اقتصاد این شهر و منطقه دارد طی فرایند توسعه این شهر نیز به‌شدت رشد و توسعه فضایی داشته و باعث تغییرات کاربری در مقیاس وسیع از کاربری مرتعی و کشاورزی به کاربری مسکونی و صنعتی شده است. بر این اساس لزوم توجه به توسعه و گسترش فیزیکی آن از ضرورت‌های انجام این تحقیق برای حفظ اراضی مرتعی، کشاورزی، باغات داخل و اطراف شهر می‌باشد. تحقیق حاضر با هدف اصلی مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات روی داده ۴۰ سال گذشته و ۲۴ سال آینده با استفاده از مدل‌ساز تغییر زمین در منطقه کلان‌شهر اراک انجام گرفت و همچنین با اهداف فرعی مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی صنعتی، مسکونی، کشاورزی و فضای سبز آینده کلان‌شهر اراک می‌باشد. مهم‌ترین سؤال این تحقیق، روند توسعه و تغییرات کاربری اراضی کلان‌شهر اراک در آینده چگونه است؟

مبانی نظری

چارچوب نظری

امروزه تغییر کاربری اراضی به‌عنوان تغییرات محیط‌زیستی جهان از اهمیت بالای برخوردار است و مورد توجه دانشمندان و تصمیم‌گیران می‌باشد (Mas et al., 2014). تغییر کاربری شامل اثرات زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی می‌باشد، تغییر کاربری زمین موضوعی است که در دهه‌ای اخیر توجه دانشمندان و همچنین سیاست‌گذاران را به الگوی غیرکاربردی زمین جلب کرده است. اثرات تغییر کاربری زمین به‌واسطه عوامل زیست‌محیطی و یا عوامل اجتماعی و اقتصادی به دودسته تقسیم می‌شوند: الف. عوامل زیست‌محیطی مانند نابودی اراضی کشاورزی، جنگل‌ها و مراتع، رودخانه‌ها و تالاب‌ها، سواحل دریا و رودخانه‌ها که اثرات آن به صورت رانش زمین سیلاب پیشروی دریا، آلودگی آب و خاک ظاهر شده و محیط‌زیست انسان را غیرقابل استفاده می‌سازد. ب. عوامل اجتماعی و اقتصادی شامل تأثیرات بیش‌تر کاربری زمین (اراضی کشاورزی و جنگل‌ها) سبب جابجایی جمعیت، کیفیت زندگی، بهداشت و رفاه جمعیت شده و بیش از پیش اثرات زیست‌محیطی را گسترش می‌دهد (Saeednia, 2019).

فناوری سنجش از دور یکی از ابزارهای بسیار مفید در تشخیص میزان رشد و گسترش شهر در طی دوره‌های زمانی مختلف می‌باشد، همچنین کنترل پراکنش افقی شهر و در پیش - گرفتن راهکارهایی برای جلوگیری از این نوع الگوی توسعه راهکار استفاده از امکانات موجود زمین با استفاده از اراضی بایر داخل شهر، هدایت به سمت توسعه شهر در جهاتی که باعث از بین رفتن اراضی مرغوب کشاورزی و باغ‌ها نشود و ضرورت تهیه و اجرای برنامه‌های کاربری زمین برای استفاده صحیح از زمین در شهر می‌باشد (Rahnama & Shokouhi, 2017). بهترین نوع توپوگرافی برای مسکن معمولاً زمین هموار یا زمینی با پستی و بلندی ملایم و با شیب کم‌تر از ۱۰ تا ۲۰ درصد در نظر گرفته می‌شود. مناطق پیشنهادی دارای شیبی حدود ۱/۶ درصد می‌باشد. شیب بین ۲ تا ۶ درصد، زهکشی را تسهیل می‌کند. زمین‌های صاف و هموار در فصول بارندگی احتمالاً سیل‌گیر خواهد بود (Kakran, 2012). اشغال زمین‌های کشاورزی ناشی از ساخت و سازهای مسکونی جدید افزایش شدیدی داشته که منجر به تخلیه گسترده زمین‌های مسکونی روستایی شده است (Tan et al., 2013).

پیشینه پژوهش

در پژوهش‌های حسین‌زاده دلیر[1] و همکاران (۱۳۹۰)، تغییرات کاربری اراضی شهری در طرح جامع و تفصیلی شهر ایلام مورد توجه بوده و آن‌ها دریافتند که کاربری‌های فضای سبز، بهداشتی–درمانی و ورزشی از نظر سرانه در وضعیت نامطلوب و نامناسبی بوده است. اما دیگر کاربری‌ها شامل تجاری، آموزشی، فرهنگی و مذهبی و حمل‌ونقل شهری از این نظر در جایگاه مطلوب و مناسبی قرار گرفته‌اند.

صاحبقرانی[2] و همکاران (۱۴۰۰)، در مطالعه خود با عنوان «شبیه‌سازی تغییرات کاربری زمین در بافت‌های شهری با استفاده از تلفیق مدل مونت کارلو، منطق فازی و سلول‌های خودکار در منطقه ۷ شهر اصفهان» نشان دادند که در دو سناریوی توسعه درونی و پیرامونی و در دو دوره زمانی ۱۳۹۰–۱۴۰۰ و ۱۴۰۰–۱۴۱۰، مدل سلول‌های خودکار تلفیقی با منطق فازی و رهیافت مونت کارلو خروجی رضایت‌بخش‌تری نسبت به دو مدل دیگر داشته است.

قبادیان[3] و همکاران (۱۳۹۹)، در مطالعه خود با عنوان «شناسایی اثرات توسعه شهری بر اراضی مرتعی و جنگل‌های شهرستان سیروان» نشان دادند که در بازه ۱۹۸۷ الی ۲۰۰۰ حدود ۱۴۰ هکتار مرتع به اراضی انسان‌ساخت و در بازه ۲۰۰۰ الی ۲۰۱۶ حدود ۳۹۵ هکتار مرتع و ۲۰ هکتار جنگل به اراضی انسان‌ساخت و در بازه زمانی ۲۹ ساله ۶۸۵۰ هکتار مرتع و ۶۸۰ هکتار جنگل به اراضی کشاورزی تبدیل شده است. همچنین توسعه شهری سبب تبدیل اراضی مرتعی و جنگلی شهرستان سیروان به اراضی مسکونی گردیده است.

قهرودی تالی[4] و همکاران (۱۳۹۶)، در مطالعه خود با عنوان «توسعه فیزیکی شهر اراک با به‌کارگیری ویژگی‌های طبیعی بستر زمین» نشان دادند که دو اولویت برای توسعه فیزیکی در شهر اراک وجود دارد. اولویت اول به فضایی اختصاص دارد که شهر اراک در آن قرار دارد بنابراین مکان شهر در حال حاضر خوب است و بیان‌کننده آن است که برای توسعه آتی شهر لازم است که شرایطی همانند شرایط اراک برای اسکان و زندگی ساکنین آینده جستجو نمود. بنابراین احیای بافت فرسوده و توسعه عمودی شهر می‌تواند در اولویت باشد، اولویت دوم اختصاص به فضایی در شمال غربی شهر اراک دارد که در فاصله ۹۵۹۰ متری از شهر واقع شده است. منطقه موردنظر در کنار جاده ارتباطی اراک–فرمهین واقع شده است. فضای پیشنهادی سه روستای محمدیه، سوسن‌آباد و ابراهیم‌آباد قرار دارد. این مناطق فاصله مناسبی از صنایع دارند.

در تحقیقات جدیدتر توسط توکلی[5] و همکاران (۱۴۰۲)، ارزیابی و پیش بینی تغییرات کاربری اراضی و روستاهای پیرامون شهر اراک با استفاده از روش اتوماتای سلولی کانون توجه بوده و از نظر نویسندگان، از سال ۱۱۹۰ تا ۲۰۲۳ درصد زیادی از ازاضی کشاورزی منطقه به کاربری ساخته شده تغییر خواهد یافت و تا سال ۲۰۴۰ بیش‌ترین تغییر کاربری اراضی کشاورزی به کاربری ساخته شده تبدیل خواهد شد و ساخت و سازهای زیادی در محور اراک – قم و اراک– شازند و پیرامون شمال اراک توسعه کاربری ساخته شده به‌صورت توسعه فضایی روستاها و گسترش ویلاها خواهد بود.

نوآوری این پژوهش در قیاس با پژوهش‌های دیگر انجام شده در اراک، استفاده از مدل‌ساز تغییر زمین و روش شبکه عصبی در دوره‌های مختلف زمانی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در شهر اراک انجام خواهد شد.

روش انجام پژوهش

روش این تحقیق براساس مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل‌ساز تغییر زمین، شامل آشکارسازی تغییرات، مدل-سازی پتانسیل انتقال، پیش‌بینی و مدل‌سازی تغییرات و ارزیابی صحت مدل‌سازی می‌باشد. متغیرهای توصیفی بکار رفته در این مدل‌سازی عبارتند از: فاصله از جاده، فاصله از شبکه آبراهه، فاصله از اراضی انسان‌ساخت، ارتفاع، شیب، فاصله از حاشیه اراضی تغییر یافته می‌باشد. برای بررسی میزان همبستگی بین متغیرهای مورد استفاده در این مدل (مستقل) و طبقات کاربری اراضی (وابسته) از ضریب Overall Cramer's V استفاده شد. به‌طوری که این ضریب برای متغیرهای که حدود ۰/۱۵ یا بیش‌تراند مفید هستند. در حالی‌که متغیرهای که ضریب حدود ۰/۴ یا بیش‌تر دارند، خوب می‌باشند. در نهایت هر انتقال با استفاده از پرسپترون چندلایه شبکه عصبی مصنوعی مدل‌سازی شد. در این مدل‌سازی مهم‌ترین فرض این است که طبیعت توسعه و تغییرات یکسانی در طی زمان خواهد داشت. یا به عبارت دیگر تغییرات گذشته می‌تواند تغییرات آینده را براساس سناریوی تاریخی پیش‌بینی کند.

برای تعیین ارزیابی مدل پتانسیل انتقال با استفاده از پرسپترون چندلایه شبکه عصبی مصنوعی خطای آموزش و خطای تست

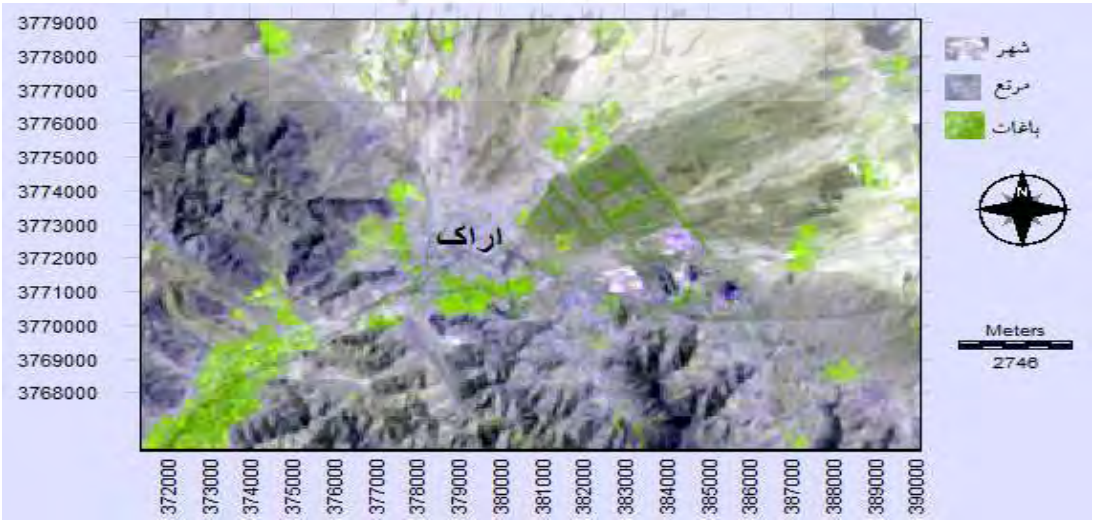
1. Hosseinzadeh Dalir
2. Sahebgharani
3. Ghobadeyan
4. Ghahrodi
5. Tavakoli

محاسبه شد. در این مدل‌سازی تخصیص تغییر به هر کاربری با استفاده از زنجیره مارکوف محاسبه شد. به این صورت که در مدل مارکوف حالت سیستم در زمان ۲، می‌تواند براساس حالت سیستم در زمان ۱، پیش‌بینی شود و در نتیجه ماتریس احتمالات انتقال به‌عنوان پایه‌ایی برای مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی ارائه گردد. در نهایت نقشه‌های احتمال تغییر بر مبنای متغیرهای محیطی برای هر زیر مدل تهیه و نقشه پیش‌بینی تغییرات برای سال ۲۰۴۰ با استفاده از اختصاص اراضی به روش شبکه عصبی بر مبنای سناریوی تداوم تولید شد. برای اعتبار سنجی توان مدل‌ساز تغییر زمین برای تولید نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۴۰ ابتدا از نقشه‌های سال ۱۹۷۶ و ۱۹۹۶ برای پیش‌بینی نقشه سال ۲۰۲۴ استفاده شد.

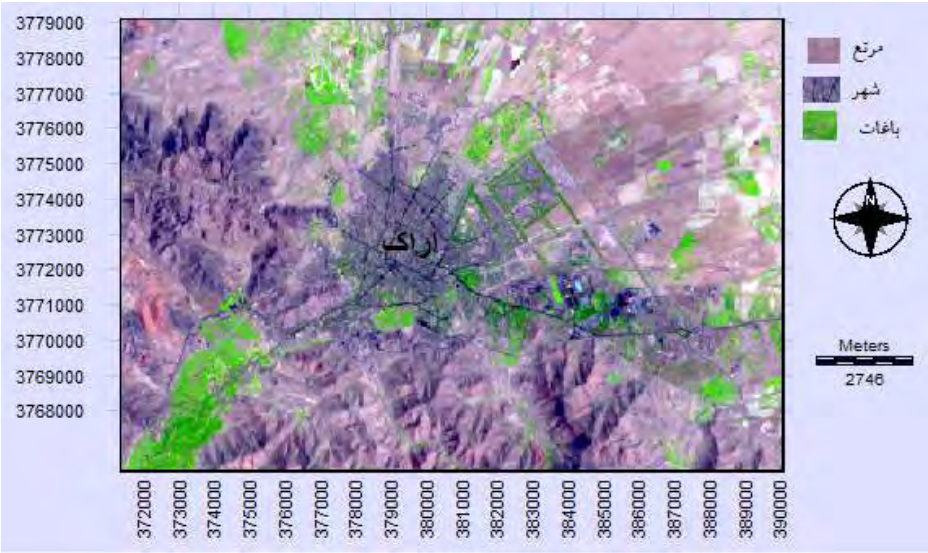
نقشه‌های احتمال انتقال تغییرات نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۲۴ تهیه شد، سپس نقشه پیش‌بینی شده توسط مدل با نقشه کاربری اراضی تهیه شده به روش هیبرید (نقشه مرجع) از طریق ماژول Validation در مدل‌ساز تغییر زمین مورد مقایسه قرار گرفت و سپس نقشه پیش‌بینی تغییرات برای سال ۲۰۴۰ تهیه گردید. روش این تحقیق براساس پژوهش آرخی و اصفهانی انجام شده است (Arekhi, 2015). به‌منظور تهیه نقشه کاربری اراضی از تصویرهای ماهواره‌ای لندست برای سال ۱۹۷۶ (شکل ۱) و ۱۹۹۶ (شکل ۲) و ۲۰۲۴ (شکل ۳) به ترتیب مربوط به سنجنده-های TM، ETM+ و TIRS-OLI مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۱). داده‌های ماهواره‌ای به فرمت GeoTIFF در باندهای طیفی تهیه شدند (شکل ۱). با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی تهیه شده از سازمان نقشه‌برداری کشور در سال ۱۳۸۲ با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ برای کنترل هندسی تصاویر ماهواره‌ای تهیه مدل رقومی زمین و استخراج لایه راه‌ها و شبکه آبراهه استفاده شد. به‌علاوه نقشه‌های پوشش گیاهی ۱:۲۵۰۰۰۰ سازمان جنگل‌ها و مراتع تهیه شده در سال ۱۳۷۶ و نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ سال ۱۳۷۶ و داده‌های حاصل از بازدید میدانی به‌عنوان اطلاعات جانبی در تهیه نقشه‌های کاربری اراضی هر چه دقیق‌تر بکار گرفته شد در ضمن از نرم‌افزارهای IDRISI TerrSet 18.31، ERDAS 2014 و ArcGIS 10.3.1 و وب‌سایت Timelapse برای پردازش داده-ها، بارزسازی، مدل‌سازی و خروجی گرفتن و از روش حداکثر احتمال (Maximum Likelihood) برای طبقه‌بندی کاربری‌ها و مدل‌ساز تغییر زمین برای پیش‌بینی تغییرات تا سال ۲۰۴۰ استفاده شد. نقشه‌های کاربری اراضی با ضریب کاپا صحت‌سنجی شدند. برای برآورد صحت نهایی، حاصل طبقه‌بندی‌های مختلف با واقعیت زمینی مقایسه و با توجه به خطا، معیارهای صحت کلی، کاپا، خطاهای حذف و اضافه محاسبه شد. روند اجرای پژوهش در شکل ۴، ارائه شده است (Heydarian et al., 2014).

جدول ۱. مشخصات تصاویر ماهواره‌ای

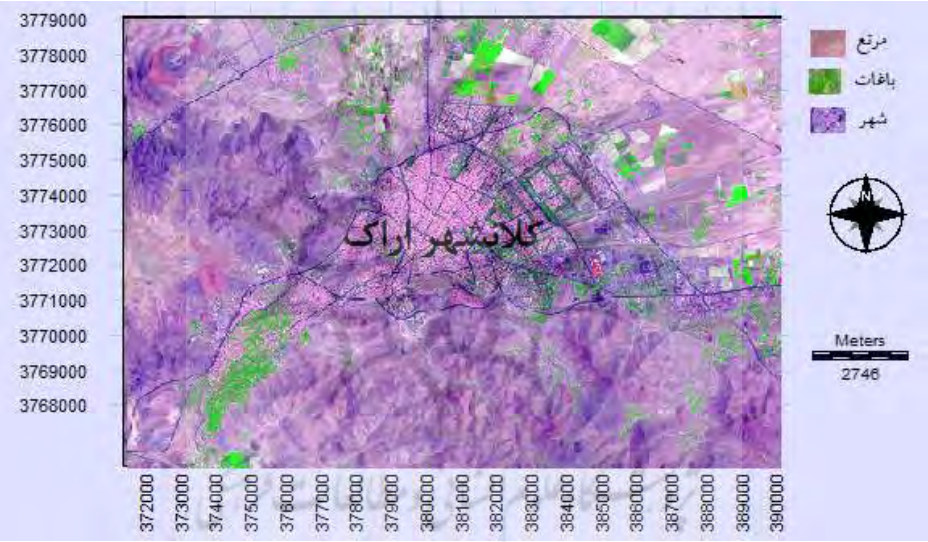
شماره	سنسور ماهواره	سیستم مرجع (PATH/ROW)
۱	Landsat 4-5 (MSS-TM)	WRS-II/167/37
۲	Landsat 7(ETM+ SLC)	WRS-II/167/37
۳	Landsat 8-9 (OLI-TIRS)	WRS-II/167/37



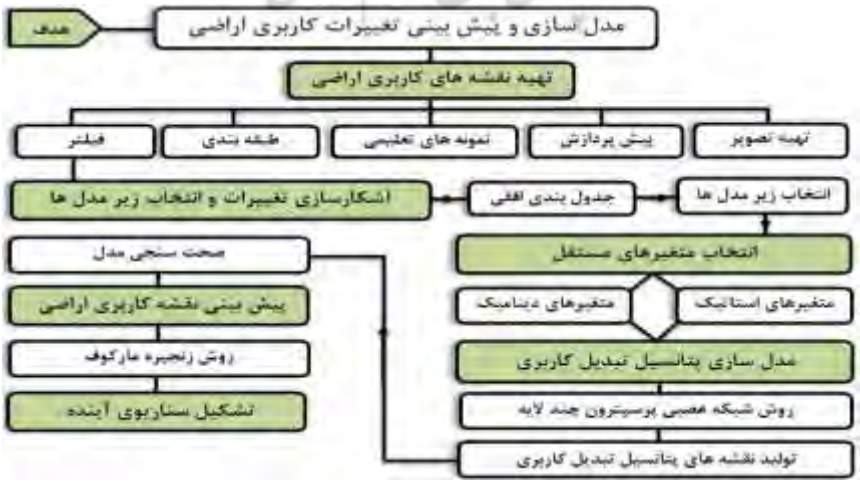
شکل ۱. تصاویر ماهواره ای لندست سال ۱۹۷۶



شکل ۲. تصاویر ماهواره ای لندست سال ۱۹۹۶



شکل ۳. تصاویر ماهواره ای لندست سال ۲۰۲۴



شکل ۴. روند اجرای پژوهش

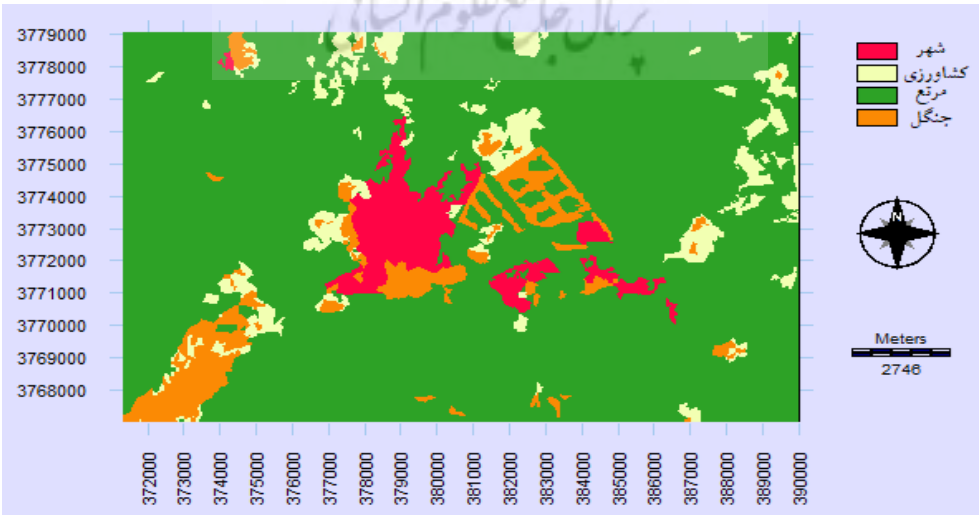
محدوده مورد مطالعه

شهر اراک با وسعت ۷۱۷۸ هکتار تقریبا به‌صورت خطی شرقی-غربی کشیده شده است (www.markazi.mrud.ir). ارتفاع متوسط آن ۱۷۵۵ متر از سطح دریاهای آزاد می‌باشد. شهر اراک در حوضه آبریز تالاب میقان قرار دارد. وسعت کل حوضه آبریز بالغ بر ۵۴۴۰ کیلومتر مربع است که ۲۰۰۰ کیلومتر مربع را دشت و ۳۴۴۰ کیلومتر مربع را ارتفاع‌های مشرف به دشت تشکیل می‌دهد. در مرکز دشت و حدود شمال شرقی شهر اراک دریاچه میقان با مساحت حدود ۱۲۰ کیلومتر مربع قرار دارد. شهر اراک که در منتهی‌الیه جنوب غربی دشت اراک واقع شده است. از جنوب به کوه‌های نظم آباد، کوه سرخ، کوه شیخ ابراهیم، کوه دربند و از جنوب شرقی به کوه چهاک و از غرب به کوه مودر و مستوفی و از سمت شمال شرقی به فلات مرکزی ایران منتهی می‌گردد. فاصله شهر اراک تا تالاب میقان حدود ۱۰ کیلومتر است (Harman Consulting Engineers, 2008). برای تعیین محدودیت فیزیکی توسعه شهر مرز منطقه مورد مطالعه بزرگ‌تر از مرز شهر در نظر گرفته شده است. شکل ۵، موقعیت منطقه را نشان می‌دهد.

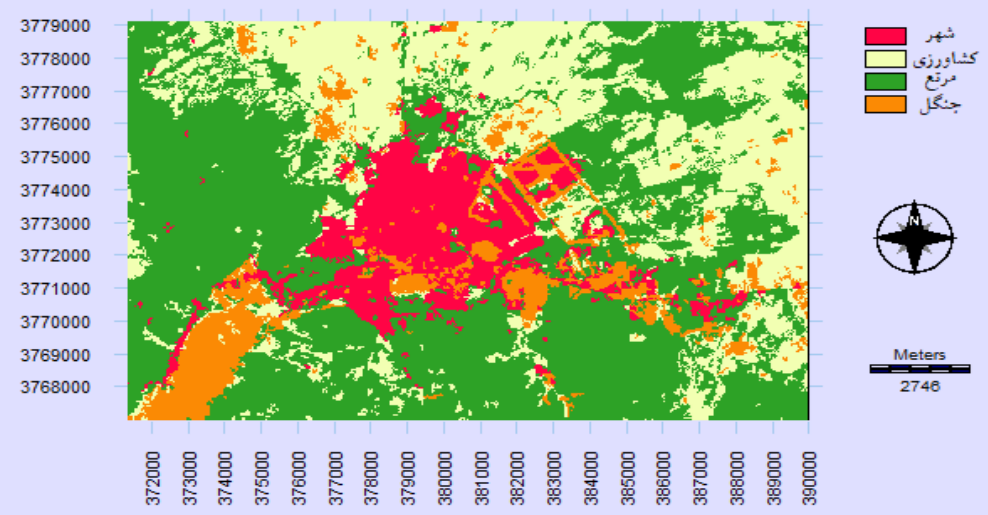
شکل ۵. موقعیت جغرافیایی کلانشهر اراک در استان و کشور

یافته‌ها

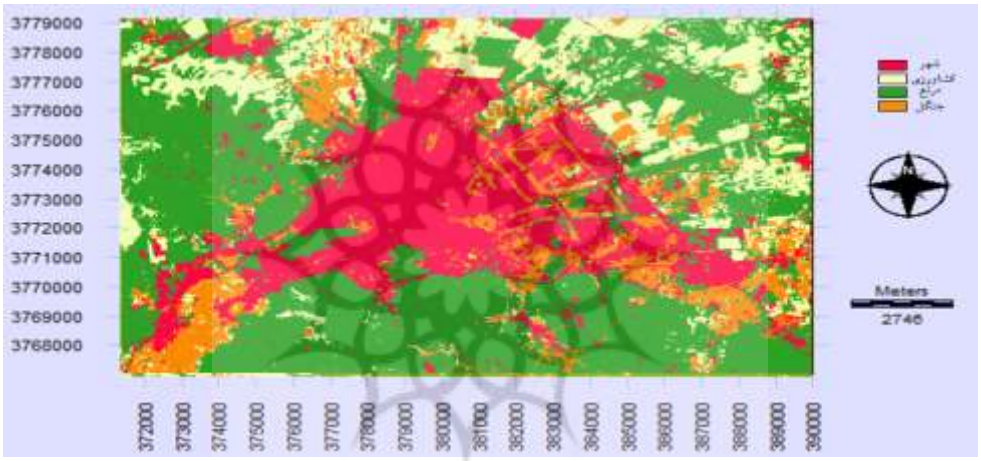
نتایج بررسی کیفیت رادیومتری و کنترل هندسی تصاویر نشان داد که تصاویر هر سه سال از کیفیت مطلوب برخوردارند و هیچ کدام از خطاهای شناخته شده رادیومتری را ندارند. همچنین تصاویر با لایه‌های برداری جاده‌ها و آبراهه‌ها کاملا همخوانی مکانی دارند و به تصحیح هندسی مجدد نیاز ندارند. همچنین طبقه‌بندی تصاویر با استفاده از طبقه‌بندی حداکثر احتمال نشان داد که ۴ طبقه کاربری اراضی شامل کلاس شهر، مرتع، اراضی کشاورزی و جنگل در منطقه مورد مطالعه وجود دارد. برای ارزیابی صحت، نقشه‌های تولید شده با نقشه‌های واقعیت زمینی مقایسه شد. بنابراین کاپای کل در نقشه‌های طبقه‌بندی شده سال‌های ۱۹۷۶ (شکل ۶)، ۱۹۹۶ (شکل ۷) و ۲۰۲۴ (شکل ۸) بر حسب درصد به ترتیب ۸۵، ۸۷ و ۹۲ درصد به دست آمد.



شکل ۶. نقشه تغییرات کاربری اراضی کلان‌شهر اراک سال ۱۹۷۶



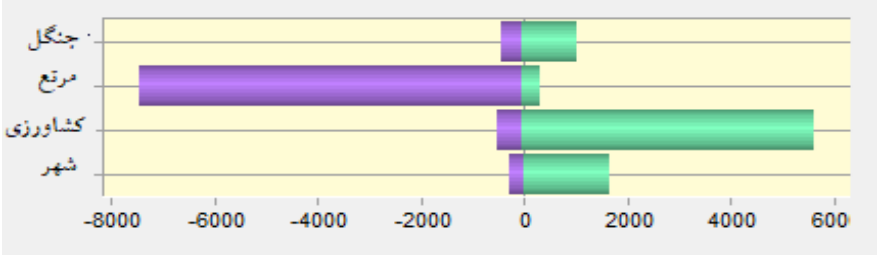
شکل ۷. نقشه تغییرات کاربری اراضی کلان‌شهر اراک سال ۱۹۹۶



شکل ۸. نقشه تغییرات کاربری اراضی کلان‌شهر اراک سال ۲۰۲۴

آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی بین سال‌های ۱۹۷۶ تا ۱۹۹۶

از بیش‌ترین تغییرات کاربری اراضی بین این سال‌ها می‌توان به کاهش ۴۰/۳۳ درصد معادل ۷۴۷۹ هکتار مرتع و تبدیل آن‌ها به اراضی کشاورزی و شهری اشاره نمود. بیش‌تر این نوع تغییرات در مرز مشترک بین پوشش مرتعی و اراضی شهری وجود دارد. مهم‌ترین دلیل این نوع تغییرات می‌توان به گسترش اراضی کشاورزی، شهری و صنعتی اشاره نمود. طی این دوره ۲۰ ساله ۸۶/۹۸ درصد معادل ۵۶۷۹ هکتار و ۶۶/۳۸ درصد معادل ۱۶۵۹ هکتار به ترتیب اراضی کشاورزی و اراضی انسان‌ساخت شهری افزایش یافته است (شکل ۹). در طی این مدت ۵۴۴۳/۲۰ هکتار از اراضی مرتعی به کشاورزی، ۱۳۶۷/۶۴ هکتار از اراضی مرتعی به انسان‌ساخت شهری و ۶۶۷/۹۲ هکتار از مرتع به جنگل تبدیل شده است (جدول ۲).



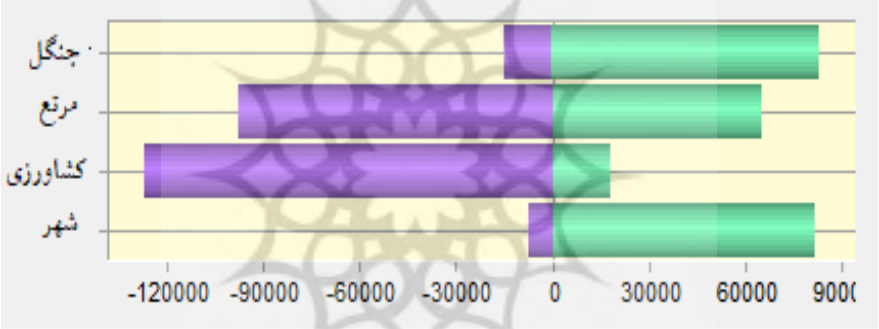
شکل ۹. تغییرات کاربری اراضی کلان‌شهر اراک بین سال‌های ۱۹۷۶ تا ۱۹۹۶

جدول ۲. تغییرات کاربری اراضی کلان‌شهر اراک بین سال‌های ۱۹۷۶ تا ۱۹۹۶

تیپ اراضی	مساحت در ۱۹۷۶ (هکتار)	مساحت در ۱۹۹۶ (هکتار)	تغییرات بین ۱۹۷۶-۱۹۹۶	درصد تغییرات
شهری	۱۱۳۵/۵۶	۲۴۹۸/۸۴	۱۶۵۹	۶۶/۳۸
کشاورزی	۱۳۷۵/۴۴	۶۵۲۹/۰۴	۵۶۷۹	۸۶/۹۸
مرتع	۱۸۵۴۱/۸۸	۱۱۴۰۰/۶۰	-۷۴۷۹	-۴۰/۳۳
جنگل	۱۴۲۶/۹۶	۲۰۵۱/۳۶	۱۰۶۱	۵۱/۷۳
کل	۲۲۴۷۹/۸۴	۲۲۴۷۹/۸۴		

آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی بین سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۲۴

بین سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۲۴ معادل ۱۲۶/۳۹ درصد برابر ۸۲۵۲ هکتار و ۳۶/۱۱ درصد معادل ۴۱۱۶ هکتار به ترتیب اراضی کشاورزی و مرتع کاهش یافته‌اند. طی این دوره حدود ۴۱/۰۵ درصد معادل ۱۹۷۰ هکتار و ۶۰/۷۲ درصد معادل ۳۳۰۵ هکتار به ترتیب اراضی جنگلی و انسان‌ساخت شهری افزایش یافته است (شکل ۱۰). در طی این مدت ۲۴۲۳/۹۶ هکتار از اراضی مرتع به کشاورزی، ۱۸۷۸/۷۶ هکتار از مرتع به شهری، ۱۶۹۱/۰۸ هکتار از کشاورزی به جنگل و ۱۳۹۸/۱۶ هکتار از مرتع به جنگل تبدیل شده است. بیش‌تر این تبدیل کاربری‌ها در دره حسین آباد و بغدادی، سنجان و کرهرود است (جدول ۳).



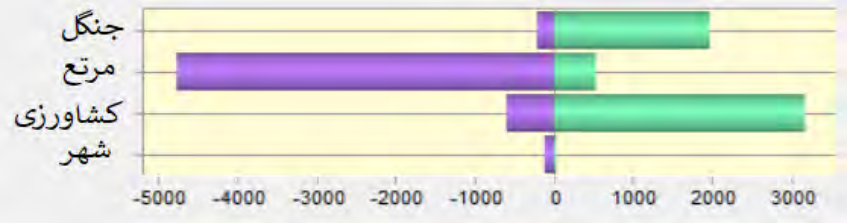
شکل ۱۰. تغییرات کاربری اراضی کلان‌شهر اراک بین سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۲۴

جدول ۳. تغییرات کاربری اراضی کلان‌شهر اراک بین سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۲۴

تیپ اراضی	مساحت در ۱۹۹۶ (هکتار)	پیش بینی مساحت در ۲۰۲۴ هکتار	پیش بینی تغییرات بین ۱۹۹۶-۲۰۲۴	درصد تغییرات
شهری	۲۴۹۸/۸۴	۵۵۳۶/۵۳	۳۳۰۵	۶۰/۷۲
کشاورزی	۶۵۲۹/۰۴	۳۵۱۰/۱۸	-۸۲۵۲	-۱۲۶/۳۹
مرتع	۱۱۴۰۰/۶۰	۱۰۵۹۸/۸۵	-۴۱۱۶	-۳۶/۱۱
جنگل	۲۰۵۱/۳۶	۲۸۲۲/۲۲	۱۹۷۰	۴۱/۰۵
کل	۲۲۴۷۹/۸۴	۲۲۴۷۹/۸۴		

آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی بین سال‌های ۱۹۷۶ تا ۲۰۲۴

بین سال‌های ۱۹۷۶ تا ۲۰۲۴ معادل ۵۰/۳۸ درصد برابر ۹۳۴۳ هکتار از مراتع کاهش یافته است. طی این دوره ۴۸ ساله حدود ۱۴۷/۷۲ درصد معادل ۳۱۹۴ هکتار و ۸۳/۵۳ درصد معادل ۴۵۴۷ هکتار به ترتیب اراضی کشاورزی و انسان‌ساخت شهری افزایش یافته است (شکل ۱۱). بر مبنای نتایج این مطالعه ۳۵۵۷/۸۸ هکتار از اراضی مرتعی به شهری، ۳۳۷۷/۵۲ هکتار از اراضی مرتعی به جنگل، ۱۹۴۶/۶۰ هکتار از مرتع به جنگل، ۴۹۵/۶۴ هکتار از اراضی کشاورزی به شهری و ۴۱۶/۴۸ هکتار از جنگل به شهری تبدیل شده است. بیش‌تر این تبدیل کاربری‌ها در دره حسین‌آباد و بغدادی، سنجان و کرهرود است (جدول ۴).



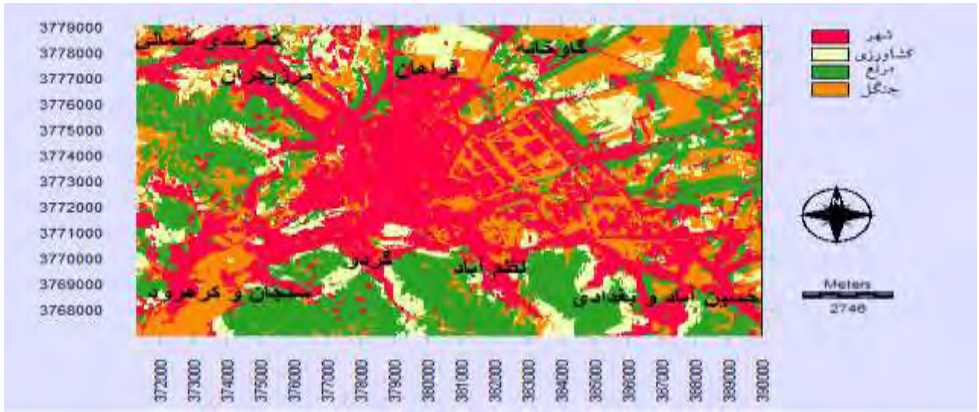
شکل ۱۱. تغییرات کاربری اراضی کلان‌شهر اراک بین سال‌های ۱۹۷۶ تا ۲۰۲۴

جدول ۴. تغییرات کاربری اراضی کلان‌شهر اراک بین سال‌های ۱۹۷۶ تا ۲۰۲۴

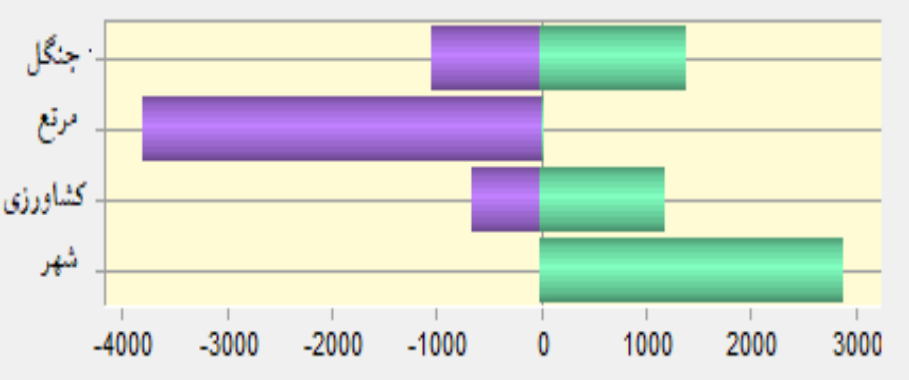
تیپ اراضی	مساحت در ۱۹۷۶ (هکتار)	مساحت در ۲۰۲۴ هکتار	تغییرات بین ۱۹۷۶-۲۰۲۴	درصد تغییرات
شهری	۱۱۳۵/۵۶	۵۵۳۶/۵۳	۴۵۴۷	۸۳/۵۳
کشاورزی	۱۳۷۵/۴۴	۳۵۱۰/۱۸	۳۱۹۴	۱۴۷/۷۲
مرتع	۱۸۵۴۱/۸۸	۱۰۵۹۸/۸۵	-۹۳۴۳	-۵۰/۳۸
جنگل	۱۴۲۶/۹۶	۲۸۲۲/۲۲	۲۲۹۴	۴۷/۸۱
کل	۲۲۴۷۹/۸۴	۲۲۴۷۹/۸۴		

مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی سال ۲۰۴۰

پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی طبق سناریوی تداوم برای ۲۴ سال آینده در کلان‌شهر اراک انجام شد (شکل ۱۲). در این سناریو روند تغییرات کاربری اراضی مشابه سال‌های گذشته و بدون هیچگونه محدودیتی ادامه می‌یابد. در مدل‌سازی قابلیت انتقال سه نتایج عامل شامل ارزیابی صحت، خطای آموزش و خطای تست در همه زیر مدل‌ها صحت بالایی بین (۶۵ تا ۸۵ درصد) را نشان داد. نتایج ضرایب Overall Cramer's V که بین متغیرها همبستگی وجود دارد، به ترتیب بیش‌ترین ضریب شامل: ارتفاع، شیب، فاصله از اراضی انسان ساخت، فاصله از اراضی تغییریافته، فاصله از جاده، فاصله از شبکه آبراهه می‌باشند (جدول ۵). احتمال انتقال از یک کاربری در سال ۲۰۲۴ به نوع دیگر در سال ۲۰۴۰ با زنجیره مارکوف نشان می‌دهد که بیش‌ترین احتمال انتقال به ترتیب از مرتع به اراضی کشاورزی و جنگل، مرتع به شهری و کشاورزی به شهری می‌باشد. بین سال‌های ۲۰۲۴ تا ۲۰۴۰ پیش‌بینی شده برابر ۳۹/۶۸ درصد معادل ۴۰۰۹ هکتار مرتع کاهش خواهد داشت و ۷۱/۷۴ درصد معادل ۱۹۳۶ هکتار و ۳۵/۴۹ درصد معادل ۲۹۶۴ هکتار به ترتیب اراضی کشاورزی و شهری افزایش خواهند یافت (شکل ۱۳). از جمله تغییرات قابل ذکر در این دوره افزایش ۱۴۰۴/۶۰ هکتار از مرتع به کشاورزی، ۱۲۱۴/۱۶ هکتار از مرتع به انسان‌ساخت شهری، ۱۱۹۳ هکتار از مرتع به جنگل، ۱۰۴۳/۱۲ هکتار از جنگل به شهری و ۶۵۶/۵۶ هکتار از کشاورزی به شهری تبدیل خواهد شد که اغلب در اطراف اراضی فعلی منطقه روی خواهد داد. بیش‌تر این تبدیل کاربری‌ها در مناطق دره نظم‌آباد، حسین‌آباد و بغدادی، سنجان، کرهرود، روستای مرزیجران، گاوخونی و حاشیه جاده فراهان و کمربندی شمالی جدید انجام خواهد شد (جدول ۶).



شکل ۱۲. نقشه پیش‌بینی کاربری اراضی کلان‌شهر اراک برای سال ۲۰۴۰



شکل ۱۳. تغییرات کاربری اراضی کلان‌شهر اراک بین سال‌های ۲۰۲۴ تا ۲۰۴۰

جدول ۵. ضرایب Overall Cramer's V

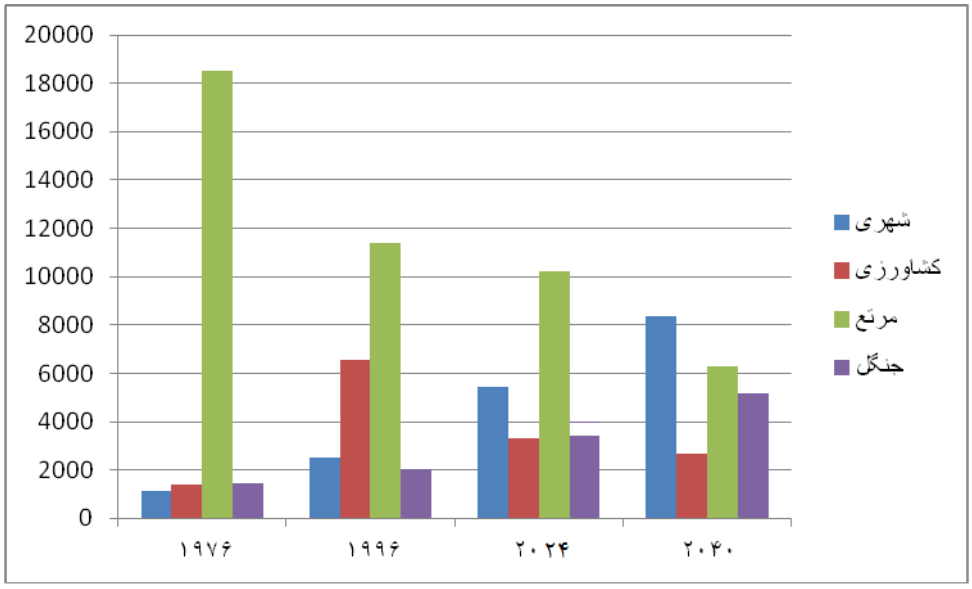
متغیر	Overall Cramer's V
فاصله از جاده	۰/۲۰
فاصله از شبکه آبراهه	۰/۰۷
فاصله از اراضی انسان ساخت	۰/۲۹
ارتفاع	۰/۳۳
شیب	۰/۳۰
فاصله از حاشیه اراضی تغییر یافته	۰/۲۳

جدول ۶. تغییرات کاربری اراضی کلان‌شهر اراک بین سال‌های ۲۰۲۴ تا ۲۰۴۰

تیپ اراضی	مساحت در ۲۰۲۴(هکتار)	پیش بینی مساحت در ۲۰۴۰ (هکتار)	پیش بینی تغییرات بین ۲۰۴۰-۲۰۲۴	درصد تغییرات
شهری	۵۵۳۶/۵۳	۸۳۵۶/۸۸	۲۹۶۴	۳۵/۴۹
کشاورزی	۳۵۱۰/۱۸	۲۶۹۹/۰۸	۱۹۳۶	۷۱/۷۴
مرتع	۱۰۵۹۸/۸۵	۶۲۶۴/۳۲	-۴۰۰۹	-۳۹/۶۸
جنگل	۲۸۲۲/۲۲	۵۱۵۹/۵۶	۷۶۸	۱۶/۰۱
کل	۲۲۴۷۹/۸۴	۲۲۴۷۹/۸۴		

بحث و نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر تغییرات کاربری اراضی در محدوده کلان‌شهر اراک به وسعت ۲۲۴۷۹/۸۴ هکتار در بخشی از شهرستان اراک استان مرکزی و در دو دوره زمانی (۱۹۷۶ - ۱۹۹۶ و ۱۹۹۶-۲۰۲۴) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و همچنین توانایی پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی براساس رویکرد مدل‌ساز تغییر زمین تا سال ۲۰۴۰ بررسی شد. نتایج حاصل از آشکار سازی تغییرات نشان داد، بین سال‌های ۱۹۷۶ تا ۲۰۲۴ معادل ۵۰/۳۸ درصد برابر ۹۳۴۳ هکتار از مراتع کاهش یافته است و ۱۴۷/۷۲ درصد معادل ۳۱۹۴ هکتار و ۸۳/۵۳ درصد معادل ۴۵۴۷ هکتار به ترتیب اراضی کشاورزی، انسان‌ساخت شهری و جنگلی افزایش یافته است (شکل ۱۴). افزایش اراضی جنگلی در این دوره زمانی به دلیل احداث پارک جنگلی شهید باهنر اراک با مساحت ۲۱۲ هکتار، شهید رجایی با مساحت ۵۰ هکتار و مساحت ۷۰۰ هکتار جنگل‌کاری غرب اراک در سال ۱۹۹۳ توسط اداره منابع طبیعی می‌باشد. اغلب این تخریب‌ها در اطراف اراضی انسان‌ساخت شهری، اراضی کشاورزی و مراتع قبلی به علت در دسترس بودن آن‌ها رخ داده است. از دیگر دلایل تخریب اراضی مراتعی می‌توان به توسعه شهری، گسترش اراضی کشاورزی و افزایش فعالیت-های صنعتی اشاره کرد.



شکل ۱۴. تغییرات کاربری اراضی کلان‌شهر اراک در طول چهار دوره زمانی

متغیرهای استفاده شده در مطالعه حاضر که در اغلب مطالعات پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی استفاده می‌شوند و نتایج ضریب همبستگی کرامر نشان داد که مهم‌ترین متغیرهای مستقل توضیح دهنده تغییرات در کلان‌شهر اراک به ترتیب عبارتند از: ارتفاع، شیب، فاصله از اراضی انسان ساخت، فاصله از حاشیه اراضی تغییر یافته، فاصله از جاده و فاصله از شبکه آبراهه می‌باشند. در پژوهش حاضر نتایج ارزیابی مدل‌سازی نیروی انتقال با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی در بیش‌تر زیر مدل‌ها صحت بالایی (۶۵–۸۵ درصد) را نشان داد و با نتایج آرخی و اصفهانی در سال ۱۳۹۳ انطباق دارند. همچنین نتایج مدل‌سازی برای سال ۲۰۴۰ نشان داد که بیش‌ترین احتمال انتقال به ترتیب از مرتع به کشاورزی و جنگل، مرتع به شهری و کشاورزی به شهر افزایش خواهد یافت. بنابراین هر چه سریع‌تر باید به فکر راه چاره‌ای برای جلوگیری از روند نامطلوب تبدیل و تخریب کاربری اراضی مرتع و کشاورزی جنگلی به شهری و صنعتی در اراک باشیم و رشد جمعیت را به شهرهای جدید مهاجران و امیرکبیر منتقل کرد. به‌طوری‌که بیش‌ترین تخریب مراتع در سال ۲۰۴۰ تبدیل آن به اراضی کشاورزی، اراضی کشاورزی و مرتعی به شهری و صنعتی خواهد داشت. بنابراین در سال‌های آتی شهر اراک توسعه شدیدی به سمت شرق و شمال (مناطق دره نظم آباد، حسین آباد و بغدادی، سنجان، کرهرود، روستا مرزیجران، گاوخونی و جاده فراهان و کمربندی شمالی جدید) خواهد داشت و اراضی بسیاری تبدیل کاربری خواهد شد که این موضوع با نتایج قهرودی تالی و همکاران در سال ۱۳۹۶ در خصوص توسعه فیزیکی شهر اراک منطبق می‌باشد و همچنین نتایج پیش‌بینی و تغییر کاربری‌ها در سال ۲۰۴۰ با مطالعه توکلی و همکاران در سال ۲۰۲۴ که با استفاده از روش اتوماتای سلولی انجام شده، نتایج این تحقیق را نیز تأیید می‌نمایند. همچنین وضعیت تغییر کاربری صنعتی در اراک نیز شدیدتر از شهر ملایر می‌باشد، به طوری‌که در بین تغییر کاربری‌های مختلف، افزایش بی‌رویه سطح و سرانه کاربری صنعتی و معابر، خسارات بیش‌تری را متوجه شهر ملایر نموده - است (ابراهیمی و زمانی، ۱۴۰۰). البته شهر اراک نیز همانند سایر شهرها، بیش‌تر تبدیل کاربری‌ها در حاشیه شهرها و اراضی کشاورزی و فعالیت‌های صنعتی صورت خواهد گرفت. این روند باعث کاهش پوشش گیاهی و جنگل و در نهایت افزایش آلودگی‌ها و گردوغبار از اراضی مرتعی تبدیل کاربری شده به سایر کاربری‌ها می‌گردد و برکیفیت هوای کلان‌شهر اراک تأثیری شدیدی خواهد گذاشت.

راهکارها

با توجه به یافته‌های تحقیق حاضر، راهکارهای زیر پیشنهاد می‌گردد:

- ✓ براساس ماده ۱۴ قانون هوای پاک، صنایع بزرگ و آلاینده داخل شهر به شهرک‌های صنعتی اطراف بویژه خیرآباد منتقل شوند و اراضی این مناطق (حدود ۱۰۰۰ هکتار) به مناطق مسکونی و جنگلی تبدیل شود؛
- ✓ نوسازی بافت‌های فرسوده شهر اراک (حدود ۳۳۶ هکتار بافت فرسوده، ۴۵۳ هکتار سکونتگاه غیر رسمی و ۸۰ هکتار بافت تاریخی) از طریق استفاده از تسهیلات در نظر گرفته شده

برای بافت‌های فرسوده (نوسازی سالانه ۲۰ درصد) در قانون برنامه هفتم توسعه در اولویت برنامه‌ها قرار گیرد؛

✓ استفاده از اراضی بایر داخل و حاشیه شهر به منظور تأمین مسکن در شهر اراک صورت پذیرد؛

✓ گسترش تراکم‌سازی در محدوده شهری با رعایت تونل باد و دره شهر اراک از کوه‌ها به تالاب میقان و جریان‌های میکروکلیمای منطقه برای کاهش زمان اینورژن صورت گیرد؛

✓ گسترش شهر به سمت اراضی غیر قابل کشت و ایجاد زیرساخت لازم در این مناطق برای تشویق مردم به ساخت و ساز مدنظر قرار گیرد؛

✓ جلوگیری از ساخت و ساز بر روی اراضی مرغوب کشاورزی بویژه در مناطق دره نظم آباد، حسین آباد و بغدادی، سنجان، کرهرود، روستا مرزیجران، گاوخونی و جاده فراهان و کمربندی شمالی جدید صورت پذیرد؛

✓ جلوگیری از پیوستن روستاها و شهرهای اطراف به شهر اراک (شهر کارچان و روستاهای زیادی در اطراف شهر اراک وجود دارد) در نظر گرفته شود.

سپاسگزاری

از تمام استادان دانشگاه اراک و مدیر کل و کارشناسان اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان مرکزی و اداره کل حفاظت محیطزیست استان مرکزی و شهرداری اراک که همکاری داشته اند صمیمانه تشکر و قدردانی می‌گردد.

References

Arekhi, S. (2015). Prediction of spatial land use changes based on LCM in a GIS environment (A case study of Sarabeleh (Ilam), Iran. *Iranian Journal of Forest and Range Protection Research*, 12 (1), 1-19. (In Persian) Doi: 10.22092/IJFRPR.2015.11136.

Ebrahimi Boozani, M., & Zaman, A. (2022). An Analysis of the Feasibility of Land use Planning in the Malayer Master Plan. *Urban Ecology Researches*, 12(24),115-132. (In Persian) Doi: 20.1001.1.25383930.1400.12.24.7.4.

Ghahrodi Tali, M., Soleimani, M., Mirbagheri, B., & Esfandiari, M. (2018). Physical Development of Arak City Applying Natural features of the ground floor. *Natural Geography Journal*, 10(63), 17-29. (In Persian) Doi: 20.1001.1.20085656.1396.10.36.2.1

Ghobadeyan, Z., Alikhah Asl, M., & Rezvani, M. (2021). Investigating the Effects of Urban Development on Rangelands and Forests of Sirvan City Using Remote Sensing 1987-2016. *Urban Ecology Researches*, 21(11),107-120. (In Persian) Doi:10.30473/GRUP.2020.7475.

Heydarian, P., Rangzan, K., Maleki, S., & Taghi Zadeh, A.(2014). Application of remote sensing and GIS techniques and LCM model in modeling urban development (The case of Tehran metropolitan). *Journal of Arid Regions Geographic Studies*, 5(17), 87-100. (In Persian)

Hoseinzadeh Dalir, K., & Maleki, S. (2010). A comparative study of land uses change from 1993 to 2003 in a detailed and comprehensive plan of the city of Ilam. *journal Geography and Regional Development*. 8,65-93. (In Persian) https://doi.org/10.22067/geography.v5i8.4218.

Kakran, S. P. (2012). *Handbook for Flood Protection, Anti Erosion & River Training Work*. Flood Management Organization.

Lausch, A., & Herzog, F. (2002). Applicability of landscape metrics for the monitoring of landscape change: issues of scale, resolution and interpretability. *Ecological indicator*, 2(1-2), 3-15. https://doi.org/10.1016/S1470-160X(02)00053-5.

Mas, J. F**.,** Kolb, M**.,** Paegelow, M., & Camacho Olmedo, M. T. (2014). Inductive pattern-based land use/cover change models:A comparison of four software pacages. *Environment Modelling& Software*. 51, 94-111. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.09.010

Rahnama, M. R., & Shokouhi, M. A. (2017). Detection of land use / land cover changes in Gonbad-e-Kavus City using remote sensing. *Journal of "Geographical Data* (SEPEHR), 26(103), 147-160. (In persian) https://doi.org/10.22131/sepehr.2017.28900.

Saeednia, A. (2019). *Green Book of Municipalities, 2020 land use in Tehran*. Center for urban and rural planning studies. (In Persian)

Sahebgharani A., Mohamadi M. (2021). Simulation of Land Use Changes in Urban Fabrics with Integration of Monte Carlo Approach, Fuzzy Logic and Cellular Automata, Case Study: District 7th of Isfahan. *Urban Ecology Researches*, 12(23), 51-68. (In persian) Doi: 10.30473/GRUP.2021.8243.

Sharman Consulting Engineers. (2008). *The plan for locating the land needed for housing in Arak city*. Ministry of Roads & Urban Development (MRUD) of Markazi Province. (In persian)

Sundara, K., Harika, M., Aspiya begum, S. k., Yamini, S., & Bala Krishna, K. (2012). Land use and Land cover Change detection and Urban Sprawl Analysis of Vijayawada city using Multi-temporal Landsat Data. *International Journal of Engineering Science & Techology*, 4(1).

Tan, M., & Li, X. (2013). The changing settlements in rural areas under urban pressure in China: Patterns, driving forces and policy implications. *Landscape and Urban Planning*, 120, 170- 177. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.08.016.

Tavakoli, S., Rahmani, B., & Anabestani, A. A. (2024). Evaluation and prediction of land use changes in Arak and surrounding villages using hybrid cellular automata-Markov chain model. *Journal of Urban Peripheral Development* (JUPD). 6(12),1-22. (In Persian) Doi: 10.22034/JPUSD.2024.431320.1296.

Thapa, R. B., & Murayama, Y. (2011). Urban growth modeling of Kathmandu metropolitan region, Nepal. *Computers, Environment and Urban Systems*. 35(1), 25–34. https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2010.07.005.

Yu, W., Zang, S., Wu, C., Liu, W., & Na, X. (2011). Analyzing and modeling land use land cover change (LUCC) in the Daqing City, China, *Applied Geography*, 31,600-608. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2010.11.019.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی