Sustainable Urban & Regional Development Studies Quarterly

Volume 6, Issue 3 - Serial Number 21, Fall 2025 **Online ISSN: 2783-0764**
Journal Hompage: https://www.srds.ir/
https://www.srds.ir/article_215756.html?lang=en

Land use changes and simulation of urban growth and development (Case study: Ardabil city)[1]

Vahid Ghodousi [1], Hossein Nazmfar [2*], Mansour Rahmati [3]
1.Master's student, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
2. Professor of Department of Geogaraphy and Urban Planning University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil,Iran
3.Professor of Department of Geogaraphy and Urban Planning University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil,Iran

Received Date: 21 December 2024 **Accepted Date:** 21 February 2025

Abstract

Background and Aim Land use change modeling is an essential tool for environmental analysis, planning, and management. The main objective of this research is to investigate and evaluate land use changes in Ardabil city over a 23-year period (from 1998 to 2021). This goal is achieved by extracting land use maps for 1998 and 2021 through satellite images and obtaining the changes that have occurred in land use during this period.

Methodology: Land use change modeling is an essential tool for environmental analysis, planning, and management. The main objective of this research is to investigate and evaluate land use changes in Ardabil city over a 23-year period (from 1998 to 2021). This goal was achieved by extracting land use maps for 1998 and 2021 through satellite images and obtaining the changes that have occurred in land use during this period, and finally predicting these changes for 2038 using a Markov model.

Findings and Conclusion: This research was conducted with the aim of investigating the changes that have occurred in the land uses of the city of Ardabil. In this research, satellite images from the years 1998 of the Landsat TM sensor and 2021 of the Landsat OLI sensor were used to investigate the changes in land use between the years 1998 and 2021. Then, land use changes were predicted for the year 2038 according to the current trend of changes. This research showed that by using appropriate tools such as remote sensing and geographic information systems and the models and algorithms available in these systems and tools, we can have appropriate spatial and temporal modeling for land uses and related issues. This research also showed that if images with higher accuracy and better quality are used and multiple models are also used, we can witness a more detailed examination of such issues, which can definitely help urban managers, officials, and decision-makersforbetterplanninganddecision-making.The overall results showed that built-up areas had a decreasing trend and this trend will continue for the year 2038. Also, road use had a growing trend from the past to 2021, which will maintain its growing trend for the year 2038. Green space also had a growing trend and will continue for the year 2038.

Key words: remote sensing, CA-Markov, land use changes, Landsat, Ardabil, per capita.

[1] This article is extracted from the MA dissertation entitled "Land use changes and simulation of urban growth and development (Case study: Ardabil city)" at Mohaghegh Ardabili University) by the second author.

[*] **Corresponding Author:** Nazmfar@uma.ac.ir

Cite this article: Ghodousi, V. , Nazmfar, H. and Rahmati, M. (2025). Land use changes and simulation of urban growth and development (Case study: Ardabil city). Journal of Sustainable Urban & Regional Development Studies (JSURDS), 6(3), 168-185.

فصلنامه مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه ای

دوره ۶، شماره ۳، شماره پیاپی ۲۱، آذر ۱۴۰۳ شاپا:۰۷۶۴-۲۷۸۳

Journal Hompage: https://www.srds.ir/
https://www.srds.ir/article_215756.html?lang=fa

تغییرات کاربری اراضی وشبیه سازی رشد وتوسعه شهری (مطالعه موردی شهر اردبیل)[1]

وحیدقدوسی[1]، حسین نظم فر[2*]، منصور رحمتی[3]

۱.دانشجوی کارشناسی ارشد ، جغرافیا برنامه ریزی شهری ، دانشگاه محقق اردبیلی ، اردبیل، ایران.

۲. استاد ، گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه محقق اردبیلی ، اردبیل، ایران.

۳. استاد ، گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه محقق اردبیلی ، اردبیل، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۰۳

چکیده

زمینه و هدف: مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی، ابزاری ضروری برای تجزیه و تحلیل‌های زیست محیطی، برنامه ریزی و مدیریت محسوب می گردد. هدف اصلی از این پژوهش، بررسی و ارزیابی تغییرات کاربری اراضی شهر اردبیل در بازه زمانی ۲۳ساله (از سال۱۹۹۸ تا ۲۰۲۱) است که این هدف با استخراج نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۱۹۹۸ و ۲۰۲۱ از طریق تصاویر ماهواره‌ای و به دست آوردن تغییراتی که در این مدت در کاربری‌های اراضی حاصل شده است.

روش بررسی: مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی، ابزاری ضروری برای تجزیه و تحلیل‌های زیست محیطی، برنامه ریزی و مدیریت محسوب می گردد. هدف اصلی از این پژوهش، بررسی و ارزیابی تغییرات کاربری اراضی شهر اردبیل در بازه زمانی ۲۳ساله (از سال۱۹۹۸ تا ۲۰۲۱) است که این هدف با استخراج نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۱۹۹۸ و ۲۰۲۱ از طریق تصاویر ماهواره‌ای و به دست آوردن تغییراتی که در این مدت در کاربری‌های اراضی حاصل شده است و در نهایت پیش بینی این تغییرات برای سال ۲۰۳۸ بااستفاده‌ازمدل مارکوف انجام گرفته است.

یافته‌ها و نتیجه‌گیری: این پژوهش با هدف بررسی تغییرات رخ داده در کاربری‌های شهر اردبیل صورت گرفت. در این پژوهش از تصاویر ماهواره‌ای مربوط به سال‌های ۱۹۹۸ سنجنده TM لندست و ۲۰۲۱ سنجنده OLI لندست برای بررسی کردن تغییرات کاربری اراضی مابین سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۲۱ استفاده شد سپس پیش بینی تغییرات کاربری اراضی با توجه به روند تغییرات موجود برای سال ۲۰۳۸ انجام شد. این پژوهش نشان داد که می‌توان با استفاده از ابزارهای مناسب مثل سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل‌ها و الگوریتم‌های موجود در این سیستم‌ها و ابزارها، مدل سازی مکانی و فضایی مناسبی را برای کاربری‌های اراضی و مسائل مربوط به آن داشته باشیم، همچنین این پژوهش نشان داد که اگر از تصاویر با دقت بالاتر و کیفیت بهتر استفاده شود و مدل‌های متعدد نیز به کار گرفته شود می‌توان شاهد بررسی دقیق‌تر موضوعاتی از این دست بود که قطعاً می‌تواند کمک شایانی به مدیران و مسئولان شهری و تصمیم گیران برای برنامه ریزی و تصمیم گیری بهتر، برساند. نتایج کلی نشان دهنده این بود که مناطق ساخته شده روند کاهشی داشته و این روند برای سال ۲۰۳۸ نیز ادامه خواهد داشت، همچنین کاربری راه روند رو به رشدی از گذشته تا سال ۲۰۲۱ داشته که برای سال ۲۰۳۸ نیز روند رو به رشد خود را حفظ می‌کند، فضای سبز نیز روند روبه‌رشدمناسبی‌داشته‌وبرای‌سال۲۰۳۸نیزادامه‌خواهدداشت.

کلید واژه‌ها: سنجش از دور، تغییرات کاربری اراضی،مارکوف،لندست ، اردبیل، سرانه.

[1] این مقاله مستخرج از پایان نامه کارشناسی ارشد تحت عنوان تغییرات کاربری اراضی و شبیه سازی رشد وتوسعه شهری (مطالعه موردی شهر اردبیل در دانشگاه محقق اردبیلی نویسنده اول است.

* **نویسنده مسئول**: Nazmfar@uma.ac.ir

ارجاع به این مقاله: قدوسی, وحید , نظم فر, حسین و رحمتی, منصور . (۱۴۰۴). ۱۳.تغییرات کاربری اراضی وشبیه سازی رشد وتوسعه شهری (مطالعه موردی شهر اردبیل). فصلنامه مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه ای, ۶(۳), ۱۶۸-۱۸۵.

مقدمه و بیان مسأله

در سرتاسرجهان، کشورها به طورفزآینده‌ای درحال‌شهری شدن هستند ولی خدماتی که پاسخگوی نیازهای مختلف آنها باشد، به گونه ای مناسب، پاسخگوی شهروندان نیست. لذا یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های برنامه ریزان و مدیران شهری، نحوهٔ توزیع و تخصیص منابع و خدمات شهری به صورت عادلانه در سطح مناطق مختلف شهر نیازهای جامعهٔ برحسب شهری می‌باشد.

توزیع بهینهٔ خدمات، ارتباط‌مستقیمی‌بابرنامه‌ریزی‌کاربری‌اراضی‌دارد. رشد جمعیت شهرها همواره با تغییراتی درکالبد و محیط زیست شهری همراه بوده است. در ایران سیاست‌های رشد جمعیت در دوره های خاص، جاذبه زیاد شهرها و وجود عوامل دافعه در روستاها و به تبع آنها رشد مهاجرت از روستاها به شهرها، باعث تغییرات شگرفی در جمعیت شهرها گردیده است. این افزایش جمعیت باعث افزایش ساخت و سازهای شهری، به خصوص واحدهای مسکونی شده و این عامل به نوبه خود باعث تغییر سایر کاربری‌ها به اراضی مسکونی می شود. یکی از پیش شرط‌های اصلی جهت استفاده بهینه از زمین، اطلاع از الگوهای کاربری اراضی‌وآگاهی‌ازتغییرات‌هرکدام-ازکاربری‌هادرطول‌زمان‌است(فیضی‌زاده‌وهمکاران،۱۳۸۹).

تغییرات شهری به نظور بررسی وضعیت گسترش فیزیکی شهر و تخریب محیط زیست و جلوگیری از روند توسعه بی رویه شهر امروزه خیلی ضروری به نظر می رسد. برای پایش تغییرات شهری نیاز به اطلاعات جامع و دقیقی می باشد که از نتایج تحلیل آن برای برنامه ریزی و مدیریت شهری به منظور تصمیم‌گیری در ارائه خدمات و تسهیلات و همچنین جلوگیری از ساخت و سازهای غیرمجاز و خارج حریم تعیین شده، استفاده شود. در چند سال اخیر با پیشرفت فن آوری سنجش از دور، تصاویر ماهوارهای حاصل از این فن آوری کاربردهای فراوانی از جمله در مطالعات شهری دارند. از مهم‌ترین‌ویژگی‌های‌قرن‌حاضرتوسعه‌فناوری‌ورشدسریع‌شهرنشینی‌است. امروز در جهان، توسعه یافتن شهرها و شهرنشین شدن انسان‌ها، یکی از پدیده‌های قابل توجه است. این رشد سریع که در شهرها اتفاق می‌اُفتد که گاهاً از توانایی‌ها و منابعی که در اختیار مدیران در بخش اداره شهر است پیشی می‌گیرد، مدیران مذکور را برای ارائه دادن خدماتی مناسب در شهر برای شهروندان، دچار مشکل و چالش بزرگی کرده است. تحولاتی مانند آلودگی هوا، مشکلات موجود در رفت و آمد، ناامنی‌های اجتماعی، تراکم جمعیّت و ... تنها قسمتی از مشکلاتی است که صاحب‌نظران‌وکارشناسان‌دراین‌زمینه‌ها رابا مشکل مواجه‌کرده‌است.

در سال های اخیر رشد شهرنشینی در ایران و افزایش مها جرت به شهرهای بزرگ کشور باعث گسترش ناگهانی و غیرطبیعی این‌شهرها وتخریب زمین‌های‌حاصلخیزومنابع‌طبیعی‌شده‌وآسیب‌های‌جبران‌ناپذیری‌به‌طبیعت‌واردکرده‌است. از تحولاتی که در حوزه مدیریت در شهر رخ می‌دهد، تغییر در زمینه کاربری اراضی می‌باشد که بدون این که قابلیت اراضی و پتانسیل و استعداد آن‌ها در نظر گرفته شود تاثیرات منفی خیلی زیاد همانند آلوده شدن منابع زیستی، قطع شدن درختان، زیاد شدن زمین‌های بایر، دگرگونی و تخریب اراضی و ... را با خود داشته است که بعضاً این تاثیرات منفی غیر قابل جبران بوده‌اند (محمودی،۱۳۹۷). کاربری اراضی هر گونه استفاده از زمین که برای رفع نیازهای مختلف انسانی است را شامل می‌شود (امیدی پور و همکاران،۱۳۹۲).

امور و فعالیت‌های مرتبط با کاربری اراضی برای برنامه‌ریزان شهری و محیط زیستی موضوع بسیار مهمی در راستای ایجاد یک محیط سالم با رشد اقتصادی پایدار بشمار می‌آید. تغییرات در کاربری اراضی به عنوان یک روند کاملا" موثر در محیط‌های شهری مطرح است که این تغییرات معمولا" ناشی از فعالیت های انسانی رخ می دهد(عبدالهی و همکاران،۱۳۹۸)" از آن جهت که تغییرات اتفاق افتاده برگشتی نخواهند داشت به دست آوردن اطلاعات صحیح و به روز از این‌تغییرات‌وروندآن‌هاازمهم‌ترین‌عوامل‌درتصمیم‌گیری‌ها،برنامه-ریزی‌هاوابزارهای‌مدیریتی‌درهرسازمانی‌است(حقوقی‌فرد و همکاران،۱۳۹۳).

یکی از محورهای اصلی برنامه ریزی شهری برنامه ریزی کاربری زمین است که همراه با برنامه‌ریزی شبکه ارتباطی،فضای سبز، فضای مسکونی، تأسیسات و غیره استخوان بندی اصلی شهر و نحوه توسعه آتی آن را مشخص می کند. پژوهشات مربوطه در ارتباط با ساخت شهرها که در دهه‌های اخیر انجام شده است نشان داده که بدون وجود برنامه‌ریزی برای کاربری اراضی به یک الگوی بهینه و مناسب برای زیست در داخل شهر نمی‌توان دست پیدا کرد. در واقع برنامه‌ریزی کابری اراضی شهری یعنی این که بر پایه نیازهای ضروری جامعه شهری، فعالیت‌ها و عملکردهای موجود در شهر و همچنین فضا و مکان ساماندهی شوند(حسین پناهی،۱۳۹۰) .

در تمام شهرهای جهان گسترش و توسعه شهر در جهات عمودی و افقی یکی از مسائل مورد توجه مدیران و برنامه ریزان شهری می باشد. این مبحث در ادبیات علمی قدمتی کمتر از صدسال دارد. به طور دقیق کاربرد این اصطلاح از اواسط قرن بیستم متداول شد و آن زمانی بود که استفاده بی رویه از اتومبیل متداول گشت و بخش اعظم اعتبارات شهری به سوی گسترش بزرگراه ها و بسط فضاهای شهری سوق یافت(Hess[1] ,۲۰۰۱:۴) علاوه بر عامل جمعیتی نیروهای بازاری و واکنش دولت در برابر بازار نیزاز عوامل مؤثر درگسترش فیزیکی شهرهاست.

گسترش و توسعه شهر باعث تغییراتی در کاربری اراضی شهری می شود. و مسلما هر چقدر میزان گسترش و توسعه شهر بیشتر باشد تغییرات ایجاد شده در کاربری اراضی نیز به تبع آن بیشتر خواهد شد. مدیریت کردن در زمینه کاربری‌های اراضی نیازمند ارزیابی کردن درست و دقیق استعدادها و پتانسیل‌های کاربری اراضی در ارتباط با خدماتی است که جامعه به آن نیازد دارد. به همین دلیل اولویت‌هایی که برای استفاده کردن به هر واحد زمین داده می‌شود باید بر مبنای همین ارزیابی‌های دقیق ازپتانسیل‌ها وتمام‌استفاده‌های ممکن از هر واحد زمین‌باشد(محمدیاری،۱۳۹۴).

مسئله کاربری اراضی یکی از چالش‌ها و موضوعات بسیار با اهمیت برای مهندسین غیرشهری یعنی محیط شناسان و مهندسان شهری محسوب می‌شود که برای طراحی کردن شهری طبیعت محور که با رشد اقتصادی پایدار همراه باشد مورد نیاز است. دلیل‌هایی که موجب تغییر در کاربری‌های اراضی می‌شود امکان دارد در نتیجه ایجاد تغییرات در محیط و یا رشد اجتماعی– اقتصادی و یا هر دو عامل ذکر شده باشد. داده‌های مربوط به کاربری اراضی و نوع پوششی‌که زمین دارد در واقع مبنای اهداف وسیاست‌گذاری‌ها ،برنامه‌های درارتباط باسطح زمین‌وفعالیت‌های‌مختلف‌مدیریتی‌هستند.

شناسایی دقیق پوشش زمین و خصیصه‌های مربوط به کاربری اراضی پایه و اساس مدیریت زمین می‌باشد. بر همین مبنا متخصصان مختلف در زمینه‌هایی همچون برنامه‌ریزی شهری، و خاک و آب، داده‌هایی در ارتباط با تغییرات پوشش زمین و نوع وتوزیع وهمچنین میزان‌مساحت‌ومکان‌کاربری‌های‌اراضی‌جمع‌آوری‌می‌کنند(مجیدیان،۱۳۹۴).

پیشینه پژوهش

در زمینه همین پژوهشی که ما دنبال می‌کنیم، پژوهش‌ها و کارهایی هم در داخل کشور و هم در خارج از کشور به انجام رسیده است که در زیر به طور خلاصه به برخی از آن اشاره می‌شود. یوسفی و همکاران (۱۳۹۰) با استفاده از داده‌های ETM+ و TM تغییرات کاربری‌های شهر مریوان را طی یک دوره ۱۶ ساله با استفاده از روش طبقه بندی حداکثر احتمال مورد بررسی قرار دادند، نتایج نشان داد طی دوره مورد مطالعه ۲۴/۱۱ درصد اراضی دارای تغییر بوده است که بیشترین تغییرات مربوط به اراضی کشاورزی و جنگلی بوده است.

احمد نوحه گر و همکاران (۱۳۹۱) به برر سی تأثیر تغییر کاربری ارا ضی بر پتان سیل سیل خیزی حوزه آبریز تنگ بـ ستانک شیراز پرداختند. آن‌ها ضمن بررسی تغییرات کاربری اراضی صورت گرفته، به شناسایی و پهنه بندی عرصه‌های سیل خیز و تغییرات آن در یک دوره ۱۸ ساله پرداختند. در این مطالعه چگونگی تبدیل بارندگی به بارندگی مازاد تحت عنوان شماره منحنی(CN) مورد توجه قرار گرفته است. درارزیابی تغییرات کاربری اراضی صورت گرفته و تأثیر آن بروی تغییرات بالقوه سیل خیزی، طبق نتایج بدست آمده طی این دوره ۱۸ ساله حوزه مذکور ۹ درصد سیل خیزتر شده است.

طاهری‌وهمکارانش(۱۳۹۲)،به‌منظورمدل‌سازی‌کردن‌تغییرات‌اتفاق‌افتاده‌درکاربری‌های اراضی شهرستان تبریز، از تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۳۶۷، ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ که متعلق به سنجنده لندست بود و همچنین از مدل ساز تغییرات کاربری اراضی سرزمین استفاده

1.HESS

کردند. نتیجه حاکی از آن بود که وسعت مناطق مسکونی و شهری در بازه ۲۷ ساله مورد نظر تقریباً ۵۱۹۵ هکتار افزایش را به خود دیده است و بیش‌ترین سهم را در تبدیل شدن اراضی به مناطق مسکونی و شهری، زمین‌های کشاورزی، مرتعی درجه یک، در نهایت شوره زارها و زمین‌های بایر، به ترتیب با ۳۴۸۸ هکتار، ۱۰۰۷ هکتار و ۴۸۸ هکتار داشته‌اند.

مرضیه مسیبی و محسن ملکی(۱۳۹۳) در پژوهشی، پایش تغییرات کاربری اراضی با استفاده از داده‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی را در شهرستان اردبیل طی بازه زمانی ۲۵ سال مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که سطح کاربری‌های زراعت آبی، باغات، مناطق مسکونی، صنعتی و نیز اراضی بایر در فاصله سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۰ افزایش یافته و در مقابل سطح کاربری‌های جنگل، مرتع و اراضی دیم روندی کاهشی داشته است.

داداش پور و همکارانش (۱۳۹۳) با استفاده کردن از مدل MOLAND تغییرات کاربری زمین در کلانشهر تهران را مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش از داده‌های کاربری زمین در تاریخ‌های ۱۳۶۵، ۱۳۷۵ و ۱۳۸۵ استفاده کردند و عملیات راستی آزمایی و کالیبراسیون مدل را از روی همین داده‌ها انجام دادند. نتیجه حاکی از آن بود که مدل مورد نظر بعد از طی کردن مراحل معتبر سازی، توانایی مناسبی را برای مدل سازی کردن تغییرات کاربری زمین و پیش بینی این تغییرات را در یک بازه زمانی ۲۰ ساله دارا می‌باشد. همچنین تغییر کردن زمین‌های کشاورزی و کاربری‌های بایر به کاربری‌های صنعتی و مسکونی و کاربری‌هایی که به این دو کاربری وابسته هستند از مهم‌ترین تغییراتی است که در کاربری زمین منطقه مورد نظر رخ داده است که بیش‌تر این تغییرات در کناره‌های کاربری‌های موجود در شهر، و در بخش‌های غرب و جنوب غرب و جنوب کلانشهر تهران اتفاق افتاده است.

رسولی (۱۳۹۴) در طی پژوهشی تغییرات رخ داده در کاربری اراضی محدوده شهر سردشت را با استفاده کردن از سیستم اطلاعات جغرافیایی تحلیل و بررسی کرد. طبق روال در اول کار وضع موجودی که در کاربری‌ها وجود داشت مورد بررسی قرار گرفته است و در ادامه پژوهش عواملی که موجب تغییر در کاربری‌های اراضی شهر شده‌اند به سه دسته عامل جمعیتی، عامل قانونی، عامل اقتصادی تقسیم کرده و نهایت نتیجه‌ها حاکی از آن بود که مهم‌ترین عامل‌های تغییر در کاربری‌های سطح شهر سردشت ،عامل‌جمعیت و کاربری‌های نظامی‌بوده‌اند.

گان و همکاران در یک پژوهشی در سال (۲۰۱۱) با استفاده از ترکیب مدل های CA و تحلیل زنجیره مارکوف اقدام به مدل سازی و شبیه سازی تغییرات کاربری زمین شهر ساگا ژاپن کردند. محققان در این پژوهش با استفاده از فاکتورهای طبیعی و اجتماعی - اقتصادی مثل شیب، ارتفاع، فاصله از نزدیک‌ترین رودخانه، فاصله از نزدیک‌ترین جاده، تراکم جمعیت وقیمت‌زمین‌اقدام‌به‌شبیه‌سازی رشدشهری‌تاسال‌های۲۰۴۲کردند.

هایبو و همکارانش (۲۰۱۱) در یک دوره هفت ساله، تغییرات رخ داده در کاربری اراضی شهرستان تیان را با استفاده از تصاویر ماهوارهای و فناوری‌های سنجش از دور و همچنین استفاده از مدل زنجیره مارکوف مدل‌سازی و پیش بینی کردند. نتایج حاکی از آن بود که علت اصلی در تغییرات کاربری اراضی این شهرستان شهرنشینی و صنعتی شدن و افزایش جمعیت بوده است.

لئو و همکارانش (۲۰۱۴) در منطقه کارستی که در جنوب غربی چین بود پژوهشی را برای بررسی تاثیرات زیست محیطی تغییرات کاربری اراضی ناشی از سیاست در منطقه مورد نظر و شهرنشینی را انجام دادند. نتایج حاکی از این بود که زمین‌هایی که در این منطقه به اراضی بایر، مرتع، زراعی و مناطق آبی به ترتیب با مساحت‌های ۱۳/۶۱ کیلومتر، ۲۲/۹۶ کیلومتر، ۲۴۳/۰۴ کیلومتر، ۲/۰۶ کیلومتر اختصاص داده شده بود کاهش داشته است در حالی که به وسعت ساخت و ساز ها و اراضی جنگلی با ۱۲۷/۸۲ و ۱۵۳/۸۵ کیلومتر اضافه شده است.

گانگ و همکارانش (۲۰۱۵) با استفاده از مدل سلول‌های خودکار مارکوف و همچنین با استفاده از فناوری‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، الگوی فضایی استفاده از زمین در شهر هاربین را تحلیل و بررسی و مدل سازی کردند. آن‌ها بدنیال یک برنامه مدیریتی برای آینده مورد نظرشان بودند. ایشان برای انجام کارشان از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده های TM و ETM مربوط به سال‌های ۱۹۸۹، ۲۰۰۱ و ۲۰۰۷ بهره بردند. نتیجه‌ها حاکی از آن بود که در بازه زمانی مورد نظر قسمت زیادی از گندم زارهای منطقه به اراضی

مسکونی تبدیل گشته‌اند. افزایش جمعیت و نیاز داشتن به مسکن و غذا باعث شده است مراتع و اراضی جنگلی به نفع مناطق مسکونی کاهش وسعت داشته باشند.

هالمی و همکارانش (۲۰۱۵)، با استفاده از مدل سلول‌های خودکار مارکوف، به مطالعه تغییرات و پیش بینی کردن آن‌ها در رابطه با پوشش زمین در بیابان‌های ساحلی شمال غربی مصر پرداختند. نتیجه این بود که استفاده کردن از مدل سلول‌های خودکار مارکوف شیوه‌هایی را برای طراحی کردن برنامه‌های مختلف برای آینده به ما معرفی می‌کند. این تکنیک برای پیش بینی کردن توزیع شاخص LULC در سال ۲۰۱۱ و مقایسه نتیجه‌های بدست آمده با LULC واقعی در سال ۲۰۱۱، موفق بوده است. پروژه LULC برای سال ۲۰۲۳ توسعه بسیار بالقوه در اراضی در جهت شمال و غرب، زیاد شدن در معادن، و رشد در مرکزهای شهری را نشان داد.

(فو و همکاران، ۲۰۱۸)، در پژوهشی؛ فاکتورهای مناسب برای شبیه سازی بهتر تغیرات و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی بر اساس مدل CA مارکوف را مورد بررسی قرار دادند. برای این منظور از معیار ارزیابی چند معیاره استفاده کردند. این شاخص و نتایج بدست آمده از آن مستقیماً در اجرای مدل سلول خودکار - مارکوف به کار برده می‌شود. فو و همکارانش به منظور شبیه‌سازی کردن تغییرات کاربری زمین از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۱ از نتایج شیوه ارزیابی چند معیاره به عنوان ورودی مدل CA-Markov بهره بردند. نتیجه‌ها حاکی از این بود که استفاده از ارزیابی چند معیاره در مرحله کالیبراسیون دقت پیش‌بینی راافزایش‌می‌دهد.

لیی و همکاران، ۲۰۱۹)، با استفاده از مدل CA-Markov و تصاویر سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۱۷ به پیش‌بینی تغییرات کاربری در سال ۲۰۲۵ و ۲۰۳۰ در منطقه آنگکور در کشور کامبوج پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد که منطقه شهری از ۲۸/۲۳ کیلومترمربع در سال ۲۰۰۴ به ۷۳/۵۶ کیلومترمربع در سال ۲۰۱۷ افزایش یافته است که افزایش ۱۶۰ درصد را نشان می‌دهد. همچنین مساحت مناطق انسان ساخت تا سال ۲۰۲۵، ۱۳۵/۰۹کیلومتر مربع و تا سال ۲۰۳۰، ۱۵۹/۱۴ کیلومتر مربع خواهد رسید.

ناس و همکاران، ۲۰۲۰)، با استفاده از تصاویر لندست ۵ سال ۲۰۰۷ و لندست ۸ سال ۲۰۱۸ به پیش‌بینی تغییرات سال‌های ۲۰۲۵ ، ۲۰۳۰ و ۲۰۴۰ با استفاده از روش CA-Markov در دوجیانگیان و حومه آن پرداختند. آن‌ها در انتها پیشنهاداتی را برای کاهش اثرات تخریب محیط‌زیست ارائه کردند. نتایج پژوهش نشان داد که تغییرات مناطق انسان ساخت در سال ۲۰۱۸ - ۲۰۲۵، ۱/۱۱ درصد، ۲۰۳۰-۲۰۲۵، ۰/۵۹ درصد و ۲۰۴۰-۲۰۳۰، ۰/۱۱ درصد کاهش پیدا خواهد کرد.

ضرورت‌پژوهش

بیشتر کشورها برای فائق آمدن بر مشکلات ناشی از رشد و توسعه سریع و پراکنده شهری سیاست ها و برنامه‌ریزی توسعه یافته ای را به کار بسته‌اند. از جمله این سیاست‌ها، برنامه‌ریزی شامل پیش بینی تغییرات با گرایش ها به سمت توسعه و گسترش در آینده با استفاده از مدل‌سازی و شبیه‌سازی شهری است. بدین دلیل مطالعه ی پدیده رشد و پراکندگی شهری با کمک مدل‌سازی های مبتنی بر داده‌ها و اطلاعات زمانی و مکانی اهمیت یافته است. سنجش از دور ماهواره‌ای موجب فراهم آمدن داده های چند طیفی و چند زمانه ای شده است که هم از نظر هزینه کارآمد هستند و هم اطلاعات ارزشمندی را برای درک و فهم و پایش الگوها و پروسه های توسعه زمین به دست می دهند و مجموعه‌ای از داده های پوششی و کاربری زمین را نیز به وجود می آورند این داده ها می توانند برای تعیین نوع، مقدار و عمل تغییر کاربری زمین مورد استفاده قرار گیرند(خوش گفتار و دیگران،۱۳۸۹:۱۷).اهمیت زمین و کاربری اراضی زمین موقعی بیشتر آشکار می‌شود که بر روی مسئله رشدشهر و شهرنشینی و افزایش جمعیت در شهرها و میزان و اندازه پراکندگی شهرها تمرکز بیشتری انجام گیرد. این مسئله یعنی رشد بحرانی شهرها درواقع نتیجه‌ای ازسطح بالای‌شهرسازی است که‌در کل‌جهان وجوددارد(حسینی،۱۳۹۱).

روند بوجود آمدن شکاف بسیار بزرگ اقتصادی بین جوامع شهری و روستایی، مهاجرت بسیار گسترده از همه روستاها به سمت شهرها را در پی داشته است که همین عامل موجب رشد بسیار سریع جمعیت شهرها و همچنین تعداد شهرها شده است. جاذبه‌هایی که در شهر وجود دارد و همچنین دگرگونی‌هایی که در اقتصاد رخ می‌دهد و نیاز به نیروی کار در شهرها را افزایش می‌دهد، در کنار عوامل

دفع کننده در روستا که بعد از اصلاحات ارضی بیشتر هم نمود پیدا کرد، باعث کاهش شدید شاغلین روستایی وکشاورزی شده‌وبه‌سمت شهر مهاجرت‌کرده‌اند.(حسین‌پناهی،۱۳۹۰).

در همه جهان رشد وسعت مکانی و جمعیتی شهرها را شاهد بوده‌ایم و همین عوامل، عامل بوجود آمدن تغییرات در چهره و منظره شهر می‌شود. (چترسیماب، ۱۳۹۷). اطلاع داشتن از نسبت این تغییرات در گذر زمان و نحوه تغییراتی که بوجود آمده از مهم‌ترین موضوعات در برنامه‌ریزی‌ها به شمار می‌رود. این آگاهی به مدیران کمک می‌کند که بدانند آیا تغییراتی که بوجود آمده با اهدافی که برنامه‌ریزی کرده‌اند هماهنگی دارد و یا اینکه در نقطه مقابل این اهداف بوده و در تضاد است. در صورت مغایرت داشتن با اهداف اقدامات لازم برای کنترل عوامل این تغییرات انجام شود. بر همین اساس بررسی کردن تغییرات کاربری اراضی وپوشش اراضی‌و تهیه‌کردن نقشه برای مدیریت بهتر و برنامه‌ریزی کردن ازنیازهای‌اساسی‌به‌شمارمی‌آید(محمدیاری،۱۳۹۴).

شهر اردبیل در دهه های گذشته با توجه به در مرکزیت قرار گرفتن استان، مهاجرت‌های بی رویه روستا شهری، نرخ بالای رشد جمعیت، عدم سیاست گذاری های صحیح و متناسب با استاندارهای شهرسازی و عدم رعایت سرانه ها و تراکم های شهری تغییرات زیادی را در کاربری های اراضی خود تجربه نموده است، بطوریکه فضای مسکونی نسبت به سایر کاربری‌ها تغییرات زیادی داشته است. این امر باعث گردیده است تا زمین های کشاورزی مرغوب زیادی از شهراردبیل زیر ساختمان سازی‌های غیراصولی شهری‌قرارگیرد .پژوهش‌حاضرپاسخ‌به‌پژوهش‌راموردبررسی‌وپاسخ‌قرارداده‌است:

- کدام کاربری بین کاربری‌های اراضی در شهر اردبیل بیشترین تغییرات را در ۱۷ سال آینده ۲۰۲۱ تا۲۰۳۸ خواهد داشت؟

محدوده مورد مطالعه

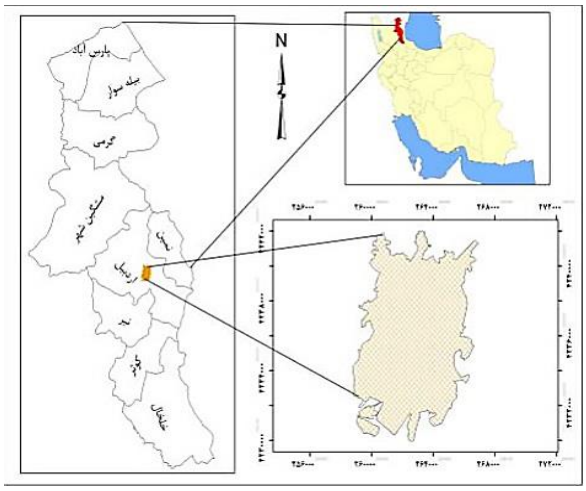
محدوده مطالعاتی شهر اردبیل بوده که در استان اردبیل واقع است. شهر اردبیل در شمال غربی ایران قرارگرفته است. شهر اردبیل در میان دشتی با همین نام و در میان کوه‌های تالش و سبلان در شمال غرب فلات ایران جای گرفته و دارای زمستان‌های سردوتابستان‌های‌معتدل‌است.

اردبیل از شهرهای ایران و مرکز استان اردبیل[1] در شمال باختری ایران است. این شهر همچنین مرکز شهرستان اردبیل است .اردبیل از شهرهای باستانی و تاریخی ایران است. این شهر در نزدیکی مرز جمهوری آذربایجان بوده، دارای ارتفاع زیاد و از سردترین شهرهای ایران است که جاذبه های طبیعی‌زیادی‌دارد.زبان‌مردم‌استان‌اردبیل‌ترکی‌آذربایجانی‌است .ارتفاع شهر از سطح آزاد دریا ۱۲۶۳ متر و فاصله اردبیل تا کوه سبلان ۴۰ کیلومتر است.قله سبلان از زیباترین قلل جهان و دامنه آن از دیدنی‌ترین کوهپایه‌های آسیا به شمار می رود. شهر اردبیل در مختصات ۳۸درجه و ۲ دقیقه الی ۳۸ درجه و ۸دقیقه عرض جغرافیایی و ۴۸ درجه و ۵ دقیقه الی ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه طول جغرافیایی قرار دارد. مختصات مرکز شهر حدود ۳۸ درجه و۵دقیقه وعرض‌جغرافیایی ۴۸درجه‌و۸ دقیقه طول جغرافیایی‌است.

به طور کلی محدوده اصلی شهر اردبیل از نظر پهنه بندی در یـک محـدوده تقریبا مسطح قرار داشته و درصد شیب عمومی شهر صفر تا ۲درصد است که با حرکت به سمت شمال شهر، از درصد شیب کاسته میشود. میزان ارتفاع شهر از سطح دریا و شیب ملایم آن با توجه به شرایط آب و هوایی اردبیل ، تأثیرات عمـدهای را بـر شرایط زیست محیطی و کالبدی شهر بر جای گذارده که کمابیش در مناطق مختلف شهر، شرایط نسبتا مشابهی می‌باشند. مهمترین تفاوتی که در این زمینه میتوان مشاهده نمود، گرایش توسعه کالبدی شهر به سمت جنوب و نیز شمال می باشد. حاشیه های جنوبی شهر، دارای ارتفاع بیشتری نسبت به سایر مناطق شهر اسـت و از نظـر

1Ardabil

آب و هوایی با توجه به رطوبت شدید هوای شهر، امکان آسایش بیشتری سازد ودرضمن فاقدمشکلات آبگرفتگی شمال شهراست.(منبع- پایگاه چهارگوشه ایران زیبا)



محدوده مورد مطالعه شهر اردبیل

روش پژوهش

در این پژوهش ابتدا تصاویر مربوط به سال‌های ۱۹۹۸ با سنجنده TM[1] و تصاویر سال ۲۰۲۱ با سنجنده OLI [2] لندست ۸[3] توسط سایت دانلود و محدوده مورد نظر از تصاویر مربوطه را توسط سایت earth explorer [4] استخراج شد. به منظور انجام فرآیند طبقه‌بندی کاربری اراضی ابتدا محل مورد مطالعه از این تصاویر برش می دهیم و سپس ابتدا باید پیش‌پردازش‌هایی برای رفع خطاهای رادیومتریکی و اتمسفری موجود در تصویرها انجام می‌گرفت، بعد از آن نمونه‌های تعلیمی با کمک گرفتن از نرم افزار Google Earth[5] و همچنین بازدید میدانی برداشت شد. سپس فرآیند کلاس‌بندی انجام شده و طبقه‌بندی کاربری اراضی‌در تصاویر با استفاده از یکی از الگوریتم‌های طبقه‌بندی نظارت شده با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، در ۶ طبقه بدست میاریم که این طبقه ها عبارتند ۱-ساخته شده ۲- محدوده آبی ۳- فضای سبز ۴-شبکه راه ۵- اراضی بایر ۶- در حال ساخت انجام گرفت. میزان دقت طبقه‌بندی انجام شده با استفاده از عناصر ماتریس خطا یعنی دقت کلی و ضریب کاپا مورد ارزیابی قرار گرفت، در هر دو تصویر؛ طبقه‌بندی انجام شده دارای دقت بالا و مورد قبولی بود، سپس با استفاده از تصاویر طبقه‌بندی شده میزان تغییرات در بازه زمانی برای سال ۲۰۳۸ بررسی و توسط نرم افزار Idrisi Selva [6] بعد از آن از این تصاویر طبقه‌بندی شده برای پیش‌بینی تغییرات کاربری‌اراضی‌استفاده شدودر نهایت با استفاده کردن از ArcGis[7] نقشه‌نهایی‌پیش‌بینی‌شده‌کاربری‌هااستخراج‌شد.

1.Thematic Mapper
2.Operational Land Imager
3.Landsat 8
4. Earth explorer
5. Google Earth
6.Idrisi Selva
7. ArcGis

روش‌های استفاده شده در پژوهش

در این پژوهش ابتدا تصاویر مربوط به سال‌های ۱۹۹۸ با سنجنده TM و تصاویر سال ۲۰۲۱ با سنجنده OLI لندست ۸ توسط سایت دانلود و محدوده مورد نظر از تصاویر مربوطه را توسط سایت earth explorer استخراج شد. به منظور انجام فرآیند طبقه‌بندی کاربری اراضی ابتدا محل مورد مطالعه از این تصاویر برش می دهیم و سپس ابتدا باید پیش‌پردازش‌هایی برای رفع خطاهای رادیومتریکی و اتمسفری موجود در تصویرها انجام می‌گرفت، بعد از آن نمونه‌های تعلیمی با کمک گرفتن از نرم افزار Google Earth و همچنین بازدید میدانی برداشت شد. سپس فرآیند کلاس‌بندی انجام شده و طبقه‌بندی کاربری اراضی در تصاویر با استفاده از یکی از الگوریتم‌های طبقه‌بندی نظارت شده با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، در ۶ طبقه بدست میاریم که این طبقه ها عبارتند ۱-ساخته شده ۲- محدوده آبی ۳- فضای سبز ۴-شبکه راه ۵- اراضی بایر ۶- در حال ساخت انجام گرفت. میزان دقت طبقه‌بندی انجام شده با استفاده از عناصر ماتریس خطا یعنی دقت کلی و ضریب کاپا مورد ارزیابی قرار گرفت، در هر دو تصویر؛ طبقه‌بندی انجام شده دارای دقت بالا و مورد قبولی بود، سپس با استفاده از تصاویر طبقه‌بندی شده میزان تغییرات در بازه زمانی برای سال ۲۰۳۸ بررسی و توسط نرم افزار Idrisi Selva بعد از آن از این تصاویر طبقه‌بندی شده برای پیش‌بینی تغییرات کاربری‌اراضی‌استفاده شدودر نهایت با استفاده کردن ازArcGisنقشه‌نهایی‌پیش‌بینی‌شده‌کاربری‌هااستخراج‌شد.

تجزیه‌وتحلیل‌داده‌ها

در طول این پژوهش و پژوهش به دست آمده است، بعد از دانلود کردن تصاویر ماهواره‌ای مربوط به سال‌های ۱۹۹۸ و ۲۰۲۱، و اعمال تصحیحات اولیه بر روی تصاویر، این تصاویر با مدل شبکه عصبی مصنوعی طبقه بندی شدند که دارای دقت قابل قبولی بودند، بعد از آن از تصویرهایی که طبقه بندی شدند برای پیش بینی تغییرات کاربری اراضی در آینده استفاده شد، که این امر بااستفاده ازمدل‌های مارکوف وسلول‌های‌خودکارمارکوف‌به‌نتیجه‌رسید.

طبقه بندی تصاویر

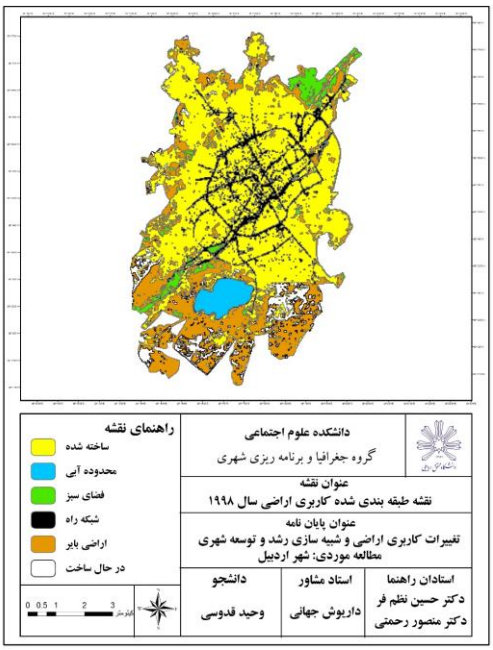
در این پژوهش از مدل طبقه بندی شبکه عصبی مصنوعی‌که در دسته طبقه بندی نظارت شده قرار می‌گیرد استفاده شد. ورودی طبقه بندی نظارت شده نمونه‌های تعلیمی است که با توجه به کلاس‌هایی که از قبل باید مشخص شده باشند، برداشت می‌شوند. هر دسته از نمونه تعلیمی با توجه به وسعت هر کلاس به میزانی برداشت شده است که نتیجه نهایی از دقت کافی برخوردار باشد، برای اینکه نمونه برداری با دقت بیشتری انجام شود از نرم افزار Google Earth هم استفاده شد. با توجه به تصاویر ماهواره‌ای، ۶ کلاس(طبقه) برای این تصاویر به منظور طبقه بندی کردن در نظر گرفته شد.

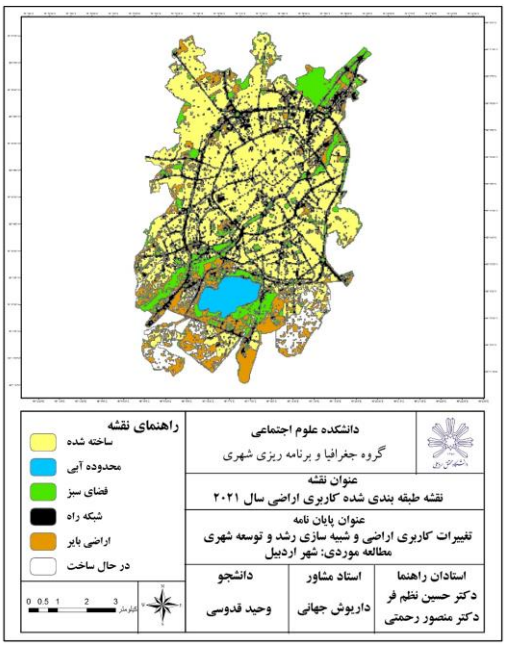
این ۶ کلاس(طبقه) شامل: ۱- کاربری‌های ساخته شده، ۲- محدوده آبی، ۳- فضای سبز، ۴- راه، ۵- بایر و ۶- در حال ساخت است. بعد از طبقه بندی کردن تصاویر ماهواره‌ای میزان وسعت هر یک از کاربری‌ها در سال‌های ۱۹۹۸ و در سال ۲۰۲۱ و اختلاف وسعت‌آن‌هابه‌دست‌آمدکه‌درجدول۱می‌توان‌آن‌رامشاهده‌کرد.

جدول۱-مساحت کاربری‌های استخراج شده و تغییرات نسبت به قبل برای سال‌ها ۱۹۹۸ و ۲۰۲۱

کاربری	مساحت در سال ۱۹۹۸	مساحت در سال ۲۰۲۱	تغییرات	روند
ساخته شده	۳۳۹۵/۷۹	۳۰۳۰/۱۲	۳۶۵/۶۷	کاهشی
محدوده آبی	۱۷۸/۵۶	۱۹۵/۷۵	۱۷/۱۹	افزایشی
فضای سبز	۲۷۲/۹۷	۷۷۰/۴۰	۴۹۷/۴۳	افزایشی
راه	۵۹۵/۸۰	۱۱۷۲/۳۴	۵۷۶/۵۴	افزایشی
بایر	۱۵۷۹/۲۳	۸۶۳/۰۱	۷۱۶/۲۲	کاهشی
در حال ساخت	۳۷۶/۶۵	۳۵۸/۳۸	۹/۲۷	کاهشی
جمع	۶۳۹۰	۶۳۹۰	*	*

اعداد با دقت در جدول بالا می‌بینیم که اراضی ساخته شده بیشترین وسعت در محدوده مورد نظر را هم در سال ۱۹۹۸ و هم در سال ۲۰۲۱ دارا بوده که این اراضی با کاهش وسعت برای سال ۲۰۲۱ همراه بوده است. اراضی بایر برای سال ۱۹۹۸ در رتبه دوم بیشترین وسعت از منطقه است اما برای سال ۲۰۲۱ با روند کاهشی رو به رو بوده که ۷۱۶/۲۲ هکتار در اراضی خود کاهش داشته و در رتبه سوم در سال ۲۰۲۱ قرار گرفته است. در سال ۲۰۲۱ راه در رتبه دوم بیشترین وسعت از سطح منطقه است که ۵۷۶/۵۴ هکتار نسبت به سال ۱۹۹۸ بر وسعت آن افزوده شده است. محدوده آبی دارای کمترین وسعت هم در سال ۱۹۹۸وهم‌درسال۲۰۲۱است‌که‌البته‌برای‌سال۲۰۲۱باافزایش‌وسعت‌همراه‌بوده‌است.





صحت سنجی تصاویر طبقه بندی شده

برای صحت سنجی تصویرهای ماهواره‌ای از صحت کلی و ضریب کاپا که جزء شاخص‌های تفسیر خطا هستند استفاده شد، علاوه بر آنها سایر شاخص‌های تفسیر خطا مثل دقت کاربر و دقت تولید کننده در محیط نرم افزار[1] Envi به دست آمد، شاخص‌های ذکر شده در ماتریسی موسوم به ماتریس خطا جای می‌گیرند. شاخص‌های ذکر شده را در ارتباط با تصویر طبقه بندی شده سال ۱۹۹۸ در جدول می‌توان مشاهده کرد.

1. Envi

جدول۲- ماتریس خطا مربوط به تصویر طبقه بندی شده سال ۱۹۹۸

کاربری	دقت تولید کننده (درصد)	دقت کاربر (درصد)	صحت کلی (درصد)	کاپا
ساخته شده	۹۸/۱۷	۹۲/۳۱	۹۴/۳۸	۰/۹۰
محدوده آبی	۱۰۰	۱۰۰		
فضای سبز	۱۰۰	۱۰۰		
راه	۷۸/۵۱	۹۵/۱۰		
بایر	۹۵/۲۸	۹۶/۱۹		
در حال ساخت	۹۹/۳۰	۹۹/۱۰		

با توجه به جدول ۲، برای تصویر طبقه بندی شده سال ۱۹۹۸، در ماتریس خطا، محدوده آبی و فضای سبز با دارا بودن دقت ۱۰۰ درصدی در هر دو سال بیشترین میزان دقت را بین همه طبقات و کاربری‌ها دارا می‌باشند که این امر از عوامل بالا بودن ضریب کاپا[1] و دقت کلی طبقه بندی است، همچنین کاربری راه در سال ۱۹۹۸ با دقت ۷۸/۵۱ درصدی کترین دقت را میان همه کاربری‌ها دارا می‌باشد، که می‌تواند در پایین آوردن میزان دقت طبقه بندی تأثیر گذار باشد.

جدول ۳- ماتریس خطا مربوط به تصویر طبقه بندی شده سال ۲۰۲۱

کاربری	دقت تولید کننده (درصد)	دقت کاربر (درصد)	صحت کلی (درصد)	کاپا
ساخته شده	۹۷/۲۸	۹۷/۳۱	۹۶/۳۰	۰/۹۴
محدوده آبی	۱۰۰	۱۰۰		
فضای سبز	۱۰۰	۱۰۰		
راه	۹۳/۲۸	۹۶/۶۰		
بایر	۹۰/۵۴	۹۵/۷۱		
در حال ساخت	۹۹/۶۰	۹۱/۴۳		

زنجیره مارکوف

این روش در محیط نرم افزار Idrisi Selva به کار گرفته شد، بدین صورت که دو تصویر طبقه بندی شده سال ۱۹۹۸ و ۲۰۲۱ در محیط این نرم افزار با استفاده از مدل مارکوف مقایسه شدند و نتیجه آن به دست آمدن ماتریس احتمال انتقال کاربری‌ها برای سال ۲۰۳۸ بود. این مدل و ماتریس حاصل از آن فاقد مولفه مکانی هستند، به این معنی که ما برای آینده تغییرات را پیش بینی کرده‌ایم اما این که این تغییرات دقیقاً در کجا رخ داده است مشخص نیست. جدول ۴ ماتریس احتمال انتقال کاربری‌ها برای آینده حاصل از مدل مارکوف را نشان می‌دهد.

1..Kappa

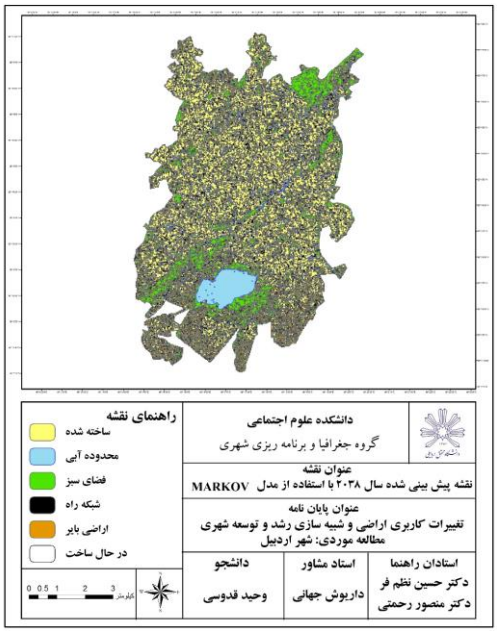
جدول ۴-ماتریس احتمال انتقال(تبدیل کاربری‌ها) حاصل از مدل مارکوف[1] بین سال‌های ۲۰۲۱ و ۲۰۳۸

کاربری	ساخته شده	راه	فضای سبز	آبی	در حال ساخت	بایر
ساخته شده	۰/۶۳	۰/۲۵	۰/۰۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۴
راه	۰/۴۴	۰/۳۷	۰/۱۲	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۱
فضای سبز	۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۷۶	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۱۳
محدوده آبی	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۹۹	۰/۰۰	۰/۰۰
در حال ساخت	۰/۳۴	۰/۱۱	۰/۰۵	۰/۰۰	۰/۲۰	۰/۲۸
بایر	۰/۲۶	۰/۰۹	۰/۲۱	۰/۰۰	۰/۱۴	۰/۲۸

تفسیر این ماتریس به صورت ردیف به ستون می‌باشد، به این صورت که کاربری‌هایی که در ردیسف جدول قرار گرفته‌اند برای سال ۲۰۲۱ و کاربری‌هایی که در ستون جدول قرار گرفته‌اند برای سال ۲۰۳۸ می‌باشند. با توجه به جدول فوق، می‌توان دریافت که کاربری راه با احتمال تبدیل ۰/۴۴ به کاربری ساخته شده و کاربری در حال ساخت با احتمال تبدیل ۰/۳۴ به کاربری ساخته شده دارای بیشترین ارزش‌ها در این ماتریس هستند. دیگر خروجی‌های مدل مارکوف ماتریس مساحت انتقال و تصاویر احتمال شرطی است که در محیط نرم افزار Idrisi Selva با استفاده از دستور Stchoice[2] این تصاویر با یکدیگر ترکیب شده و مدل مارکوف را به صورت تصویری که نشان دهنده کاربری‌های آینده بدون در نظر گرفتن مؤلفه مکانی برای تغییرات آن‌ها است را نشان می‌دهد. شکل ۴-۳ نشان دهنده نقشه حاصل از مدل مارکوف برای پیش بینی تغییرات کاربری‌ها است.

همان گونه که مشاهده می‌شود این تصویر مؤلفه مکانی برای هر یک کاربری‌ها نداشته و دقت پایینی دارد و قابل استناد نیست. این مدل نیاز به یک مکمل دارد که مؤلفه مکانی را به آن اضافه کند، که مدل سلول‌های خودکار (CA) به مارکوف اضافه شده و دقت کار را بالا می‌برد و مدل تلفیقی سلول‌های خودکار مارکوف را شکل می‌دهند، به عبارتی به منظور انجام دادن پیش بینی برای تغییرات کاربری اراضی در آینده از اجرای مدل مارکوف به عنوان یک پیش نیاز برای مدل سلول‌های‌خودکارمارکوف‌استفاده‌می‌شود.

14.Markov
15.Stchoice



جدول ۵- ماتریس احتمال انتقال کاربری‌های اراضی حاصل از مدل سلول‌های خودکار مارکوف برای سال ۲۰۳۸

کاربری	ساخته شده	راه	فضای سبز	آبی	در حال ساخت	بایر
ساخته شده	۰/۲۵۶	۰/۰۱۴	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۹	۰/۰۰۷
راه	۰/۰۳۹	۰/۰۸۶	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۳	۰/۰۰۵
فضای سبز	۰/۰۰۸	۰/۰۱۴	۰/۰۷۷	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۱۲
محدوده آبی	۰/۰۰۰	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰	۰/۰۱۹	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
در حال ساخت	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۱۸	۰/۰۰۴
بایر	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۴	۰/۰۵۶

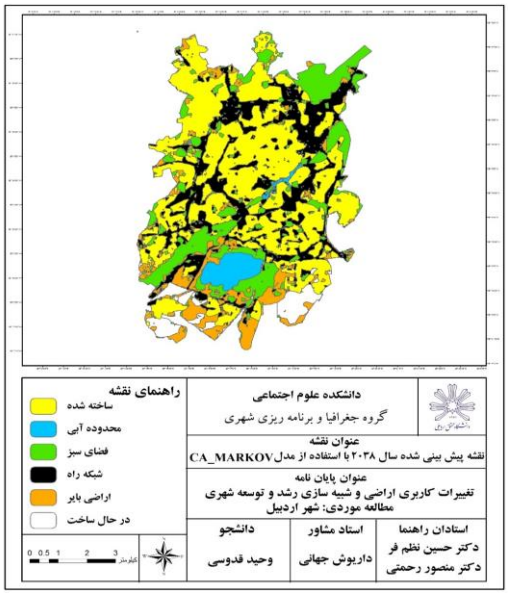
در مدل سلول‌های خودکار مارکوف ماتریس احتمال انتقال و تبدیل کاربری ها به صورت ستون به ردیف قابل تفسیر می‌باشد، در واقع کاربری‌های موجود در ستون ماتریس مربوط به سال ۲۰۲۱ و کاربری‌های موجود در ردیف ماتریس مربوط به سال ۲۰۳۸ می‌باشد، در این ماتریس کاربری ساخته شده با ۰/۰۳۹ درصد احتمال تبدیل به کاربری راه دارای بالاترین ارزش می‌باشد، همچنین در جدول مقادیر صفر را می‌بینیم که طبیعتاً کمترین ارزش را دارا هستند. ماتریس احتمال تبدیل کاربری‌های اراضی حاصل از مدل سلول‌های خودکار مارکوف نیز بر حسب هکتار در جدول فوق قابل‌مشاهده‌است.

جدول ۶- ماتریس احتمال تبدیل کاربری‌های اراضی حاصل از سلول‌های خودکار مارکوف برای سال ۲۰۳۸(هکتار)

کاربری	ساخته شده	راه	فضای سبز	آبی	در حال ساخت	بایر
ساخته شده	۲۵۴۹/۳۴	۱۳۹/۹۵	۰۰	۰۰	۹۴/۱۴	۶۹/۳۰
راه	۳۹۰/۰۶	۸۵۸/۶۹	۰/۵۴	۰۰	۳۲/۸۵	۵۶/۹۷

فضای سبز	۸۷/۸۴	۱۳۹/۰۵	۷۶۶/۲۶	۰/۰۹	۴/۴۱	۱۲۴/۶۵
محدوده آبی	۰۰	۳۳/۶۶	۰۰	۱۹۵/۶۶	۰۰	۰۰
در حال ساخت	۰/۱۸	۰۰	۰۰	۰۰	۱۸۲/۴۳	۴۸/۷۸
بایر	۲/۷۰	۰/۹۹	۳/۶۰	۰۰	۴۴/۵۵	۵۶۳/۳۱

در این پژوهش از تصاویر طبقه بندی شده سال‌های ۱۹۹۸ و ۲۰۲۱ و نقشه‌های طبقه بندی شده استخراج شده از این تصاویر برای پیش بینی تغییرات کاربری اراضی برای سال ۲۰۳۸ استفاده شد. ضریب کاپای مدل سلول‌های خودکار مارکوف بر مبنای تصویر طبقه بندی شده سال ۲۰۲۱، برای مشخص کردن میزان صحت مدل به کار گرفته شده، محاسبه شد که میزان آن ۰/۸۸ بود، که نشان دهنده قابل قبول بودن پیش بینی تغییرات به وسیله مدل سلول‌های خودکار است. شکل فوق نشان دهنده نقشه پیش بینی شده حاصل از مدل سلول‌های خودکار مارکوف است.



جدول۷ – مساحت و درصد کاربری‌های اراضی برای سال ۲۰۳۸

کاربری	مساحت	درصد
ساخته شده	۲۸۵۲/۷۳	۴۴/۶۴
راه	۱۳۳۹/۱۱	۲۰/۹۵
فضای سبز	۱۱۲۲/۳۰	۱۷/۵۶
محدوده آبی	۲۲۹/۳۲	۳/۵۸
در حال ساخت	۲۳۱/۳۹	۳/۶۲
بایر	۶۱۵/۱۵	۹/۶۲

اگر روند تغییرات را بررسی کنیم می‌بینیم که اراضی ساخته شده با توجه به روند تغییرات گذشته سیر نزولی داشته اما همچنان بیشترین وسعت از سطح منطقه مورد مطالعه را با ۲۸۵۲/۷۳ هکتار دارا می‌باشد. کاربری‌های راه، فضای سبز و بایر در رتبه‌های بعدی می‌باشند. کاربری راه که در سال ۲۰۲۱ دارای ۱۱۷۲/۳۴ هکتار وسعت بوده برای سال ۲۰۳۸ با توجه به روند گذشته با افزایش وسعت همراه خواهد شد و وسعت آن به ۱۳۳۹/۱۱ هکتار خواهد رسید، همچنین فضای سبز و محدوده آبی نیز با افزایش وسعت روبرو خواهند بود، در این بین کاربری‌های در حال ساخت و بایر با کاهش وسعت روبرو خواهند شد.

یافته‌ها

این پژوهش با هدف بررسی تغییرات کاربری‌های شهر اردبیل انجام شد. در این مطالعه از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده TM لندست سال ۱۹۹۸ و سنجنده OLI[1] لندست سال ۲۰۲۱ برای بررسی تغییرات کاربری اراضی بین سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۲۱ استفاده شد. همچنین، پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی برای سال ۲۰۳۸ بر اساس روند تغییرات موجود انجام شد. نتایج مطالعات نشان داد که استخراج نقشه کاربری اراضی به روش طبقه‌بندی نظارت‌شده از دقت و صحت بیشتری نسبت به روش طبقه‌بندی نظارت‌نشده برخوردار است. همچنین، نتایج حاکی از آن است که روش مارکوف سلولی (CA-Markov) دارای ضریب صحت و اطمینان قابل قبولی برای پیش‌بینی تغییرات آینده می‌باشد. نتایج نشان می‌دهند که کاربری ساخته شده در طی سالیان متمادی با بیشترین تغییرات مواجه بوده است. این پژوهش نشان داد که با استفاده از ابزارهای مناسب مانند سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS[2]) و مدل‌ها و الگوریتم‌های موجود، می‌توان مدل‌سازی مکانی و فضایی مناسبی برای کاربری‌های اراضی و مسائل مربوط به آن انجام داد. همچنین، این پژوهش نشان داد که استفاده از تصاویر با دقت بالاتر و کیفیت بهتر و به کارگیری مدل‌های متعدد می‌تواند بررسی دقیق‌تری از موضوعات ارائه دهد که قطعاً می‌تواند کمک شایانی به مدیران و مسئولان شهری برای برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری بهتر باشد. هر چه تعداد کلاس‌ها و نمونه‌های برداشت شده بیشتر باشد، دقت کار نیز بالاتر خواهد بود .این پژوهش همچنین نشان داد که با استفاده از ابزار سنجش از دور می‌توان سرانه کاربری‌ها در دو دوره مختلف را بررسی کرد. از مشکلات این ابزار در محاسبه سرانه، می‌توان به عدم محاسبه تراکم اراضی ساخته شده اشاره کرد؛ در این ابزار تنها وسعت اشغال شده از سطح منطقه مورد مطالعه برای اراضی ساخته شده اشاره شده است.همچنین یافته‌های پژوهش حاضر همسو با نتایج پژوهش‌های قبلی نشان می‌دهد: نظم‌فر و جعفرزاده :(1397) با استفاده از روش شی‌گرا و تصاویر ماهواره‌ای، تغییرات کاربری اراضی شهر اردبیل را بررسی کردند. زمین‌های کشاورزی، مناطق مسکونی و مناطق آبی با پردازش شی‌گرا و دیجیتال تصاویر ماهواره‌ای در سال‌های ۱۹۹۸ و ۲۰۱۶ تحلیل شدند. نظم‌فر و جعفرزاده :(1398) کارایی الگوریتم‌های مختلف طبقه‌بندی نظارت‌شده را با استفاده از تصاویر سنجنده‌های مختلف بررسی کردند. شبکه عصبی مصنوعی با دقت کلی ۹۴,۴۷٪ و ضریب کاپای ۹۲,۰۹٪ به‌عنوان دقیق‌ترین روش طبقه‌بندی انتخاب شد. نبی‌زاده و همکاران (۱۳۹۸) : تغییرات کاربری اراضی در حوضه آبخیز شهرستان فارسان را از سال ۱۳۶۵ تا ۱۴۰۶ پیش‌بینی کردند. نتایج نشان داد که مدل مارکوف سلولی روش‌های مفیدی برای طراحی برنامه‌های آینده ارائه می‌دهد. فاکتورهای مناسب برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل مارکوف سلولی را بررسی کرد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده نتایج کلی نشان دهنده این بود که مناطق ساخته شده روند کاهشی داشته و این روند برای سال ۲۰۳۸ نیز ادامه خواهد داشت، همچنین کاربری راه روند رو به رشدی از گذشته تا سال ۲۰۲۱ داشته که برای سال ۲۰۳۸ نیز روند رو به رشد خود را حفظ می‌کند، فضای سبز نیز روند رو به رشدمناسبی‌داشته‌وبرای‌سال ۲۰۳۸نیزادامه‌خواهدداشت. بنابراین پیشنهاد می‌شود همزمان با استفاده از این ابزار سایر مؤلفه‌های مربوط به کاربری اراضی در سطح یک منطقه، مثل جمعیت و قوانین شهری و سرانه و تراکم و ... نیز مورد بررسی قرار بگیرند. رشد شبکه راه به لحاظ توازن و تعادل در سطح شهر مورد بررسی قرار بگیرد، دوره‌های زمانی متنوع‌تری برای بررسی کردن تغییرات کاربری اراضی در نظر گرفته شود تا بتوان تغییرات با جزییات بیشتر و با سال‌های بیشتر مورد

1.OLI
2.GIS

بررسی قرار داد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، نتایج کلی نشان می‌دهد که مناطق ساخته شده روند کاهشی داشته و این روند برای سال ۲۰۳۸ نیز ادامه خواهد داشت. همچنین، کاربری راه روند رو به رشدی از گذشته تا سال ۲۰۲۱ داشته و این روند برای سال ۲۰۳۸ نیز حفظ خواهد شد. فضای سبز نیز روند رو به رشدی مناسب‌داشته‌وبرای‌سال۲۰۳۸نیزادامه‌خواهدداشت.

تقدیر و تشکر

تشکر از تمام کسانی که ما را در نوشتن این پژوهش کمک کردند مخصوصا نویسنده آن و تشکر از دانشگاه محقق اردبیلی که حامی معنوی این پژوهش بودند.

تایید اخلاق و تعهدنامه

نویسندگان اعلام می‌کنند که تمام رویه‌های انجام‌شده در مطالعاتی که شامل شرکت‌کنندگان انسانی است، مطابق با استانداردهای اخلاقی کمیته پژوهشات نهادی و/یا ملی است. رضایت آگاهانه از همه شرکت کنندگان فردی درگیر در مطالعه به دست آمد. نویسندگان رضایت کامل خود را برای انتشار این مقاله در این نشریه اعلام می‌کنند. نویسندگان تأیید می‌کنند که داده‌های حمایت کننده از یافته‌های این مطالعه در مقاله و مواد تکمیلی آن موجود است. داده‌های خامی که یافته‌های این مطالعه را پشتیبانی می‌کنند، در صورت درخواست از نویسنده مسئول در دسترس است.

منافع رقابتی

نویسندگان اعلام می‌کنند که هیچ منافع مالی رقیب یا روابط شخصی شناخته شده‌ای ندارند که به نظر می‌رسد بر کار گزارش شده در این مقاله تأثیر بگذارد.

تامین مالی

این‌پژوهش‌ازتحت‌حمایت‌هیچ‌شخص‌حقوقی‌وحقیقی‌نبوده‌است.

منابع و مأخذ

ابراهیمی، حمید. رسولی، علی اکبر. احمد پور، احمد.) ۱۳۹۵ (، مدلسازی تغییرات دینامیک کاربری اراضی با استفاده از پردازش شئ گرا تصاویر ماهوارهای(CA-MARKV مطالعه موردی :شهرشیراز.

احد نژاد روشنی، محسن. زلفی، علی. حسین،) ۱۳۹۰، ارزیابی و پیشبینی فیزیکی شهرها با استفاده از تصاویر ماهوارهای چند زمانه و سیستم اطلاعات جغرافیایی)مطالعه موردی:شهر اردبیل ۱۴۰۰ - ۱۳۶۳ (فصلنامه آمایش محیط ،شماره ۱۰۷۱۵ .

احمدی ثانی، ن. بابایی کفایی، س. متاجی، ا. (.)۱۳۹۰بررسی امکان فعالیت های اکوتوریسمی از نظر اکولوژیک در جنگل های زاگرس شمالی.کاربرد تصمیم گیری های چند معیاره،سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور.

امیدفر،مصطفی (۱۳۹۹) بررسی و مدل سازی روند تغییرات کاربری اراضی شهر مشهد با استفاده ازمدلCA-MARKOV

امیدی‌پوروهمکاران(۱۳۹۲) مقایسه روش‌های طبقه بندی پیکسل پایه وشیءگرا درتهیه نقشه کاربری‌اراضی‌بااستفاده‌ازداده‌های‌ماهواره-ای.

پایگاه‌چهارگوشه‌ایران‌زیبا-معرفی‌شهراردبیل.

ترک زاده، ا. ابراهیمی زرندی،م.مغانی رحیمی،ب. (۱۴۰۳) .ارزیابی توزیع کاربری های مختلف شهر کرمان با تاکید برجمعیت توسعه آتی شهر کرمان .فصلنامه مطالعات توسعه پایدار شهری ومنطقه ای.https://www.srds.ir/article_197405.html.

جلالی، مریم.(۱۴۰۲). .بررسی وتبیین جایگاه حکمروایی خوب شهری بر مدیریت بازار مسکن .فصلنامه مطالعات توسعه پایدار شهری ومنطقه ایhttps://www.srds.ir/article_193031.html

حسینی.سیدمحسن،وهمکاران-۱۳۹۱بررسی تغییرات کاربری اراضی برمیزان ترسیب کربن خاک (منطقه‌موردمطالعه‌باغ‌گردو شهمیرزاد

داداش پور،هاشم،جهانزاد .نریمان (۱۳۹۳) پیش بینی تغییرات کاربری اراضی در مجموعه شهری مشهد با استفاده از سلول های خودکار و الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی.

رسولی، ع.ا. (.)۱۳۸۷مبانی سنجش از دور کاربردی با تاکید بر پردازش تصاویر ماهوارهای.

زیاری، کرامت الله (۱۳۸۱) برنامه ریزی کاربری اراضی شهری، یزد: انتشارات دانشگاه یزد.

سایت‌شورای‌شهراردبیل-معرفی‌شهراردبیل.

طاهری وهمکاران ،۱۳۹۲ مدل سازی تغییرات پوشش سرزمین شهرستان تبریز با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی وزنجیره مارکوف ،پژوهش های جعرافیای طبیعی ،دوره۴۵،شماره ۴،۹۷-۱۲۱ .

طاهری وهمکاران ،۱۳۹۷،نقش تغییرات کاربری اراضی بر فرم فضایی جزایر حرارتی درشهرمشهد.

عبدالهی،خبازی،درانی-۱۳۹۸مدل‌سازی‌وپیش‌بینی‌تغییرات‌کاربری‌اراضی‌شهرلاهیجان‌با رویکردتوسعه‌پایدار.

علی‌محمدی، ع. موسی‌وند، ع.ج. شایان، س. (.)۱۳۸۸پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده ازتصاویرماهوارهای‌ومدل‌زنجیره-مارکوف.دانشگاه‌خواجه‌نصیرالدین‌طوسی،تهران.

فیضی زاده، ا. (.)۱۳۸۶مقایسه روش های پیکسل پایه و شی گرا در تهیه نقشه های کاربری اراضی. پایان‌نامه‌کارشناسی-ارشد،دانشکده‌ادبیات‌وعلوم‌انسانی،دانشگاه‌تبریز.

فیضی زاده، ا. عزیزی، ح. ولیزاده،.(۱۳۸۹استخراج کاربریهای اراضی شهرستان ملکان با استفاده از تصاویر ماهوارهای . Landsat7 ETMمجله آمایش، شماره سوم، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ملایر.

مجیدیان ، (۱۳۹۴) تحلیلی پیرامون اثـرات و پیامـدهای تغییـر کـاربری اراضی کشاورزی در روستاهای بخش مرکزی شهرستان لاهیجان در دهه اخیر، مجله چشـم انـداز جغرافیـایی، شماره ۲۱: ۱-۱۳.

محمدیاری وهمکاران ،۱۳۹۴رویکرد آمایشی در مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی شهرستان بهبهان با به کارگیری تصاویر ماهواره ای چندزمانه‌ای.

مسیبی، مرضیه. ملکی، محسن. (۱۳۹۳). پایش تغییرات کاربری اراضی با استفاده از داده‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی(مطالعه موردی: شهرستان اردبیل). سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، سال پنجم، شماره ۱.

ناصری.داریوش،علی خواه اصل.مرضیه (۱۳۹۶) ارزیابی روند تغییرات پوشش اراضی حوزه آب خیز کفتاره بااستفاده از روش سنجش از دور .

نوحه گر، احمد.کاظمی، محمد. قصر دشتی روشن، محمد. رضایی، پیمان. (۱۳۹۱). بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر پتانسیل سیل خیزی(مطالعه موردی حوزه آبخیز تنگ بستانک شیراز). فصلنامه‌علمی‌پژوهشی‌پژوهش‌های‌فرسایش‌محیطی،شماره۲.

هوشیار ، محمود. رطبی،علاالدین. (۱۴۰۳).تحلیل اثرات مشارکت مردمی وتوسعه شهری بانه (مطالعه شهر بانه) .فصلنامه مطالعات توسعه پایدار شهری ومنطقه ای.https://www.srds.ir/article_196118.html

Alimohammadi, A., Matkan, A., and Mirbagheri, B. 2010. The Evaluation of CELLULAR AUTOMATA model efficiency in simulation of urban areas development (Case study: suburbs of south west of Tehran). J. Spat. Plan. (Modares Human Sciences). 14: 2.81-102. (In Persian). Applications, Advances in Remote Sensing 4(8):100-111.

Bruce, C.M., and Hilbert, D.W. 2004. Pre-processing Methodology for Application to Landsat TM/ETM+ Imagery of the Wet Tropics. Cooperative Research Centre for Tropical Rainforest Ecology and Management. Rainforest CRC, Cairns, 44p.
Chavarez, P. S. J. R. and Mackinnon, D. J, 1994. Automatic Detection of Vegetation in the southwestern United States Using remotely sensed image, photogerametric Engineering and Remote Sensing, 60: 571-583.

Chavez, P. S. 1988. An improved darc-object subtraction technique for atomsperic scattering correction multispectral data. Remote Sensing of environment, 24(3), 459-479.

Du, Y., Teillet, P.M. and Cihlar. J., 2002. Radiometric normalization and multitemporal high-resolution satellite image with quality control for land cover change detection Remote Sensing of Environment, 82:123-134.

Mubea, K. W., Ngigi, T. G. and Mundia, C. N. 2010. Assessing Application of Markov Chain Analysis in Predicting Land Cover Change: A Case Study of Nakuru Municipality. JAGST, 12(2): 126 – 144.

Seifzadeh, D., S. Hamzedoust-Hasankiadeh, A.N. Shamkhali, 2013. Electrochemical and DFT Studies of 8hydroxyquinoline as Corrosion Inhibitor for AZ61 Magnesium Alloy in Acidic Media. *Protection of Metals* and Physical Chemistry of Surfaces, l (49): 229-239.

https://www.srds.ir/215756.html article_

Kityuttachai, K., Tripathi, N., Tipdecho, T. and Shreshta, R. (2013). CA-Markov Analysis of Constrained Coastal Urban Growth Modeling: Hua Hin Seaside City, Thailand. Sustainability, 5(4): 1480-1500

Rounsevell, M.D.A., Ewert, F., Reginster, I., Leemans, R., Carter, T.R. (2005). Future scenarios of European agricultural land use II. Projecting changes in cropland and grassland. Agriculture, Ecosystems and Environment 107, 117–135.
Guan, D, Li, H, Hokao, K, (2011). Modelling Urban Land use Change by the integration of Cellular Outomaton and Markov Model, Ecological Modeling 222, pp.3761-3772

Traore, Arafan; Mawenda, John; Komba, Atupelye, W., 2018. Land-Cover Change Analysis and Simulation in Conakry (Guinea), Using Hybrid Cellular-Automata and Markov Model. Urban Sci. Volume 2, Issue 2.

Valbuena D., Verburg P. H., Bregt A. K. and Ligtenberg A. 2010\. An agent-based approach to model land-use change at a regional scale. Landscape Ecol, 25: pp. 185-199.