



Prediction of land use changes using multi-temporal images and CA-MARKOV model (Case study: Gorgan City)

Saleh Arekhi *

1. Associate Professor, Department of Geography and GIS, Faculty of Human Sciences, Golestan University, Gorgan, Iran

Received Date: 28 December 2024 Accepted Date: 10 March 2025

Abstract

Background and Objective: In parallel with the ever-increasing urban population, the amount of construction in the city space has been developed. The development of construction in the horizontal space and regardless of the existing restrictions has led to environmental, economic and legal problems for the citizens. Achieving the amount, intensity and direction of development Construction from the past until now and forecasting the construction situation in the future is the first step towards the scientific and practical management of the physical development of urban construction, and planning and providing suitable solutions in order to create a balance between the spatial allocation of construction and all kinds of legal, economic and environmental considerations. The purpose of this research is to model and predict urban growth using satellite images and CA-Markov model.

Methodology: In this research, firstly, using multi-time Landsat images related to the years 1976, 2001 and 2021, land use changes were investigated, and then the spatial expansion of Gorgan city in (2021 AD) and (2050 AD) was predicted using the CA-Markov model. Based on the results of this research, the changes in land use and the level of land use in the area have been calculated and compared. The geographical area of this research is the city of Gorgan.

Findings and Conclusion: The results of this research show that the largest increase in land use is related to urban land use (built land use), which increased from 6005.79 hectares in 2021 to 7141.66 hectares in 2050. Based on the results of this research, the growth of the city of Gorgan in the coming years will go towards the agricultural lands around the north, northwest and northeast.

Keywords: detection, CA Markov model, change of use, satellite images, change prediction, Gorgan.

* Corresponding Author Email: s.arekhi@gu.ac.ir

Cite this article: Arekhi, S. (2025). Prediction of land use changes using multi-temporal images and CA-MARKOV model (Case study: Gorgan City). Journal of Sustainable Urban & Regional Development Studies (JSURDS), 6(3), 121-138.



پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر چند زمانه و مدل CA-MARKOV (مطالعه موردی: شهر گرگان)

صالح ارخی*

۱. دانشیار، گروه جغرافیا و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۰

چکیده

زمینه و هدف: به موازات افزایش روزافزون جمعیت شهرنشین، میزان ساخت‌وساز در فضای شهر توسعه یافته است. توسعه ساخت‌وساز در فضای افقی و بدون توجه به محدودیت‌های موجود منجر به بروز مشکلات محیطی، اقتصادی و حقوقی برای شهروندان شده است. دستیابی به میزان، شدت و جهت توسعه ساخت‌وساز از گذشته تاکنون و پیش‌بینی وضعیت ساخت‌وساز در آینده، نخستین گام در جهت مدیریت علمی و عملی توسعه فیزیکی ساخت‌وساز شهری، و برنامه‌ریزی و ارائه راهکارهای مناسب به منظور ایجاد تناسب مابین تخصیص مکانی ساخت‌وساز و انواع ملاحظات حقوقی، اقتصادی و محیطی می‌باشد. هدف این پژوهش مدل‌سازی و پیش‌بینی رشد شهری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل CA-Markov می‌باشد.

روش‌شناسی: در این پژوهش، ابتدا، با استفاده از تصاویر چندزمانه لندست مربوط به سال‌های ۱۳۵۵، ۱۳۸۰ و ۱۴۰۰ تغییرات کاربری اراضی مورد بررسی قرار گرفت و سپس گسترش فضایی شهر گرگان در سال‌های (۲۰۲۱ م) و (۲۰۵۰ م) با استفاده از مدل CA-Markov پیش‌بینی شد. بر اساس نتایج این پژوهش، تغییرات کاربری‌ها و سطح کاربری‌های منطقه محاسبه و مورد مقایسه و بررسی قرار گرفته‌اند. قلمرو جغرافیایی این پژوهش، شهر گرگان می‌باشد.

یافته‌ها و نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که بیشترین افزایش کاربری‌ها مربوط به کاربری‌های شهری (کاربری‌های ساخته شده) است که از رقم ۶۰۵/۷۹ در سال ۱۴۰۰ به رقم ۷۱۴۱/۶۶ هکتار در سال ۲۰۵۰ رسیده است. بر اساس نتایج این پژوهش، رشد شهر گرگان طی سال‌های آینده به سمت زمین‌های زراعی در پیرامون شمال، شمال غربی و شمال شرقی خواهد رفت.

واژگان کلیدی: آشکارسازی، مدل CA مارکوف، تغییر کاربری، تصاویر ماهواره‌ای، پیش‌بینی تغییرات، گرگان.

*نویسنده مسئول: S.arekhi@gu.ac.ir

مقدمه و بیان مسأله

جمعیت جهان در گذر زمان همواره به شکل فزاینده‌ای در حال افزایش است و به تازگی نیز از مرز هشت میلیارد نفر عبور کرد است (اسلام^۱ و همکاران، ۲۰۲۳). گزارش‌ها حاکی از آن است که این روند در ادامه نیز سیر صعودی خود را حفظ خواهد کرد؛ به طوری که پیش‌بینی می‌شود جمعیت جهان در سال ۲۰۳۰ به ۸/۵ میلیارد نفر، در سال ۲۰۵۰ به ۹/۷ میلیارد نفر و در سال ۲۱۰۰ به ۱۰/۴ میلیارد نفر برسد (صندوق جمعیت سازمان ملل متحد^۲، ۲۰۲۲). روند اقتصادی شهرها و بهبود کیفیت زندگی بشر سبب شد است که سهم عمده‌ای از جمعیت جهان در شهرها سکنا گزینند (گوپتا و بهارات^۳، ۲۰۲۲). در حال حاضر، ۵۵ درصد جمعیت جهان در شهرها زندگی میکنند و پیش‌بینی می‌شود که همسو با افزایش جمعیت جهان، این رقم نیز افزایش یابد و در سال ۲۰۵۰ به ۷۰ درصد برسد (صندوق جمعیت سازمان ملل متحد، ۲۰۲۲). افزایش روزافزون جمعیت شهرنشین و به دنبال آن رشد شهرها، منجر به پیشرفت جوامع بشری و تقویت اقتصاد ملی کشورها خواهد شد (موسوینگان^۴ و همکاران، ۲۰۲۰). اما توسعه فضایی شهر می‌تواند پیامدهای بیشماری از جمله افزایش دمای سطح زمین (LST^۵) (گوپتا^۶ و همکاران، ۲۰۲۳). تخریب و از دست دادن تنوع زیستی (مکدونا^۷ و همکاران، ۲۰۲۰)، تراکم جمعیت و حاشیه‌نشینی (پيله‌ور، ۲۰۲۰)، و تغییرات در کاربری/پوشش اراضی (LULC)^۸ را به همراه آورد (گوان^۹ و همکاران، ۲۰۲۲).

سکونتگاههای جوامع انسانی به تدریج تکامل یافته و از ساختار ابتدایی و ساده روستایی به ساختار پیچیده شهرهای امروزی تغییر نموده‌اند (Qian et al., 2022; Bhat et al., 2017). به موازات افزایش روزافزون جمعیت شهرنشین، میزان ساخت‌وساز در فضای شهر توسعه یافته است. توسعه ساخت‌وساز در فضای افقی و بدون توجه به محدودیت‌های موجود از جمله کمبود عرضه زمین منجر به بروز مشکلات محیطی، اقتصادی و حقوقی برای شهروندان شده است. از این رو مدیریت توسعه ساخت‌وساز شهری امری الزم، ضروری و اجتناب‌ناپذیر می‌نماید (Matovnikov & Matovnikova, 2016; Hegazy & Kaloop, 2015). توجه به توسعه فیزیکی شهری پایدار، به عنوان یک ضرورت اساسی در برنامه‌های توسعه شهری، حاکی از اهمیت این موضوع در تقویت جنبه‌های فرهنگی، اجتماعی و کالبدی شهر دارد. در ایران یکی از موارد مهم فرایند شهرنشینی، افزایش بی‌رویه شهرها و رشد ناموزون آن‌ها به دلیل مهاجرت‌های بی‌رویه و افزایش جمعیت، یکی از مشکلات اساسی شبکه شهری کشور است. اکنون هم یکی از مسائل تمام شهرها، رشد شهرنشینی و به تبع آن گسترش شاخک‌های خزنده شهری بر اراضی پیرا شهری است، که پیامدهایی چون: حاشیه‌نشینی، نابودی اراضی کشاورزی، افزایش جمعیت شهرها، عدم امکان پاسخگویی برخی از خدمات و کاربری‌ها در شهر، گسستگی بافت‌های فیزیکی، مشکلات زیست محیطی، خصوصاً آلودگی و نابسامانی سیمای شهری داشته است.

مبانی نظری

معرفی مدل زنجیره مارکوف

مدل مارکوف، شامل زنجیره متوالی از متغیرهای تصادفی $X_1, X_2, X_3, \dots$ می‌باشد، به عبارت دیگر اگر مجموعه‌ای از حالات را به صورت $S = \{S_1, S_2, S_3, \dots, S_r\}$ داشته باشیم، P_{ij} از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

^۱. Aslam

^۲. UFP (United Nations Population Fund)

^۳. Gupta & Bharat

^۴. Musavengane

^۵. Land Surface Temperature

^۶. Gupta

^۷. McDonald

^۸ Land Use Land Cover

^۹. Guan

$$P_{ij}^{(n)} = \sum_{k=1}^r P_{ik} P_{kj}$$

در این رابطه: P_{ij} احتمال رفتن از حالت i به حالت j را پس از n گام نشان می‌دهد.

در این مدل دو نقشه مربوط به دو دوره زمانی به صورت ماتریسی با یکدیگر مقایسه می‌شوند. به طوریکه براساس طبقه‌بندی حداکثر احتمال، پیش‌بینی می‌شود که هر پیکسل در هر کلاس با چه احتمالی در همان کلاس مانده یا به کلاسی دیگر تبدیل می‌شود (Eastman, 2006: 128). بنابراین در این طبقه‌بندی توزیع ارزش بازتابی در هر نمونه تعلیمی توسط یک تابع تراکم احتمال، که براساس تئوری احتمال بیس بنا شده، نشان داده خواهد شد. این طبقه‌بندی، احتمال اینکه هر سلول متعلق به یک کاربری باشد را بررسی نموده و سلول را به کاربری با بالاترین احتمال عضویت اختصاص می‌دهد. آنالیز مارکوف بر روی مطالعه انواع پوشش گیاهی و تغییر پوشش شهری و غیر شهری متمرکز شده است (خوش‌گفتار و همکاران، ۱۳۸۹: ۲۰). خروجی مارکوف شامل احتمالات تبدیل وضعیت، ماتریس مساحت‌های تبدیل شده هر کلاس و در نهایت تصاویر احتمالات شرطی برای تبدیل کاربری‌های مختلف است.

مدل سلول خودکار

Cellar Automata یک سیستم دینامیک و گسسته در مکان و زمان می‌باشد که بر روی یک شبکه منظم از سلول‌ها عمل می‌کند. در این سیستم، مقدار یا حالت هر سلول در طول زمان در قالب تابعی از مقادیر سلول‌های همسایه و مقدار خود سلول تغییر می‌کند. چیزی که در این مدل حائز اهمیت است این است که این تغییرات در قاب زمان و مکان فقط به شکل محلی تغییر می‌کنند و فقط سلول‌های مجاور هستند که در این تغییرات دخیل می‌باشند. حالت هر سلول در زمان $t+1$ بوسیله حالت سلول‌های همسایگی در زمان t و مطابق قوانین تبدیل از پیش تعریف شده، تعیین می‌گردد. CA به عنوان روشی با دینامیک‌های زمانی - مکانی می‌تواند تغییرات را در فضای دو بعدی شبیه‌سازی کند. این روش بصورت گسترده در بسیاری از زمینه‌های جغرافیایی خصوصاً "جهت مدل سازی رشد شهری و تکامل کاربری زمین، بکار برده شده است (خوش‌گفتار و همکاران، ۱۳۸۹)

هر CA دارای ۵ المان اصلی و پایه می‌باشد که به شرح زیر می‌باشد:

۱- **شبکه منظم سلولی:** این فضا از سلول‌های مستقل تشکیل شده است. از نظر تئوریک، این سلول‌ها می‌توانند اشکال هندسی متفاوتی داشته باشد ولی به طور معمول این فضا به صورت منظم از سلول‌های مربعی تشکیل شده است. دلیل انتخاب چنین ساختاری سادگی در همسایگی و عدم نیاز به الگوریتم پیچیده می‌باشد.

۲- **مجموعه مقادیر ممکن برای هر سلول:** هر سلول می‌تواند مقداری را از بین مقادیر این مجموعه به خود بگیرد. این مقدار می‌تواند معرف نوع کاربری اراضی و پوشش زمین در محدوده آن سلول باشد.

۳- **همسایگی:** مجموعه سلول‌های مجاور هر سلول که در تغییر مقادیر سلول مرکزی موثر می‌باشند.

۴- **قوانین انتقال:** این قوانین قلب یک مدل CA محسوب می‌شوند که دینامیک پدیده مورد نظر را نمایش می‌دهد. این قوانین مقدار یا حالت هر سلول را بعد از یک مرحله زمانی و با توجه به مقادیر همسایه هایش قبل از انتقال، مشخص می‌سازد. در هر مدل CA هدف اصلی تعیین صحیح و مناسب قوانین انتقال می‌باشد و این قوانین هستند که کارایی مدل را تعیین می‌کنند.

۵- **فضای زمانی:** یک فضای گسسته در زمان که شامل مراحل زمانی است. در هر مرحله مقادیر سلول‌ها بر اساس قوانین انتقال

تغییر می‌یابند.

مارکوف و CA هر دو، مدل دینامیک گسسته در زمان و موقعیت هستند. مشکل ذاتی زنجیره مارکوف این است که هیچ درک جغرافیایی تولید نمی‌کند. احتمال تبدیل ممکن است روی هر گروه پایه، دارای صحت و دقت باشد، اما هیچ دانش و آگاهی از توزیع

مکانی تصادفی درون هر گروه کاربری زمین وجود ندارد. یعنی هیچ مؤلفه مکانی در خروجی مدل سازی وجود ندارد. به همین خاطر CA را با زنجیره مارکوف تلفیق شده است (خوش گفتار و همکاران، ۱۳۸۹).

پیش‌بینی روند تغییرات کاربری اراضی با استفاده از ترکیب روش زنجیره‌های مارکوف و مدل اتوماسیون سلولی (سلول خودکار)

این روش براساس تلفیق مدل اتوماسیون سلولی (CA) و زنجیره‌های مارکوف و مکانیابی براساس تحلیل‌های چند معیاره برای پیش‌بینی روند تغییرات کاربری و پوشش اراضی می‌پردازد. از مزایای این روش استفاده از روش مجاورت فضایی و بعلاوه از دانش توزیع فضایی احتمالی به تحلیل زنجیره‌های مارکوف و در نهایت پیش‌بینی روند تغییرات کاربری اراضی می‌پردازد. در این پژوهش نیز برای انجام این روش با استفاده از نرم‌افزار Idrisi Selva نقشه کاربری اراضی برای سال‌های ۱۳۵۵ و ۱۳۸۰ و ۱۴۰۰ تهیه شده در مراحل قبل را ابتدا با استفاده از روش زنجیره‌های مارکوف پی‌بینی و سپس با مدل ترکیب و نقشه احتمالی تغییرات پهنه‌بندی برای سال‌های ۲۰۲۱ و ۲۰۵۰ تهیه شده است.

پیشینه پژوهش

تاکنون مطالعات زیادی در رابطه با مدلسازی تغییرات کاربری اراضی و رشد شهری با زنجیره مارکوف و سلول خودکار انجام شده است.

کابرال و زامپاتین (۲۰۰۶) برای مدل‌سازی تغییرات شهری شهرهای سینترا و کاسیاس پرتغال بین سالهای ۱۹۸۹ و ۲۰۲۵ از مدل زنجیره مارکوف استفاده کرده و داده‌های لندست TM و ETM⁺ سالهای ۱۹۸۹، ۱۹۹۴ و ۲۰۰۱ برای طبقه‌بندی به کار برده شد و نقشه‌های حاصل از طبقه‌بندی به همراه نقشه‌های تناسب تهیه شده از منطقه به عنوان ورودی برای پیش‌بینی رشد شهری در سال ۲۰۲۵ مورد استفاده قرار گرفتند. برای اعتبارسنجی مدل‌ها نقشه حاصل از پیش‌بینی سال ۲۰۰۱ با نقشه حاصل از طبقه‌بندی آن سال با استفاده از شاخص‌های آماری ملاحظه گردید (Cabral and Zampatin, 2006).

کایا و همکاران در سال ۲۰۰۶ به پایش رشد شهر در قسمت‌های اروپایی استانبول با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۹۸۷، ۱۹۹۲، ۱۹۹۷ و ۲۰۰۱ پرداختند. هدف این پژوهش کمی کردن رشد در قسمت‌های اروپایی استانبول در دو دهه اخیر بود. تغییرات پوشش اراضی در طی این دوره برای تعیین سرعت تغییرات استفاده گردید (Kaya et al., 2006). مویبا و همکاران با استفاده از مدل مارکوف به پیش‌بینی تغییرات پوشش گیاهی در ناکورا، بلات و بالزتر به بررسی پویایی پوشش گیاهی پرداختند (Mubea et al., 2010: 126-144).

Deep و همکاران (۲۰۱۴) به مدلسازی رشد شهری با استفاده از زنجیره مارکوف پرداختند. نتایج به وضوح نشان می‌دهد که تغییرات عمده بین دوره‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۰۹ در کالس‌های نواحی ساخته شده (حدود ۲۷٪) و سپس کشاورزی (۱۷/۷٪) و زمین‌های فرعی (۱۰/۲٪) رخ داده است. در این مطالعه ضریب کاپا مدل مارکوف ۹۱٪ محاسبه شد که نشان دهنده اعتبار مدل برای پیش‌بینی‌های آینده است.

Siddiqui و همکاران (۲۰۱۷) به دینامیک رشد شهری CA-Markov با استفاده از مدل‌های CA-Markov و رگرسیون لجستیک پرداختند. نتایج پژوهشات آن‌ها نشان داد که یکپارچگی سنجش از دور، GIS و مدل‌های رشد، اطلاعات مهمی را در رابطه با فرآیند توسعه شهری برای برنامه‌ریزان شهرها فراهم می‌کند.

Aburas و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی توانایی مدل CA-Markov برای شبیه‌سازی روند رشد فضایی موقت شهری با استفاده از یک فرایند سلسله مراتبی تحلیلی پرداختند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که رشد شهر سربان در کشور نیجریه در آینده افزایش خواهد یافت. و بر اساس مدل مارکوف پیش‌بینی می‌شود که مساحت شهر سربان در سال‌های ۲۰۲۰ و ۲۰۳۰ به ترتیب حدود ۲۴۲/۱ و ۲۷۸/۱ کیلومتر مربع افزایش یابد.

پژوهش کیسامبا و لی^۱ (۲۰۲۳) در شهر دودما^۲ در کشور تانزانیا از جمله مطالعات اخیر در زمینه مدلسازی توسعه فضایی شهرها به حساب می‌آید که با روش CA-Markov انجام شد است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی تغییرات LULC این شهر برای سال ۲۰۳۰ نشان می‌دهد که مساحت اراضی شهری در این منطقه به میزان ۳۹/۹۶ درصد افزایش خواهد یافت. همسو با این مطالعات، شفیع‌زاد مقدم و هلبیچ^۳ (۲۰۱۳)، رهنما (۲۰۲۱)، بقا^۴ و همکاران (۲۰۲۱) و طارق^۵ و همکاران (۲۰۲۲)، نیز در پژوهشهای خود، به کمک مدل CA-Markov به ترتیب به مدلسازی توسعه فضایی شهرهای بمبئی، کراچی و پیشاور پرداختند. مدلسازی‌های حاصل از این مطالعات همگی از گسترش دو چندان اراضی شهری خبر می‌دهند.

احدنژاد و همکاران (۱۳۹۰) با استفاده از تکنیکهای پردازش تصاویر ماهواره‌ای تغییرات کاربری اراضی در مقطع زمانی ۱۳۶۳ تا ۱۳۸۹ را بررسی و با استفاده از فنون پیش‌بینی تغییرات گسترش شهر تبریز را تا سال ۱۴۰۰ پیش‌بینی کردند (احد نژاد و همکاران، ۱۳۹۰).

احد نژاد و همکاران (۱۳۹۰) به ارزیابی تغییرات اراضی حاشیه شهر اردبیل در سال‌های ۱۳۶۳-۱۳۹۰ و سپس پیش‌بینی این تغییرات تا سال ۱۴۰۰ پرداخته و به این نتیجه رسیدند که حدود ۲۴ درصد تغییر کاربری صورت گرفته که عمدتاً ناشی از فعالیت انسانی بوده است (احد نژاد و همکاران، ۱۳۹۰).

خوش‌گفتار و همکاران (۱۳۸۹) به تحلیل و پیش‌بینی رشد شهری و تغییرات کاربری با استفاده از مدل CA-MARKOV در شهر تهران پرداختند و برای سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۲۰ شبیه‌سازی گردید. این شبیه‌سازی بیانگر کاهش مناطق جنگلی و افزایش مناطق شهری می‌باشد (خوش‌گفتار و همکاران ۱۳۸۹).

قراگوزلو و همکاران (۱۳۸۸)، به ارزیابی تغییرات کالبدی و تحلیل توسعه‌ای در منطقه ۵ تهران پرداختند و به این نتیجه رسیدند که میزان ساخت و سازها از سال ۱۳۶۶ به بعد کاهش یافته و رشد فیزیکی منطقه کند گردیده اما افزایش جمعیت ادامه داشته و بلند مرتبه‌سازی و افزایش تراکم مسکونی در منطقه رشد یافته است (قراگوزلو و همکاران ۱۳۸۸).

فیضی‌زاده و همکاران (۱۳۸۷) در پژوهشی تحت عنوان آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از روش طبقه‌بندی شیء‌گرا تغییرات کاربری اراضی شهرک اندیشه در یک دوره زمانی ۱۶ ساله را مورد ارزیابی قرار داده اند (فیضی‌زاده و همکاران، ۱۳۸۷). احمدی‌ندوشن و همکاران (۱۳۸۵) برای آشکارسازی و پیش‌بینی تغییرات پوشش اراضی شهر اراک از عکس‌های هوایی سال ۱۳۵۱ و تصاویر ماهواره‌ای و جهت پیش‌بینی تغییرات اراضی شهری در سال ۱۴۰۴ از طریق ژئومد و نقشه پوشش اراضی سال ۱۳۸۵ استفاده کردند. در این پژوهش نتایج آشکارسازی تغییرات نشان دهنده رشد و گسترش اراضی شهری در نتیجه تبدیل سایر طبقات پوشش اراضی به مناطق شهری و صنعتی در طی دوره زمانی مورد مطالعه بود و نتایج نشان داد که این مدل دارای توانایی بالایی در مدلسازی تغییرات اراضی شهری در اراک بوده است (احمدی‌ندوشن ۱۳۸۵). نتایج کار فلاح‌تکار و همکاران (۱۳۸۸) نشان می‌دهد که بیشترین توسعه مناطق شهری در بین سال‌های ۱۳۵۱ تا ۱۳۶۹ با گسترش متوسط ۵۷۱ هکتار در هر سال و کمترین رشد آن بین سال‌های ۱۳۳۴ تا ۱۳۵۱ با مساحتی حدود ۳۲۴ هکتار در هر سال رخ داده است. اما در طی سال‌های ۱۳۳۴ تا ۱۳۵۱ با کاهش متوسط سالانه ۱۲۶۳ هکتار، بیشترین تخریب پوشش سبز منطقه مورد مطالعه روی داده است (فلاح‌تکار و همکاران، ۱۳۸۸). در نمونه‌ای دیگر، میثاق و همکاران (۱۳۹۶) با تلفیق تحلیل‌های تصمیم‌گیری چندمعیار مبتنی بر GIS با مدل ترکیبی CA-Markov روند گسترش افقی کلانشهر تبریز را برای سال ۱۴۰۷ مدلسازی کردند. نتایج حاصل از مدلسازی آنها نشان دهنده رشد ۲۵ درصدی اراضی شهری این کلانشهر بود. همسو با این مطالعات، اکبری و همکاران (۱۳۹۸) نیز پژوهشی مشابه داشتند و توسعه فضایی شهر رشت را برای سال ۲۰۲۷ شبیه‌سازی کردند. نتایج حاصل از پژوهش آنها موید افزایش مضاعف وسعت اراضی شهری در این منطقه بود. در همین

^۱ . Kisamba & Li

^۲ . Dodoma

^۳ . Shafizadeh Moghadam & Helbich

^۴ . Baqa

^۵ . Tariq

سال، یوسف‌زاد و همکاران نیز از روش مذکور برای بصری‌سازی توسعه فضایی کلانشهر مشهد و حومه تا سال ۲۰۵۰ استفاده کردند. نقشه شبیه‌سازی شده نشان داد که گسترش فضایی کلانشهر مشهد عمدتاً به سمت غرب خواهد بود. از طرفی در ایین منطقه رشد مناطق انسان ساخت با کاهش پوشش گیاهی همراه خواهد شد.

کیانی سلمی و همکاران (۱۳۹۷) در مطالعه‌ای به ارزیابی پوشش اراضی شهرکرد و پیش‌بینی آینده آن با بهره‌گیری از داده‌های دور سنجی و مدل CA-Markov پرداختند. نتایج نشان داد که اراضی فضای سبز و نواحی شهری در طی دوره مورد مطالعه افزایش یافته و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۱۴۰۵ نواحی شهری ۱۰/۶ درصد افزایش یابد.

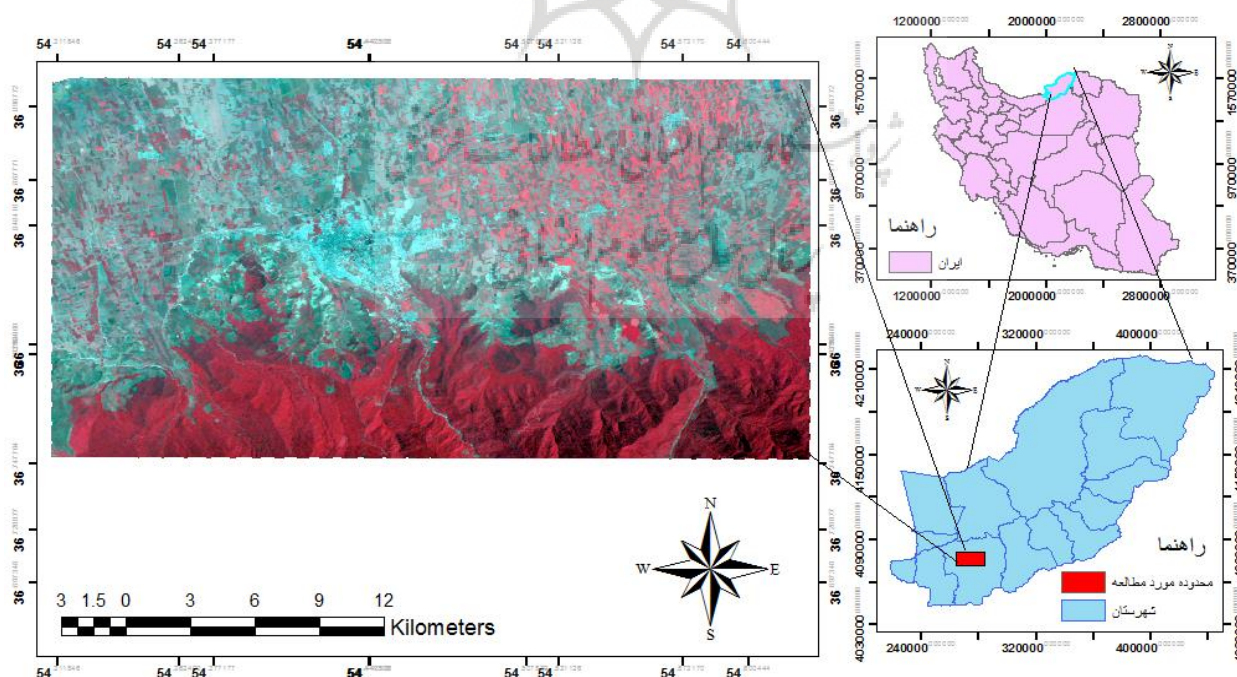
صالحی و همکاران (۱۳۹۸) روند تغییرات کاربری اراضی را در حوضه آبریز صفا رود رامسر با استفاده از مدل CA-Markov کردند. نتایج نشان داد که در فاصله زمانی ۲۰۱۴-۲۰۲۸ اراضی جنگلی و مراتع به ترتیب به میزان ۴/۹۲ و ۱/۷ درصد کاهش خواهند یافت. کاربری مسکونی ۸/۰۴ درصد افزایش و اراضی کشاورزی به مقدار ناچیزی تغییر خواهد داشت که بیانگر تغییرات کاربری به سمت اراضی مسکونی است.

اهداف این پژوهش به شرح زیر است:

- پیش‌بینی چگونگی گسترش شهر گرگان به منظور مهار آن برای تخریب منابع محیطی.
- بررسی تغییرات کاربری منطقه شهری گرگان برای ارائه راهکارهای بهبود الگوی گسترش شهری.

محدوده مورد مطالعه

گرگان که بین مدارهای ۳۶ درجه و ۲۹ دقیقه و ۳۷ درجه و ۱۶ دقیقه عرض شمالی و نیز ۵۴ درجه و ۱۴ دقیقه و ۵۴ درجه و ۵۲ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ قرار گرفته است در دشتی وسیع و حاصلخیز واقع شده است که از شرق به شهرستان علی‌آباد، از شمال به مناطق مرزی ایران و ترکمنستان (از طریق شهرستان آق‌قلا) و از غرب به شهرستان کردکوی محدود بوده و از جنوب با ارتفاعات شاخه شرقی رشته کوه البرز و استان سمنان (شهرستان شاهرود) هم‌مرز می‌باشد. مساحت محدوده مورد مطالعه در این پژوهش ۳۵۶۳ هکتار می‌باشد.



شکل شماره ۱: منطقه مورد مطالعه

مواد و روش

داده‌های مورد استفاده

تصاویر استفاده شده در این پژوهش، شامل تصاویر MSS^{۱۳۵۵}، ETM⁺^{۱۳۸۰} و OLI^{۱۴۰۰} از ماهواره لندست می‌باشند و از نرم‌افزارهای IDRISI Selva و ARCGIS 10.3 برای پردازش داده‌ها، مدلسازی و خروجی گرفتن و از روش‌ها و مدل‌های حداکثر احتمال برای طبقه‌بندی کاربری‌ها و CA-MARKOV برای محاسبه تغییرات و پیش‌بینی تغییرات در سال ۲۰۵۰ استفاده شده‌است.

روش پژوهش

تصحیح هندسی

در این مطالعه، به منظور تصحیح هندسی، از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ تهیه شده از سازمان جغرافیایی ارتش استفاده گردید. در این مرحله اقدام به اعمال تصحیحات هندسی بر روی تصاویر شد و تصویر سنجنده OLI سال ۱۴۰۰ با استفاده از روش تصویر-وکتور، زمین مرجع شد. برای این کار از ۴۷ نقطه کنترل زمینی با پراکنش مناسب و در تقاطع جاده‌ها، آبراهه‌ها و ... استفاده گردید تا مدل ریاضی که برای پیدا کردن ضرایب مجهول در معادله مورد استفاده قرار می‌گیرد، خطای کمتری داشته باشد. برای تبدیل مختصات تصویر تصحیح شده به تصویر تصحیح نشده، از تابع درجه اول استفاده گردید و برای نمونه‌گیری مجدد ارزش پیکسل‌های تصویر تصحیح نشده از روش نزدیکترین همسایه استفاده و در نهایت سنجنده OLI با خطای RMS معادل ۰/۳۷ زمین مرجع گردید. تصحیح هندسی تصویر MSS سال ۱۳۵۵ و ETM⁺ سال ۱۳۸۰ به روش تصویر به تصویر انجام گردید. بدین منظور تصویر ۱۴۰۰ بعد از تصحیح هندسی به عنوان مبنا در نظر گرفته شد. ابتدا نقاط کنترل انتخاب شدند، سپس نقاطی که دارای خطای زیادی بودند از جدول مربوطه حذف شدند و در نهایت با حذف ۹ و ۷ نقطه کنترل زمینی، تصویر MSS با ۳۸ و تصاویر ETM⁺ با ۴۰ نقطه کنترل با خطای معادل ۰/۳۲ و ۰/۳۸ تصحیح شد. به منظور تعیین تغییرات علاوه بر هم مختصات بودن تصاویر، باید ابعاد پیکسل‌های آنها نیز یکسان که در این تحقیق اندازه همه پیکسل‌ها ۲۸/۵ متر است.

صحیح رادیومتریک

تصحیح رادیومتریک زمانی انجام می‌گیرد که از تصاویر چند زمانه یعنی تصاویری که مربوط به فصول یا سال‌های مختلف و یا سنجنده‌های مختلف هستند، استفاده شود. دو نوع تصحیح رادیومتریک وجود دارد، تصحیح رادیومتریک مطلق و تصحیح رادیومتریک نسبی. روش تصحیح رادیومتریک مطلق نیازمند ورود داده‌های مربوط به خصوصیات اتمسفریک و کالیبراسیون سنجنده است. انجام این تصحیح در اغلب موارد و به خصوص برای داده‌های قدیمی کار بسیار سختی است (Du et al., 2002: 127). در مقابل تصحیحات رادیومتریک نسبی با هدف کاهش متغیرهای اتمسفریک و غیره منتظره در میان تصاویر چندزمانه صورت می‌گیرد. یکی از روش‌های تصحیح رادیومتریک نسبی، کاهش تیرگی پدیده^۱ است. در حالت ایده‌آل پدیده‌های تیره رنگ دارای تابش صفر در همه طول موج‌ها هستند. در این روش فرض می‌شود که در هر باند از تصویر می‌توان پیکسل‌هایی یافت که مقادیر آنها صفر یا نزدیک به یک می‌باشد (مثل آب). به این ترتیب اثر اتمسفری تابش انحرافی به صورت یک مقدار ثابت به پیکسل‌ها در هر باند اضافه می‌گردد. به همین دلیل جهت حذف خطای رادیومتریک بایستی ارزش پیکسل‌های هر باند از حداقل DN مربوط به هر باند کم شود. کاهش تیرگی پدیده یک روش ساده است که به طور گسترده در بسیاری از موارد به کار گرفته می‌شود (Chavez et al., 1994: 578). در این مطالعه از این روش جهت تصحیح رادیومتریک استفاده شده است. شکل ۲ مراحل مفهومی پژوهش را نمایش می‌دهد.

^۱. Dark Object Subtraction



شکل ۲: مراحل کلی پژوهش

ارزیابی دقت نقشه‌ها

به منظور ارزیابی دقت نقشه‌های تولید شده با توجه به آشنایی با منطقه مورد مطالعه و به کمک تفسیر چشمی تصویر رنگی کاذب (MSS321، ETM⁺432 و OLI432) اقدام به جمع‌آوری نمونه‌های تعلیمی با استفاده از نقشه توپوگرافی منطقه (۱:۲۵۰۰۰۰) متعلق به سال‌های ۱۳۵۵، ۱۳۸۰ و ۱۴۰۰ گردید و در نهایت با استفاده از روش پیشنهادی دلایپان و اسمیت (Dellepian et al., 1999: 1465) صحت نقشه‌های تولیدی ارزیابی گردید (رابطه ۱).

$$OA = \frac{1}{N \sum P_{ij}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

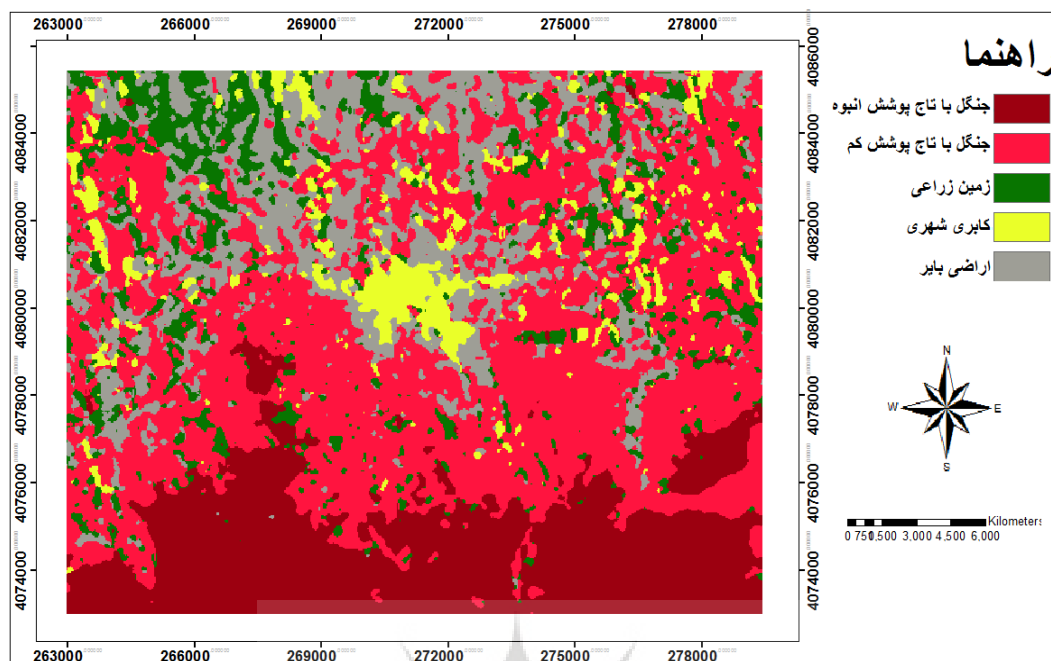
که در این رابطه: OA دقت کل، N تعداد کل پیکسل‌های آزمایشی، $\sum P_{ij}$ مجموع پیکسل‌های درست طبقه‌بندی شده است. همچنین ضریب کاپا از رابطه ۲ محاسبه گردید.

$$K = \frac{P_o - P_c}{1 - P_c} * 100 \quad \text{رابطه (۲)}$$

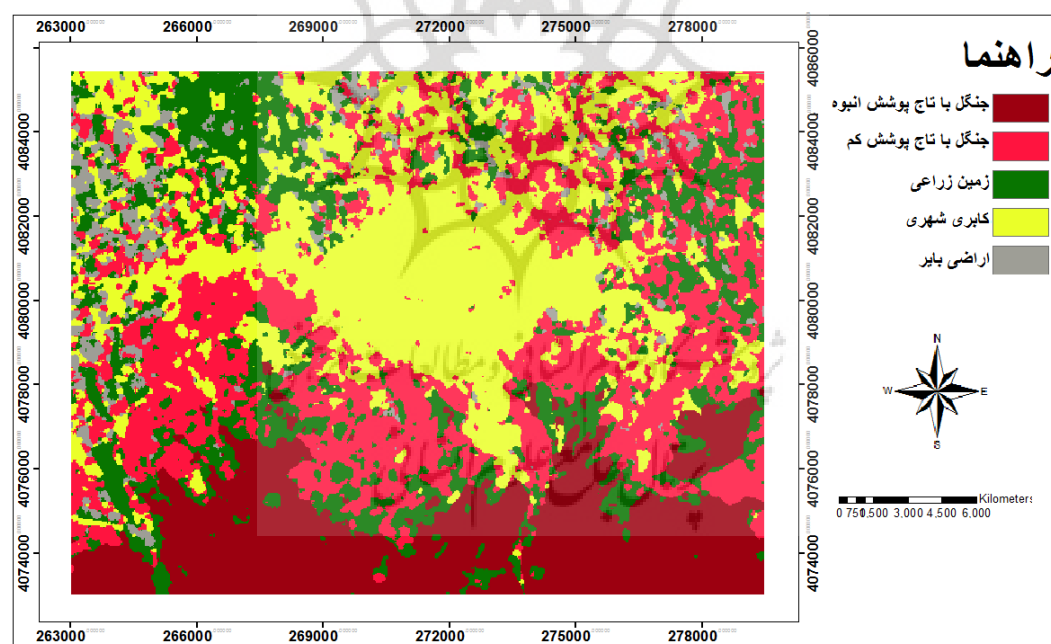
نتایج و یافته‌ها

طبقه‌بندی تصاویر و ارزیابی دقت

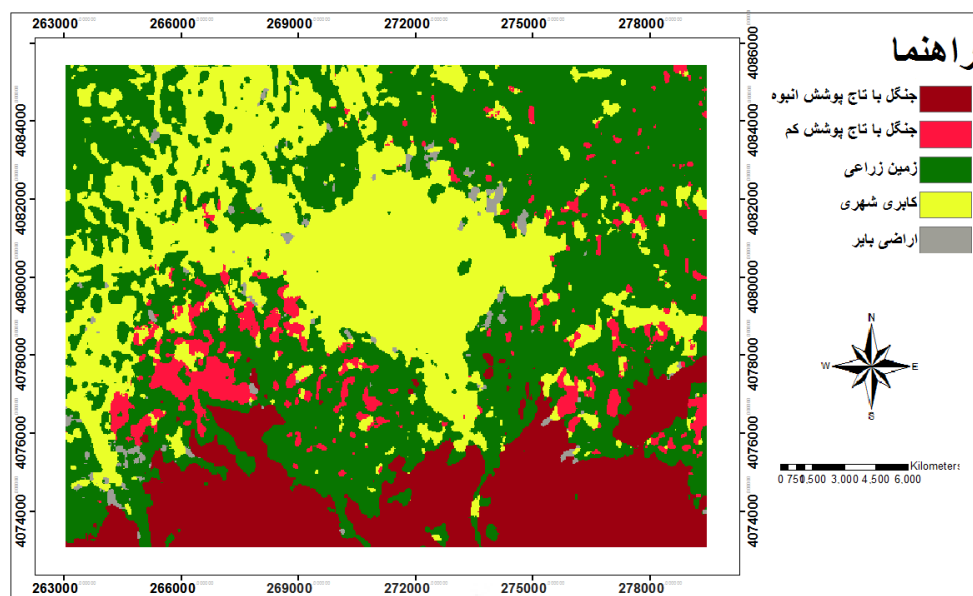
تصاویر چند زمانه استفاده‌شده در این پژوهش پس از تصحیح هندسی، برای تهیه نقشه پوشش زمین مورد بررسی قرار گرفته است. تعداد کاربری‌ها با توجه به تصاویر و نقشه‌های کاربری موجود و شرایط منطقه مورد مطالعه و بازدید میدانی برای تهیه نقشه پوشش زمین به پنج کلاس تقسیم شده است که عبارتند از جنگل با تاج پوشش انبوه، جنگل با تاج پوشش کم، زمین زراعی، کاربری شهری، اراضی بایر (شکل‌های ۳، ۴ و ۵).



شکل ۳: پهنه‌بندی کاربری اراضی شهر گرگان سال ۱۳۵۵



شکل ۴: پهنه‌بندی کاربری اراضی شهر گرگان سال ۱۳۸۰



شکل ۵: پهنه بندی کاربری اراضی شهر گرگان سال ۱۴۰۰

پس از طبقه‌بندی کاربری‌های اراضی، به ارزیابی دقت پرداخته شد. برای ارزیابی دقت طبقه‌بندی، انتخاب یک‌سری پیکسل‌های نمونه معلوم و مقایسه کلاس آنها با نتایج طبقه‌بندی لازم می‌باشد. بدین جهت تصاویر طبقه‌بندی شده با نمونه‌های زمینی تهیه‌شده به نرم‌افزار IDRISI Selva انتقال یافته و میزان دقت کاربری‌ها به شرح جدول ۱ به دست آمد. با توجه به نتایج حاصل از ارزیابی دقت در سه سال مورد مطالعه، میزان تطابق نمونه‌ها با واقعیت زمینی بسیار بالاست.

جدول ۱: ارزیابی دقت طبقه‌بندی (شاخص کاپا) برای سه نمونه تعلیمی

نام کاربری	۱۳۵۵	۱۳۸۰	۱۴۰۰
جنگل با تاج پوشش انبوه	۸۹٪	۹۸٪	۱۰۰٪
جنگل با تاج پوشش کم	۱۹٪	۵۴٪	۵۷٪
زمین زراعی	۸۴٪	۸۸٪	۸۵٪
کاربری شهری	۸۴٪	۹۷٪	۹۶٪
اراضی بایر	۱۰٪	۳۰٪	۶۸٪

مقایسه طبقه‌بندی

آمار مربوط به مساحت و میزان تغییرات اتفاق افتاده طی سه سال مورد نظر در جدول ۲ نشان می‌دهد که در سال ۱۳۵۵، کلاس جنگل با پوشش انبوه کاهش کمی داشته است و به دلیل حفاظتی می‌تواند باشد که در سال‌های اخیر بر روی آن اعمال می‌شود. و جنگل با پوشش کم کاهش چشمگیری داشته است و ظاهراً به اراضی کشاورزی و کاربری‌های شهری تبدیل شده است و در آخر اراضی بایر دارای بیشترین کاهش بوده است.

طی دوره ۱۳۵۵ تا ۱۳۸۰ بیشترین کاهش مربوط به کلاس جنگل با پوشش کم و اراضی بایر می‌باشد. درمقابل کلاس کاربری شهری دارای افزایش زیادی بوده است و بیشترین افزایش در این کلاس رخ داده است، البته کلاس اراضی کشاورزی نیز در کل دوره‌ها روند افزایشی را نشان می‌دهد. بنابراین بیشتر تبدیل‌های صورت گرفته را می‌توان ناشی از گسترش اراضی مسکونی در محدوده جنگل

و اراضی بایر دانست، با دقت در تصاویر پهنه‌بندی شده در سال‌های مختلف می‌توان تغییرات را مشاهده نمود. دلیل رقم بالای رشد اراضی مسکونی در این مقطع زمانی را می‌توان ناشی از عامل مهم، افزایش جمعیت دانست.

طی دوره ۱۳۸۰ تا ۱۴۰۰ کلاس اراضی کشاورزی دارای افزایش چشمگیری می‌باشد و به نظر می‌رسد کاهش شدید کلاس جنگل با پوشش کم به نفع اراضی کشاورزی بوده است و دلیل آن را می‌توان افزایش نیاز به مواد غذایی ناشی از افزایش جمعیت برشمرد. در مجموع در این مقطع زمانی (۴۵ ساله) در دو کلاس زمین زراعی و کاربری شهری به ترتیب روند صعودی و در کلاس‌های جنگل با پوشش کم، اراضی بایر و جنگل با پوشش انبوه به ترتیب روند کاهشی رخ داده است. البته در کلاس اراضی کشاورزی نیز روند کاهشی در حال نمود می‌باشد و علت آن می‌تواند رشد اراضی مسکونی در منطقه باشد.

جدول ۲: مساحت کاربری های اراضی شهر گرگان در طی سالهای ۱۳۵۵-۱۳۸۰-۱۴۰۰ (برحسب هکتار)

نام کاربری	۱۳۵۵	۱۳۸۰	۱۴۰۰
جنگل پرتراکم	۴۲۵۳/۵۸	۳۸۴۱/۳۹	۳۵۳۲/۲۳
جنگل کم تراکم	۹۲۱۳/۸۴	۵۸۱۲/۵۷	۱۰۳۶/۵۳
زمین زراعی	۲۰۴۵/۷۰	۳۷۸۶/۴۴	۹۴۳۷/۴۰
کاربری شهری	۱۲۱۴/۵۵	۵۸۹۵/۳۶	۶۰۰۵/۷۹
اراضی بایر	۳۵۱۸/۰۱	۹۹۶/۲۰	۲۳۳/۷۳

از جدول پیش‌بینی مساحت‌ها می‌توان فهمید که بیشترین افزایش به میزان ۴۷۹۱/۲۴ هکتار مربوط به کاربری ساخته شده است که این طبقه مربوط به مناطق ساخته شده، مناطق تجاری، نظامی، درمانگاه‌ها، بیمارستان، موسسات آموزش عالی، صنعتی و ... می‌باشد و کمترین تغییر ۷۲۱/۳۱ هکتار مربوط جنگل با تاج پوشش انبوه است که در جنوب منطقه مورد مطالعه قرار دارد و به دلیل نظارت‌هایی است که در چند ساله اخیر صورت گرفته است و ۳۲۸۴/۲۸ هکتار، بیشترین کاهش را در اراضی بایر مشاهده می‌کنیم.

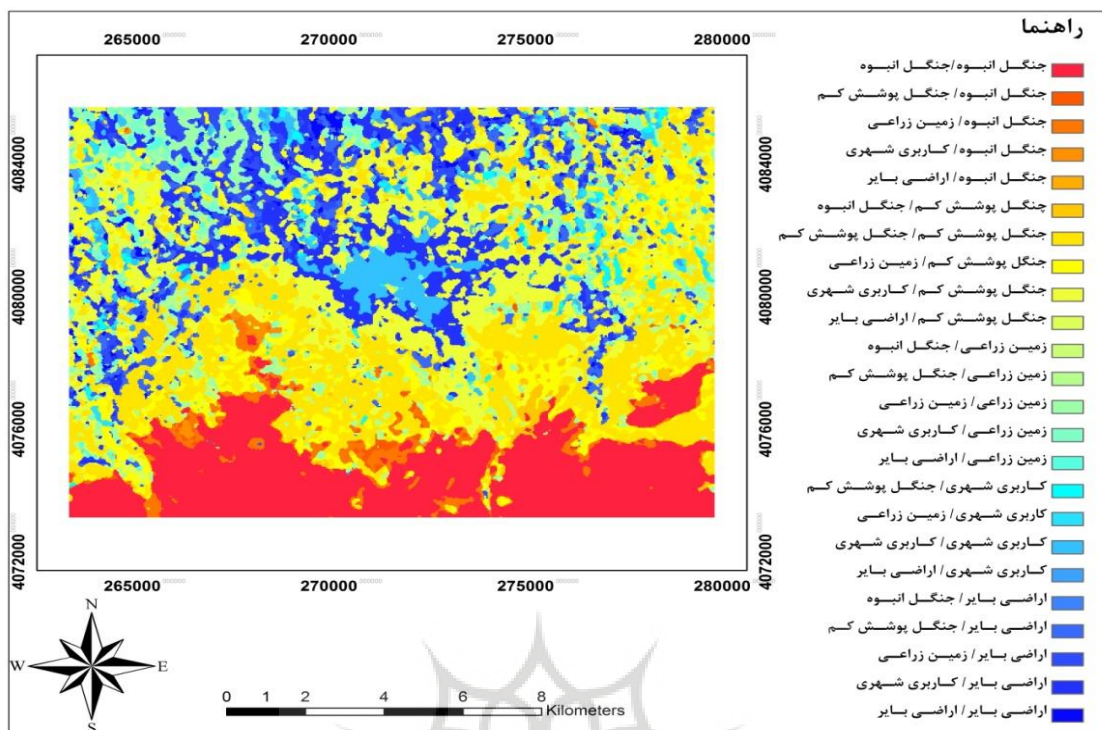
آمار پایش تغییر

در این بخش نقشه‌های حاصل از طبقه‌بندی تصاویر سال‌های مورد بررسی برای پی بردن به تغییرات هر یک از کاربری‌ها به سایر کاربری‌ها در محدوده مورد مطالعه با استفاده از روش جدول متعامد^۱ با همدیگر مورد مقایسه قرار گرفتند. جدول ۳ ماتریس تغییرات کاربری و پوشش اراضی سال‌های ۱۳۵۵-۱۳۸۰ و ۱۳۸۰-۱۴۰۰ را نشان می‌دهد. همچنان که از جدول معلوم است در طی این دو دوره تغییراتی رخ داده است. در دوره ۱۳۵۵-۱۳۸۰ حدود ۵۴/۳۳ درصد و در دوره ۱۳۸۰-۱۴۰۰ حدود ۵۱/۹ تغییرات کاربری در منطقه رخ داده است. با توجه به جدول، طی دوره ۱۳۵۵-۱۳۸۰، بیشترین تغییرات را کاربری شهری دارای روند افزایشی با ۲۵/۵۴ درصد تغییر می‌باشد و کم‌ترین تغییرات در جنگل با پوشش انبوه با ۲/۵۶ درصد تغییر صورت گرفته است. کاربری اراضی بایر نیز با ۴/۱۷ درصد تغییر در حال کاسته شدن است و کاربری زراعی نیز با ۱۵/۵ درصد تغییر در حال کاهش می‌باشد. دوره زمانی ۱۴۰۰-۱۳۸۰ با فاصله زمانی ۲۰ ساله به نسبت درصد تغییرات بالایی را نشان می‌دهد. بیشترین تغییرات مربوط به زمین زراعی با ۳۵/۴۵ درصد روندی افزایشی داشته است. بیشترین تبدیل آن به جنگل با پوشش کم شاید به دلیل رها شدن این اراضی بوده است و بیشترین تغییرات را در کاربری شهری مشاهده می‌کنیم که ۲۹/۳۰ درصد تبدیل دیگر کاربری‌ها را به آن شاهد هستیم که تبدیل قابل ملاحظه‌ای را در ۲۰ سال اخیر نشان می‌دهد.

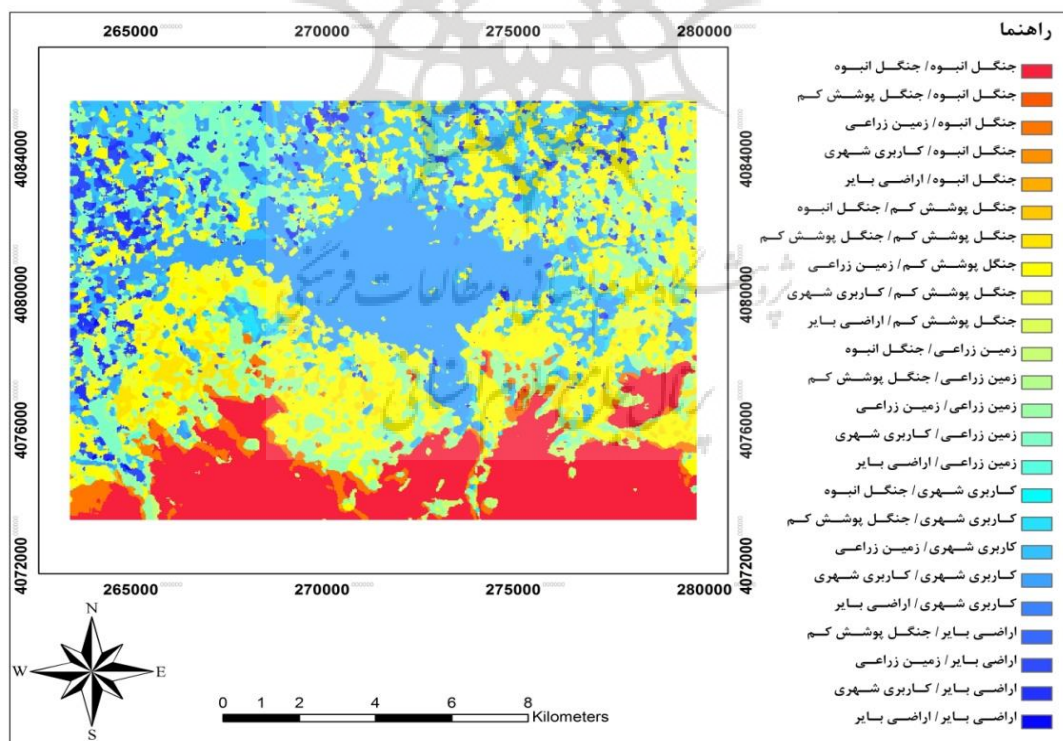
^۱. Cross Tab

جدول ۳: نتایج آمار پایش تغییرات در کلاس‌های پوشش اراضی طی سال‌های ۱۳۵۵-۱۳۸۰-۱۴۰۰ (هکتار و درصد)

۱۴۰۰-۱۳۸۰		۱۳۸۰-۱۳۵۵		کاربری اراضی	
درصد	هکتار	درصد	هکتار		
۱۵/۹۵	۳۲۲۷/۷۶	۱۷/۶۹	۳۵۸۲/۴۴	جنگل انبوه	جنگل با پوشش انبوه
۰/۱۳	۲۷/۰۹	۱	۲۱۵/۳۸	جنگل با پوشش کم	
۱/۳۴	۲۷۰	۰/۲۴	۴۲/۹۳	زمین زراعی	
۰/۰۵	۷/۳۸	۰/۰۴	۱۰/۱۱	کاربری شهری	
۰	۱/۰۲	۰	۰/۶۳	اراضی بایر	
۰/۰۳	۷/۱۱	۰/۷۸	۱۰۹/۵۴	جنگل انبوه	جنگل با پوشش کم
۳/۱۰	۶۲۴/۱۵	۲۰	۴۰۸۰/۱۸	جنگل با پوشش کم	
۱/۰۹	۲۱۹/۴۲	۰/۳۰	۵۲۲/۴۲	زمین زراعی	
۰/۸۵	۱۶۷/۱۳	۱/۲۰	۲۴۱/۷۷	کاربری شهری	
۰/۰۹	۱۸/۷۲	۴/۸۱	۸۲۸/۶۳	اراضی بایر	
۲/۸۰	۵۶۴/۳۰	۲/۵۰	۵۰۵/۵۱	جنگل انبوه	زمین زراعی
۱۹/۷۱	۳۹۹۰/۴۲	۸/۷۰	۱۷۶۲/۷۵	جنگل با پوشش کم	
۱۱/۱۷	۲۲۶۱/۴۲	۳/۳۳	۶۷۶/۷۰	زمین زراعی	
۱۰/۰۴	۲۰۳۲/۵۶	۰/۸۵	۱۷۲/۷۲	کاربری شهری	
۲/۹۰	۵۸۸/۶۹	۳/۴۵	۶۶۷/۷۴	اراضی بایر	
۰/۰۴	۸/۱۰	۰/۳۵	۷۲/۹۳	جنگل انبوه	کاربری شهری
۵/۱۵	۱۰۴۳/۱۰	۱۳/۴۷	۲۷۳۷/۱۷	جنگل با پوشش کم	
۴/۸۰	۹۶۵/۸۸	۲/۸۹	۵۶۸/۵۱	زمین زراعی	
۱۷/۸۵	۳۶۱۱/۵۲	۳/۵۱	۷۱۴/۰۳	کاربری شهری	
۱/۸۶	۳۷۷/۱۹	۸/۸۷	۱۸۰۲/۷۰	اراضی بایر	
۰/۰۸	۱۷/۸۲	۰	۱/۲۶	جنگل انبوه	اراضی بایر
۰/۵۰	۱۰۳/۱۴	۲/۶۸	۴۵۷/۶۱	جنگل با پوشش کم	
۰/۲۶	۵۳/۶۴	۱/۰۵	۲۱۳/۸۴	زمین زراعی	
۰/۲۵	۵۱/۷۵	۰/۴۴	۹۱/۱۹	کاربری شهری	
۰/۰۳	۷/۳۸	۱/۱۴	۲۳۲/۲۸	اراضی بایر	



شکل ۶: نقشه حاصل از قطع دادن نقشه طبقه‌بندی شده سال ۱۳۵۵-۱۳۸۰



شکل ۷: نقشه حاصل از قطع دادن نقشه طبقه‌بندی شده سال ۱۴۰۰-۱۳۸۰

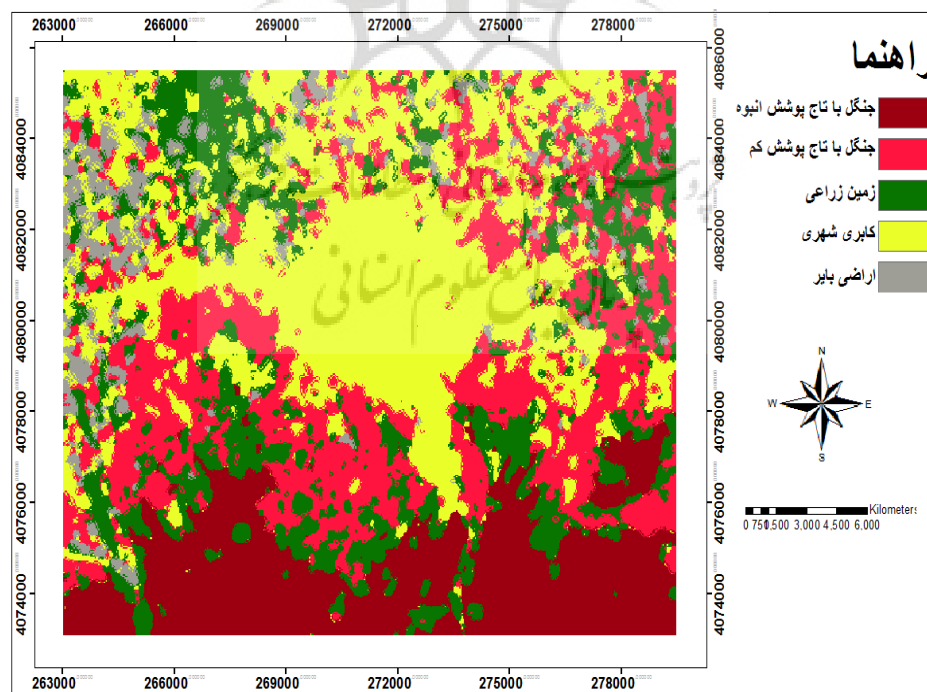
پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی برای آینده با استفاده از روش CA-MARKOV

در این پژوهش به پیش‌بینی میزان تغییرات کاربری اراضی در نرم‌افزار IDRISI Selva با استفاده از روش زنجیره‌ای مارکوف برای سال‌های ۲۰۲۱ و ۲۰۵۰ پرداخته شد و نتایج حاصله در جدول مساحت کاربری‌های پیش‌بینی شده و تصاویر حاصل از پیش‌بینی نمایش داده شده است.

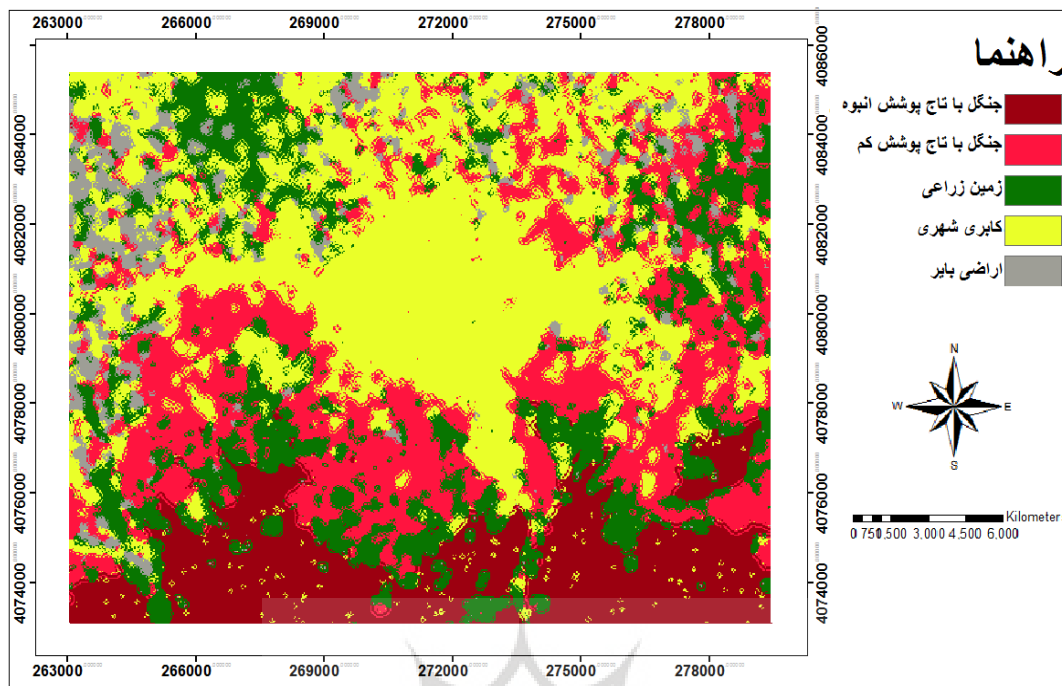
جدول ۴: مساحت کاربری های اراضی شهر گرگان در طی سالهای-۲۰۲۱ و ۲۰۵۰ (برحسب هکتار)

نام کاربری	۲۰۲۱	۲۰۵۰
جنگل پرتراکم	۳۵۳۴/۳۶	۳۲۳۱/۲۱
جنگل کم تراکم	۵۱۱۰/۳۸	۴۹۴۱/۲۷
زمین زراعی	۳۸۲۰/۶۹	۳۷۹۶/۶۵
کاربری شهری	۶۶۷۹/۰۷	۷۱۴۱/۶۶
اراضی بایر	۱۱۸۷/۴۶	۱۲۲۱/۱۷

از جدول پیش‌بینی مساحت‌ها می‌توان دریافت که بیشترین افزایش کاربری مربوط به کاربری ساخته شده به میزان ۴۶۲/۵۹ هکتار است که این طبقه مربوط به مناطق ساخته شده، مناطق تجاری، نظامی، درمانگاه‌ها، بیمارستان، موسسات آموزش عالی، صنعتی و ... می‌باشد. و کمترین تغییر مربوط جنگل با تاج پوشش انبوه است (۳۰۳/۱۵ هکتار) که در جنوب منطقه مورد مطالعه قرار دارد. در ضمن مشاهده می‌شود که بسیاری از اراضی کشاورزی و جنگلی ما به دلیل بی‌توجهی به اراضی بایر تبدیل شده است و برای این کاربری افزایش ۳۳/۷۱ هکتاری پیش‌بینی شده است.



شکل ۸: تصاویر حاصل از پیش‌بینی کاربری اراضی سال ۲۰۲۱



شکل ۹: تصاویر حاصل از پیش‌بینی کاربری اراضی سال ۲۰۵۰

همانطور که از نقشه‌های پیش‌بینی دریافت می‌شود بیشترین توسعه شهری، شهر گرگان به ترتیب به سمت شمال و شرق است یعنی هجوم کاربری‌های ساخته شده و شهری به سمت اراضی بایر و زمین‌های زراعی. کمترین تغییر مربوط به جنگل با تاج پوشش انبوه است که به دلیل انبوهی جنگل و نظارت بر آنها امکان تخریب آن به سادگی کاربری‌های دیگر نیست و بنابراین کمتر آسیب خواهد دید.

در طی دوره ۳۰ ساله پیش‌بینی تغییرات کاربری‌ها بدین نتیجه رسیدیم که بیشترین تغییرات کاربری مربوط به دو کاربری اراضی مسکونی با روند افزایشی و کاربری جنگل با روند کاهشی شدید خواهد بود و با توجه به افزایش میزان جمعیت در شهر گرگان، بایستی تدابیری برای برنامه‌ریزی‌های دقیق گسترش فضایی-کالبدی شهر اندیشیده شود تا از کاربری با ارزش جنگل محافظت به عمل آید و از تخریب جنگل برای ساخت و سازهای انسانی جلوگیری شود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

ویژگی جوامع شهری امروز سبب ناپایداری انسانها و محیط زیست گردیده است. درک مکانیزم فرآیند رشد شهری به منظور رسیدن به شکل شهری پایدار بسیار مهم است. مدل‌های فضایی ابزارهای مفید برای درک فرآیند توسعه شهری، ابزار کمکی سیاست‌گذاری، مدیریت و برنامه‌ریزی شهری و فراهم کننده اطلاعات برای ارزیابی تاثیرات شهری بر محیط زیست و اکوسیستم هستند. در این کار پژوهشی با استفاده از نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی بدست آمده و ترکیب آنها با روش‌های پیش‌بینی زنجیره‌های مارکوف و مدل اتوماسیون سلولی (cellular automata) به شبیه‌سازی و تغییرات فیزیکی آبی شهر گرگان پرداخته شد.

با بررسی نتایج بدست آمده از پایش تغییر، می‌توان بیان کرد که بیشترین افزایش سطوح کاربری مربوط به اراضی زراعی ۷۳۹۲ هکتار و کاربری شهری ۴۷۹۱ هکتار است. در مقابل بیشترین کاهش مربوط به جنگل با پوشش کم ۸۱۷۷ هکتار و اراضی بایر ۳۲۸۵ هکتار بوده است. در جنگل با پوشش کم به دلیل عدم طرح‌های حفاظتی و ساخت سازهای بی‌رویه و غیر مجاز کاهش قابل توجهی را شاهد هستیم. اگر توسعه شهر بدون برنامه‌ریزی صحیح اینگونه ادامه پیدا کند واضح است که همچنان مساحت اراضی جنگلی کاهش

پیدا کرده و کاربری‌های ساخته شده روندی افزایشی را طی می‌کنند. از مجموعه نتایج این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که پراکنش افقی به علت آثار نامطلوب اقتصادی و زیست محیطی و تاثیر منفی آن بر اراضی جنگلی و زمین‌های کشاورزی، شهر را به سمت ناپایداری سوق می‌دهد. در واقع بی‌توجهی به ضوابط و مقررات گسترش کالبدی- فضایی شهر در سال‌های اخیر به خصوص در ۳۰ سال گذشته، مایه نابودی اراضی کشاورزی و جنگلی و تبدیل آنها به کاربری شهری و ساخته شده، گردیده است.

منابع و مأخذ

احدنژادروشتی، محسن؛ زلفی، علی؛ و شکری پوردیزج، حسین (۱۳۹۰). ارزیابی و پیش‌بینی گسترش فیزیکی شهرها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی شهر اردبیل، ۱۳۶۳-۱۴۰۰).

<https://www.sid.ir/paper/130560/fa>

احدنژادروشتی، محسن؛ و حسینی، سیداحمد (۱۳۹۰). ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات و پراکنش افقی شهرها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه و سیستم اطلاعات جغرافیایی (نمونه موردی: شهر تبریز در مقطع زمانی ۱۳۸۹-۱۳۶۳)، مجله پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، سال دوم، شماره چهارم، بهار ۲۰-۱.

<https://ensani.ir/file/download/article/20151025084131-10004-1.p>

احمدی ندوشن، م؛ و سفیانیان، ع (۱۳۸۵). آشکارسازی و پیش‌بینی تغییرات پوشش اراضی شهر اراک با استفاده از سنجش از دور و GIS، نشریه علوم و تکنولوژی محیط زیست، شماره ۱۶، ۳۴۱-۳۳۱.

<https://www.sid.ir/paper/87005/fa>

اکبری، د؛ مرادی‌زاد، م؛ و اکبری، م (۱۳۹۸). تغییرات کاربری اراضی و شبیه‌سازی رشد و توسعه شهری رشت با استفاد از مدل شبکه عصبی و سلول‌های خودکار زنجیره مارکوف، پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، ۱۰(۳۹)، ۱۶۶-۱۵۷.

<https://www.sid.ir/paper/87005/fa>

خوش‌گفتار، مهدی؛ و طالعی، محمد (۱۳۸۹). شبیه‌سازی رشد شهری در تهران، با استفاده از مدل CA-Markov، مجله سنجش از دور و GIS ایران، سال دوم، شماره دوم، ۳۳-۱۷.

https://gisj.sbu.ac.ir/article_94508_e8a5f9d2a90f164a8c1faf2b50aa2b1e.pdf?lang=en

صالحی، ن؛ اختصاصی، م.ر؛ و طالبی، ع. (۱۳۹۸). پیش‌بینی روند تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل زنجیره مارکوف CA-Markov (مطالعه موردی: حوضه آبخیز صفارود رامسر)، نشریه سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۱۰(۱): ۱۲۰-۱۰۶.

https://journals.iau.ir/article_665232_b344efcf0e5b8dc9062dfd046db2f7ce.pdf

فلاح‌تکارس؛ سفیانیان، ع؛ خواجه‌الدین، س.ج؛ و ضیایی، ح. (۱۳۸۸). بررسی روند تغییرات پوشش اراضی اصفهان در ۴ دهه گذشته با استفاده از سنجش از دور. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال سیزدهم، شماره چهل هفتم، ص. ۳۸۱-۳۹۶.

<https://jcpii.iut.ac.ir/article-1-1062-fa.pdf>

فیضی‌زاده، بختیار؛ و حاجی‌میررحیمی، سید محمود (۱۳۸۷). آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از روش طبقه‌بندی شی‌گرا (مطالعه موردی: شهرک اندیشه)، نقشه‌برداری، سال نوزدهم، شماره ۹۹.

<https://www.sid.ir/paper/512596/fa>

قراگوزلو، علیرضا؛ نوری کرمانی، علی؛ و کشمیری، زهرا (۱۳۸۸). ارزیابی تغییرات کالبدی و تحلیل توسعه شهری با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای با قدرت بالا و سامانه‌های GIS/RS (مطالعه موردی: منطقه ۵ شهر تهران)، مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره یازدهم، شماره یک، ویژه نامه بهار، ۲۲۹-۲۱۹.

<https://www.sid.ir/paper/366813/fa>

کیانی‌سلمی، ا؛ و ابراهیمی، ع (۱۳۹۷). ارزیابی پوشش اراضی شهرکرد و پیش‌بینی آینده آن با بهره‌گیری از داده‌های دورسنجی و مدل CA-Markov، نشریه برنامه‌ریزی فضایی، ۸(۱): ۸۸-۷۱.

https://sppl.ui.ac.ir/article_22701_726232893662bfd9de070b195652f7a1.pdf

میثاق، ن؛ نیسایی سامانی، ن؛ و تومانیان، آ (۱۳۹۷). شبیه‌سازی رشد شهری تبریز با استفاد از مدل CA-Markov و تصمیم‌گیری چندمعیاره، پژوهشهای جغرافیای انسانی (پژوهشهای جغرافیایی)، ۵۰(۱)، ۲۳۱-۲۱۷.

https://jhgr.ut.ac.ir/article_63011_2f4f1163f7d7199edbd9b59498ebe16b.pdf

- Aburas, M.M., Ming, H.O.Y., Ramli, M.F., & Ash'aari, Z.H. (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*.
- <https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.03.006>
- Aslam, R.W., Shu, H., & Yaseen, A. (2023). Monitoring the population change and urban growth of four major Pakistan cities through spatial analysis of open source data. *Annals of GIS*, 29(3), 355-367.
- <https://doi.org/10.1080/19475683.2023.2166989>
- Baqa, M. F., Chen, F., Lu, L., Qureshi, S., Tariq, A., Wang, S., Jing, L., Hamza, S., & Li, Q. (2021). Monitoring and modeling the patterns and trends of urban growth using urban sprawl matrix and CA-Markov model: A case study of Karachi, Pakistan. *Land*, 10(7), 700.
- <https://doi.org/10.3390/land10070700>
- Bhat, P.A., Shafiq, M. u., Mir, A. A., & Ahmed, P. (2017). Urban sprawl and its impact on landuse/land cover dynamics of Dehradun City, India. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 6(2), 513-521
- <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2017.10.003>
- Cabral, P., & zamyatin, A. (2006). "Three land change models for urban dynamics analysis in sintra-cassais area". 1st EARSEL Workshop of the SIG urban remote sensing, Berlin.
- Chavez, P.S.J.R., & Mackinnon, D. J. (1994). Automatic detection of vegetation changes in the southwestern United States using remotely sensed images. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 60: PP. 571-583.
- <https://www.researchgate.net/publication/255022354>
- Deep, Sh., Saklani, A. 2014. Urban sprawl modeling using cellular automata, *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 17(2):179-187.
- <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2014.07.001>
- Dellepian, S.G., & Smith, P.C. (1999). Quality assessment of image classification algorithms for land cover mapping: A review and a proposal for a cost based approach, *International Journal of Remote Sensing*. 20: PP. 1461-1486 .
- <https://doi.org/10.1080/014311699212560>
- Du, Y., Teillet, P.M., & Cihlar, J. (2002). Radiometric normalization of multi-temporal high-resolution satellite images with quality control for land cover change detection. *Remote Sensing of Environment* 82:PP. 123-134.
- [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00029-9](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00029-9)
- Eastman, J.R., McKendry, J., & Fulk, M.A. (2006). Change and time series analysis. In: *Explorations in Geographic Informations Systems Technology*, United Nations Institute for Training and Research (UNITAR), Geneva. 325 PP.
- Guan, Y., Li, X., Yang, J., Li, S., & Tian, S. (2022). Spatial differentiation of comprehensive suitability of urban human settlements based on GIS: A case study of Liaoning province, China. *Environment, Development and Sustainability*, 24(3), 4150-4174.
- <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01610-x>
- Gupta, P., & Bharat, A. (2022). Developing sustainable development Index as a tool for appropriate urban land take. *Environment, Development and Sustainability*, 24(11), 13378-13406.
- <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01992-y>
- Gupta, R., Sharma, M., Singh, G., & Joshi, R.K. (2023). Characterizing urban growth and land surface temperature in the western Himalayan cities of India using remote sensing and spatial metrics. *Frontiers in Environmental Science*, 11, 60.
- <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1122935>
- Hegazy, I. R., & Kaloop, M. R. (2015). Monitoring urban growth and land use change detection with GIS and remote sensing techniques in Daqahlia governorate Egypt. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 4(1), 117.
- DOI: [10.1016/j.ijsbe.2015.02.005](https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2015.02.005)
- Kaya, S., & Curran, P.J. (2006). Monitoring urban growth on the European side of the of the Istanbul metropolitan area: A case study, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Volume 8, Issue 1, Pages 18-25.
- <https://doi.org/10.1016/j.jag.2005.05.002>
- Kisamba, F. C., & Li, F. (2023). Analysis and modelling urban growth of Dodoma urban district in Tanzania using an integrated CA-Markov model. *GeoJournal*, 88(1), 511-532.
- <https://doi.org/10.1007/s10708-022-10617-4>
- Matovnikov, S., & Matovnikova, N. (2016). Innovative urban planning methods for the urban landscape design in the Volgograd agglomeration. *Procedia Engineering*, 150, 1966-1971.
- <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.199>

McDonald, R. I., Mansur, A. V., Ascensão, F., Colbert, M. I., Crossman, K., Elmqvist, T., Gonzalez, A., Güneralp, B., Haase, D., & Hamann, M. (2020). Research gaps in knowledge of the impact of urban growth on biodiversity. *Nature Sustainability*, 3(1), 16-24.

<https://doi.org/10.1038/s41893-019-0436-6>

Mubea, K.W., Ngigi, T.G., & Mundia, C.N. (2010). Assessing application of Markov chain analysis in predicting land cover change: A case study of Nakuru Municipality: 126-144.

<http://journals.jkuat.ac.ke/index.php/jagst/article/download/20/16>

Musavengane, R., Siakwah, P., & Leonard, L. (2020). The nexus between tourism and urban risk: Towards inclusive, safe, resilient and sustainable outdoor tourism in African cities. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*, 29, 100254.

<https://doi.org/10.1016/j.jort.2019.100254>

Qian, Y., Chakraborty, T., Li, J., Li, D., He, C., Sarangi, C., Chen, F., Yang, X., & Leung, L.R. (2022). Urbanization impact on regional climate and extreme weather: Current understanding, uncertainties, and future research directions. *Advances in Atmospheric Sciences*, 39(6), 819-860.

<https://doi.org/10.1007/s00376-021-1371-9>

Shafizadeh Moghadam, H., & Helbich, M. (2013). Spatiotemporal urbanization processes in the megacity of Mumbai, India: A Markov chains-cellular automata urban growth model. *Applied Geography*, 40, 140-149.

<https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2013.01.009>

Siddiqui, A., Siddiqui, A., Maithani, S., Jha, A.K., Kumar, P., & Srivastav, S.K. 2017. Urban growth dynamics of an Indian metropolitan using CA Markov and Logistic Regression, *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 21(3): 229-236.

<https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2017.11.006>

Tariq, A., Yan, J., & Mumtaz, F. (2022). Land change modeler and CA-Markov chain analysis for land use land cover change using satellite data of Peshawar, Pakistan. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 128, 103286.

<https://doi.org/10.1016/j.pce.2022.103286>

UNFPA. (2022). *World population prospects 2022: Summary of results*. New York, United Nations Population Fund.

<https://www.un.org/development/desa/pd/content/World-Population-Prospects-2022>