دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی فضای جغرافیایی

سال بیست‌ودوم، شماره‌ی ۷۹
پاییز ۱۴۰۱، صفحات ۱۹-۱

DOI:10.52547/GeoSpa.22.3.1

مهدی مرآتی فر[۱]
شهرام کبودوندپور[۲]
*جمیل امان‌اللهی[۳]

بررسی قابلیت مدل Ca-Markov در پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی (مطالعه‌ی موردی: منطقه‌ی حفاظت شده‌ی بیجار)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۲۱

چکیده

امروزه به دنبال پیشرفت فن سنجش از دور و افزایش دقت و قابلیت‌های تصاویر ماهواره‌ای، به نظر می‌رسد با تلفیق این قابلیت‌ها با اطلاعات موجود در خصوص تغییر یا تخریب منابع در گذشته و حال و براساس مدل‌سازی قادر به پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در مناطق طبیعی و انسان‌ساخت از جمله مناطق حفاظت شده باشیم. یکی از راه‌های بسیار مهم برای این منظور، مدل‌سازی مکانی تغییرات کاربری زمین است که با استفاده از رهیافت‌های مختلفی انجام می‌شود؛ بنابراین مطالعه حاضر با هدف بررسی قابلیت مدل Ca-Markov برای بررسی تغییرات ایجاد شده در منطقه‌ی حفاظت شده‌ی بیجار در بازه‌ی زمانی ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۳ و همچنین مدل‌سازی این تغییرات و پیش‌بینی آن برای سال ۲۰۲۶ انجام شد. برای این منظور از تصاویر ماهواره‌ی لندست سال‌های ۱۹۸۷، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۳ برای استخراج نقشه‌های کاربری زمین استفاده شد. اعتبارسنجی مدل با مقایسه‌ی بین نقشه‌ی پیش‌بینی شده برای سال ۲۰۱۳ توسط مدل و نقشه‌ی کاربری اراضی در همان سال انجام شد به‌طوری که مساحت کاربری‌های مرتع و کشاورزی در سال ۲۰۱۳ حدود ۲۱۱۸۰/۶۵ و ۱۰۲۷۳/۵۳ هکتار بوده است که این مقدار مساحت توسط مدل به‌ترتیب حدود ۲۱۹۳۵/۹۷ و ۹۶۳۱/۶۲ هکتار محاسبه شده است که بیانگر دقت بالای مدل مورد استفاده برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی است. نتایج نشان داد که از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۰ حدود ۱۲ درصد و از سال ۲۰۰۰

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان.
۲- گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان.
*۳-گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان. (نویسنده مسئول). E-mail: j.amanollahi@uok.ac.ir

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

تا ۲۰۱۳ هم حدود ۱۰ درصد از اراضی مرتعی به کشاورزی تبدیل شده است. پیش‌بینی انجام شده توسط مدل CA-Markov نشان می‌دهد در صورت ادامه‌ی روند کنونی حدود ۱۳ درصد دیگر از سطح مراتع در بین سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲٦ به زمین‌های کشاورزی تبدیل خواهند شد.

کلید واژه‌ها: تغییرات کاربری اراضی، مدل‌سازی مکانی، آشکارسازی تغییرات، Ca-Markov، منطقه حفاظت شده.

مقدمه

تخریب زیستگاه به‌عنوان اصلی‌ترین عامل تهدیدکننده‌ی تنوع زیستی در مقیاس جهانی و سایر رده‌های تهدید که همگی ناشی از تاثیر مستقیم یا غیرمستقیم فعالیت‌های بشری هستند، نگرانی‌های فزاینده‌ای را برای تضمین بقای تنوع زیستی به‌وجود آورده است (Deke, 2008: 20; Tan et al., 2022: 63260). اگرچه تنوع زیستی به دلیل نقش‌های بسیار مهم و متعدد بوم‌شناختی که در مقیاس جهانی دارد سزاوار حفاظت است، اما ملاحظات سیاسی و اجتماعی که دربرگیرنده‌ی نیازهای اولیه‌ی انسان و نیازهای منطقی برای توسعه است، امکان اختصاص وسعت زیادی از عرصه‌های طبیعی هر کشور و منطقه به حفاظت را میسر نمی‌سازد (Costanza et al., 1997: 253). مناطق حفاظت‌شده از نظر حفاظت دارای ارزش استراتژیک هستند و برای حراست، ترمیم و احیای گونه‌های گیاهی و جانوری و جلوگیری از انقراض تدریجی آن‌ها انتخاب می‌شوند (Majnounian, 2011: 45; Hajiahmadi & Amanollahi, 2018: 49; Gohr et al., 2022: 4053). آگاهی از میزان تغییرات در کاربری اراضی به‌وسیله‌ی سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، برای مدیریت منابع طبیعی و اتخاذ تصمیمات صحیح، ضروری به نظر می‌رسد (Mohammadyari et al., 2018: 1; Rezaei et al., 2019: 1; Seifi et al., 2022:1). رهیافت‌های مختلفی برای مدل‌سازی مکانی تغییرات کاربری اراضی وجود دارد که از بین آن‌ها می‌توان به رهیافت‌های رگرسیون لجستیک، GEOMOD، سلول‌های خودکار (Tian et al., 2011: 2; Yang et al., 2012: 1; Li et al., 2012: 2; Riccioli et al., 2013: 2)، الگوهای زمین منظر (Yang et al., 2014: 6) و مدل Ca-Markov اشاره کرد (Hu & Lo, 2007: 668). مدل‌های پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین به دو نوع تقسیم می‌شوند: مدل‌های تغییر کاربری زمین غیرمکانی و مدل‌های تغییر کاربری زمین مکانی (Huang et al., 2007: 57). مدل‌های اولیه از نوع غیر مکانی بودند مانند مدل زنجیره‌ی مارکوف که توانایی تعیین محل تغییر کاربری را ندارند (McDonald & Urban, 2006: 8). مدل‌های تغییر کاربری مکانی می‌توانند علاوه بر مقدار تغییر کاربری، محل تغییرات را نیز تعیین کنند. برای آگاهی از محل تغییرات کاربری‌ها باید از مدل‌های تغییر کاربری زمین مکانی استفاده کرد (Huang et al., 2007: 58). مدل Ca-Markov بیش‌تر برای پیش‌بینی تغییرات و توسعه‌ی شهری استفاده شده است. مدل Ca-Markov دارای قدرت زیادی در مدل‌سازی کمیت تغییرات کاربری زمین است (Halmy et al., 2015: 2). ازجمله‌ی این مطالعات، Falahatkar et al (2018) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای MSS سال ۱۳۵۱ و TM سال ۱۳۸۹ و +ETM سال ۱۳۸۰ به بررسی توانایی

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

مدل Ca-Markov در پیش‌بینی نقشه‌ی کاربری اراضی در ۲٤ سال آینده در شهر اصفهان پرداختند. آن‌ها نشان دادند که در صورت ثابت ماندن فرآیندهای تغییر پوشش اراضی در منطقه، مدل Ca-Markov می‌تواند با دقتی کم‌تر از هفتاد درصد، به پیش‌بینی تغییرات در ۲٤ سال آینده بپردازد. Hadavi and Rustaee (2018) با استفاده از داده‌های سنجش از دور چند زمانه‌ی (Landsat TM) مربوط به سال‌های ۱۹۸۵، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ شهر زنجان، تغییرات پوشش و کاربری اراضی شهری در محدوده‌ی زمانی مورد مطالعه را شبیه‌سازی کردند. نتایج به‌دست آمده نشان‌دهنده‌ی رشد شهر زنجان همراه با از بین رفتن باغ‌ها و مزارع و همچنین افزایش اراضی بایر و رها شده در داخل محدوده بوده و این امر بیانگر توسعه‌ی نامطلوب شهر زنجان در سه دهه‌ی اخیر است. Halmy et al (2015) با استفاده از مدل CA-Markov میزان تغییرات کاربری زمین را در بیابان‌های ساحلی شمال‌غربی مصر بر اساس روند تغییرات فعلی تا سال ۲۰۲۳ پیش‌بینی کردند. آن‌ها از تصاویر ماهواره‌ی لندست سال‌های ۱۹۹۸، ۱۹۹۹ و ۲۰۱۱ برای تهیه‌ی نقشه پراکنش پوشش اراضی منطقه استفاده کردند و بیان داشتند که دقت کلی طبقه‌بندی تصاویر ۹۰٪ بوده است. نتایج نشان داد که مدل CA-Markov دارای دقت مناسبی برای پیش‌بینی تغییرات در سال ۲۰۱۱ بر اساس مقایسه با تغییرات واقعی در منطقه است و نتایج پیش‌بینی مدل برای سال ۲۰۲۳ نشان داد که در این دوره افزایش گسترش شهرسازی، افزایش مراکز جمعیتی روستای و همچنین افزایش زمین‌های زیر کشت به سمت غرب و شمال اتفاق می‌افتد. Mondal et al (2016) از دو روش آزمون آماری و مدل‌سازی CA-Markov برای پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین در جنگل‌های هند استفاده کردند آن‌ها نشان دادند که نتایج مدل CA-Markov دارای دقت بیش‌تری در برآورد میزان واقعی تغییرات کاربری زمین است. Aburas et al (2017) در مطالعه‌ی توانایی مدل CA-Markov در بررسی روند مکانی و زمانی رشد شهری را مورد آزمون قرار دادند آن‌ها نشان دادند استفاده از مدل‌های AHP[4] و FR[5] در کنار مدل CA-Markov سبب افزایش توانایی این مدل در پایش و بررسی روند رشد شهری برای دست‌یابی به توسعه‌ی پایدار شهری است. با توجه به کارایی مدل Ca-Markov در مطالعات ذکر شده، به نظر می‌رسد این مدل علاوه بر مناطق شهری (Aburas et al., 2017) و جنگلی (Mondal et al., 2016)، توانایی پیش‌بینی تغییرات در مناطقی که بیش‌تر دارای پوشش علفی هستند را نیز دارد. لذا هدف از این مطالعه، پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در منطقه‌ی حفاظت شده‌ی بیجار (با سیمای فیزیونومی استپی تپه ماهوری) در استان کردستان با استفاده از مدل Ca-Markov و هم‌چنین بررسی قابلیت و توانایی این مدل در منطقه است.

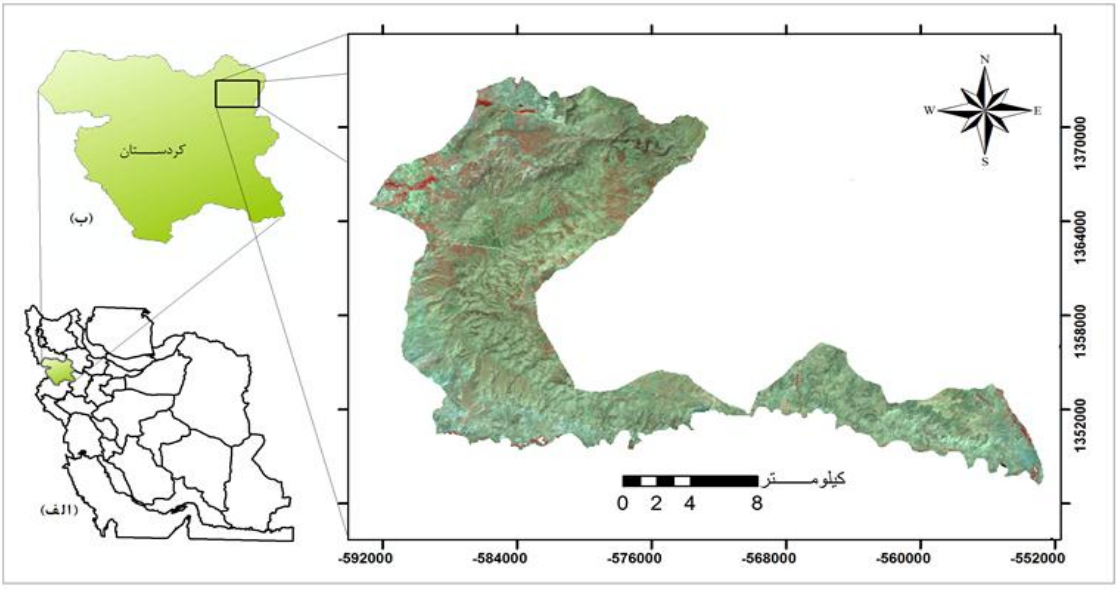
منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی حفاظت شده‌ی بیجار در شمال شهرستان بیجار در استان کردستان و جنوب‌شرقی شهرستان تکاب در استان زنجان و در طول جغرافیایی ٤۷ درجه و ۲۵ دقیقه و ۸ ثانیه تا ٤۷ درجه و ۵۱ دقیقه و ٤ ثانیه‌ی شرقی و عرض

4- Analytical Hierarchy Process
5- Frequency Ratio

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

جغرافیایی ۳۵ درجه و ۵۹ دقیقه و ۵۳/۵ ثانیه تا ۳۶ درجه و ۱۲ دقیقه و ۲۵/۹ ثانیه‌ی شمالی قرار گرفته است. مساحت منطقه حدود ۳۱۶۱۲ هکتار می‌باشد و تقریبا می‌توان گفت که نیمی از این مساحت را اراضی با شیب کم‌تر از ۱۲ درصد تشکیل می‌دهد. شکل (۱) موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه را نشان می‌دهد:



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی حفاظت شده‌ی بیجار

Figure 1: Geographical location of Bijar protected area

مواد و روش‌ها

برای مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی، ابتدا باید کاربری‌های موجود در منطقه تعیین شوند و سپس نقشه‌های کاربری‌ها تهیه شود. سپس آشکارسازی تغییرات انجام شده و مدل‌سازی انجام شود. برای تهیه‌ی نقشه‌های کاربری اراضی، از تصاویر سنجنده‌ی TM[۶] ماهواره‌ی لندست ۵ در سال ۱۹۸۷، سنجنده‌ی ETM+[۷] لندست[۷] در سال ۲۰۰۰ و سنجنده‌ی OLI[۸] لندست[۸] در سال ۲۰۱۳ استفاده شد. هم‌چنین از نقشه‌های رقومی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان جغرافیایی برای تهیه‌ی مدل رقومی ارتفاع[۹] منطقه استفاده شد. از این لایه می‌توان در تهیه‌ی بسیاری از نقشه‌ها، اطلاعات مورد نیاز و تجزیه‌وتحلیل‌های مرتبط با زمین استفاده نمود. از جمله کاربردهای آن می‌توان به تهیه‌ی نقشه‌ی شیب و طبقات آن، تهیه‌ی نقشه‌ی جهت و طبقات آن، ایجاد نقشه‌ی شکل زمین، پروفیل ارتفاعی و مرز حوزه‌ی آبخیر، اشاره نمود (Darvish-Safat et al., 2004: 35). لایه‌ی شیب و جهت و طبقات ارتفاعی منطقه‌ی مورد مطالعه با استفاده از لایه‌ی مدل رقومی ارتفاع تهیه گردیدند. جدول (۱) داده‌های مورد استفاده در این مطالعه را نشان می‌دهد:

6- Thematic Mapper
7- Enhanced Thematic Mapper Plus
8- Operational Land Imager
9- Digital Elevation Model

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

جدول ۱- تصاویر و نقشه‌ی مورد استفاده در مطالعه

Table 1- Satellite images and map used in the study

ردیف	داده‌های مورد استفاده	توصیف داده‌ها	تاریخ	مسیر/ردیف
۱	تصاویر سال ۱۹۸۷	سنجنده‌ی TM لندست ۵	۱۹۸۷/۰۶/۱۰	۱۶۷ / ۳۵
۲	تصاویر سال ۲۰۰۰	سنجنده‌ی +ETM لندست ۷	۲۰۰۰/۰۶/۰۵	۱۶۷ / ۳۵
۳	تصاویر سال ۲۰۰۰	سنجنده‌ی +ETM لندست ۷	۲۰۰۰/۰۸/۲۲	۱۶۷ / ۳۵
٤	تصاویر سال ۲۰۱۳	سنجنده‌ی OLI لندست ۸	۲۰۱۳/۰۶/۰۲	۱۶۷ / ۳۵
۵	تصاویر سال ۲۰۱۳	سنجنده‌ی OLI لندست ۸	۲۰۱۳/۰۸/۰٤	۱۶۷ / ۳۵
٦	نقشه‌های رقومی ۱:۲۵۰۰۰	سازمان جغرافیایی کشور	۱۳۸۲	-

در این تحقیق به منظور تجزیه‌وتحلیل داده‌ها و آشکارسازی و مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی از نرم‌افزارهای ایدریسی نسخه‌ی تایگا و Arc GIS نسخه‌ی ۹/۳ استفاده شد.

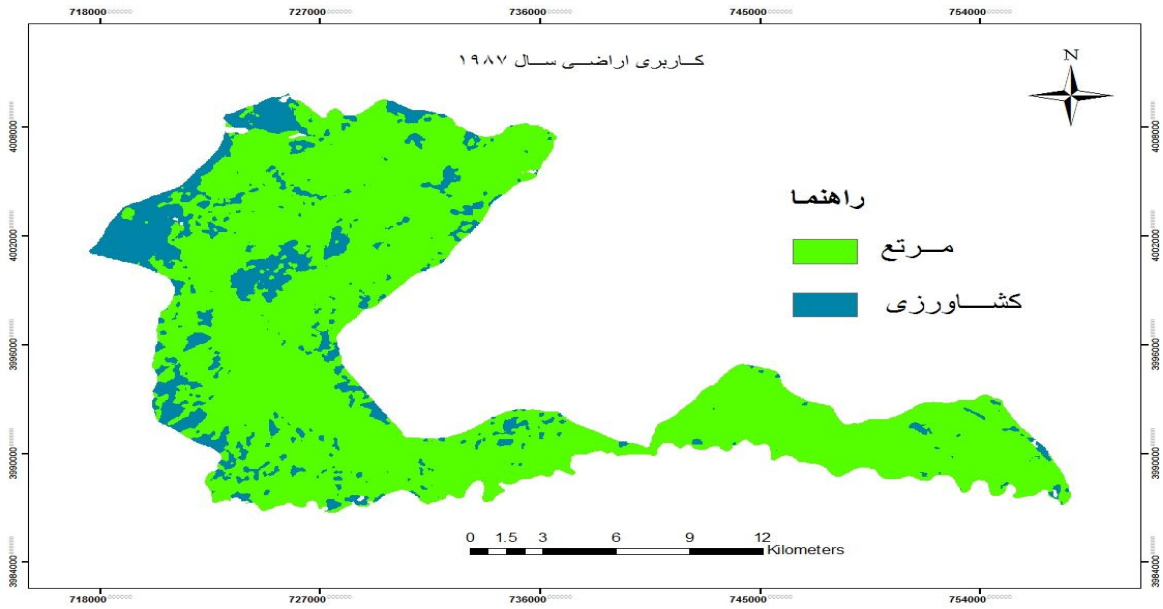
نقشه‌های کاربری اراضی

برای مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی، ابتدا نیاز به تعیین کاربری‌های موجود در منطقه و سپس آشکارسازی تغییرات انجام شده در اراضی منطقه در بازه‌ی زمانی مورد نظر است. پس از دوبار بازدید میدانی از منطقه، کاربری‌های غالب منطقه مرتع و کشاورزی شناسایی شدند و درصد کمی از منطقه هم شامل باغات می‌باشد که با توجه به مساحت کم این کاربری در منطقه، در مدل‌سازی از آن استفاده نشد. برای انجام این کار از تصاویر ماهواره‌ای مربوط به سه دوره‌ی زمانی ۱۹۸۷، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۳ استفاده گردید. تصاویر از نظر هندسی بررسی و سپس با توجه به اینکه هر تصویر ماهواره‌ای منطقه‌ی وسیعی را در بر می‌گرفت که در مطالعه‌ی حاضر کاربرد نداشتند، تصاویر در نرم‌افزار ایدریسی برش داده شدند. به منظور تفسیر بهتر تصاویر ماهواره‌ای و انتخاب نمونه‌های تعلیمی[10] مناسب برای طبقه‌بندی تصاویر، از تصاویر رنگی ترکیبی کاذب[11] استفاده شد. پس از انتخاب تصویر رنگی کاذب با باندهای چهار و سه و دو (RGB =4, 3, 2)، پردازش و طبقه‌بندی تصاویر با استفاده از نرم‌افزار ایدریسی انجام گرفت. این ترکیب خاص از باندهای طیفی و رنگ‌ها در سنجش از دور کاربرد زیادی دارد و به‌عنوان رنگ کاذب استاندارد یا ترکیب مادون قرمز رنگی شناخته می‌شود (Darvish-Safat & Pirbavaghar, 2011: 425). برای طبقه‌بندی تصاویر در این مطالعه، از روش نظارت شده و استفاده از الگوریتم حداکثر احتمال[12] استفاده شد. روش حداکثر احتمال، کندترین روش در بین روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده است. ولی اگر نمونه‌های تعلیمی به‌درستی انتخاب شوند، این روش دقیق‌ترین روش نیز می‌باشد (Salman Mahini & Kamyab, 2009: 130). به منظور

10- Training
11- False Color Composite Image
12- Maximum Likelihood

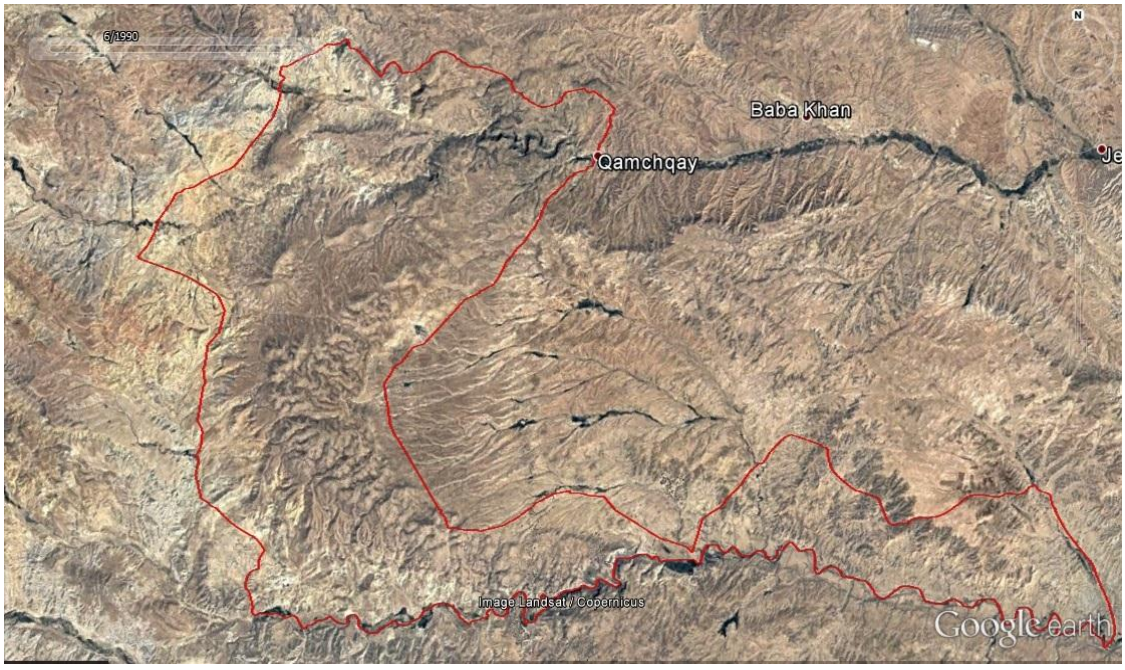
[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

مقایسه‌ی بین نتایج حاصل از طبقه‌بندی تصاویر سال‌های ۱۹۸۷، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۳ و تصاویر حاصل از نرم‌افزار گوگل ارث، تصاویر مربوط به سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۳ این نرم‌افزار همراه با تصاویر طبقه‌بندی شده در شکل‌های (۲ تا ۷) نشان داده شده است.



شکل ۲: نقشه‌ی کاربری اراضی منطقه در سال ۱۹۸۷

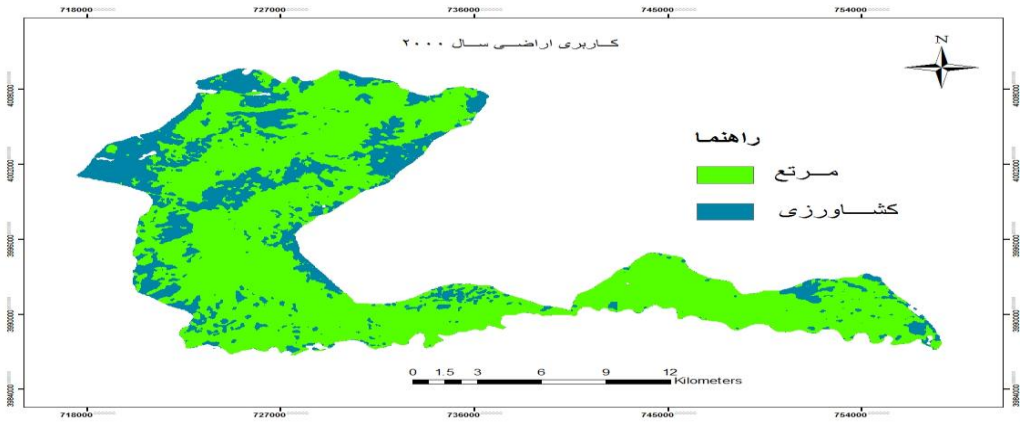
Figure 2: Land use map of the region in 1987



شکل ۳: تصویر نرم‌افزار گوگل ارث منطقه‌ی مورد مطالعه مربوط به سال ۱۹۹۰

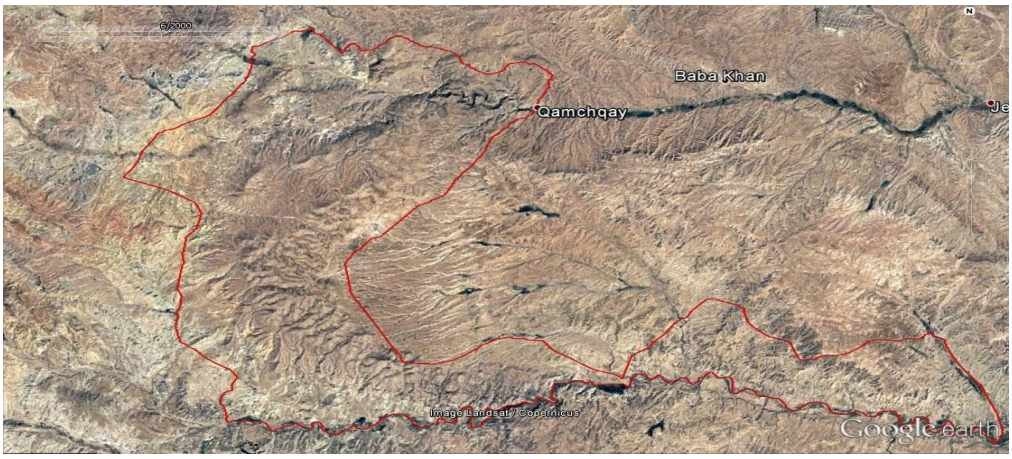
Figure 3: Google earth software image of the study area in 1990

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]



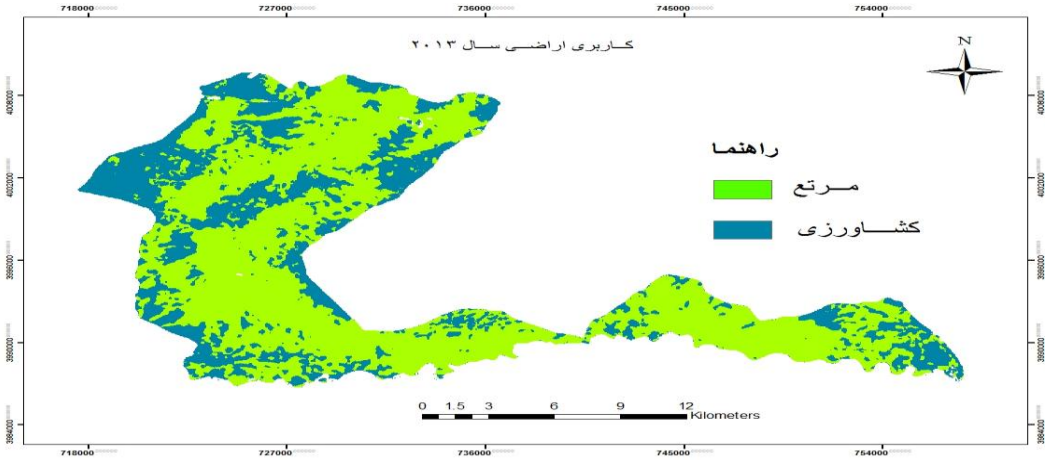
شکل ٤: نقشه‌ی کاربری اراضی در سال ۲۰۰۰

Figure 4: Land use map in 2000



شکل ٥: تصویر نرم‌افزار گوگل ارث منطقه‌ی مورد مطالعه مربوط به سال ۲۰۰۰

Figure 5: Google earth software image of the study area in 2000



شکل ٦: نقشه‌ی کاربری اراضی در سال ۲۰۱۳

Figure 6: Land use map in 2013

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]



شکل ۷: تصویر نرم‌افزار گوگل ارث منطقه‌ی مورد مطالعه مربوط به سال ۲۰۱۳

Figure 7: Google earth software image of the study area in 2013

همان‌طور که تصاویر نرم‌افزار گوگل ارث نشان می‌دهد زمین‌های مرتعی دارای رنگی تیره‌تر در مقایسه با زمین‌های کشاورزی (دارای رنگی روشن) است و با توجه به وسعت بالای منطقه‌ی مورد مطالعه نمی‌توان موقعیت زمین‌های کشاورزی را با جزئیات بیش‌تری ارائه داد. مقایسه‌ی شکل‌های حاصل از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ی و تصاویر حاصل از نرم‌افزار گوگل ارث نشان می‌دهد که دقت بصری طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ی در سطح بالای است. پس از تهیه‌ی نقشه‌های کاربری اراضی، باید صحت طبقه‌بندی تصاویر مورد بررسی قرار گیرد. برای این منظور، صحت طبقه‌بندی تصاویر با استفاده از ماژول ماتریس خطا[۱۳] و با بررسی ضریب کاپا در نرم‌افزار ایدریسی مورد بررسی قرار گرفت که هر سه طبقه‌بندی از صحت بالایی (بالای ۹۰ درصد) برخوردار بودند. به این ترتیب طبقات کاربری زمین بر مبنای تصاویر ماهواره‌ای مربوط به سه سال مورد نظر تهیه شدند.

آشکارسازی تغییرات

آشکارسازی تغییرات کاربری زمین، فرآیند شناسایی تغییرات ایجاد شده در کاربری‌های زمین در یک فاصله‌ی زمانی مشخص می‌باشد. پس از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و تهیه‌ی طبقات کاربری زمین، عملیات بررسی و آشکارسازی تغییرات در انواع کاربری اراضی در بازه‌ی زمانی مورد مطالعه انجام شد. روش‌های مختلفی برای آشکارسازی تغییرات وجود دارد که یکی از آن‌ها، روش مقایسه‌ی پس از طبقه‌بندی است که در این مطالعه از این روش استفاده شده است (Sorodi & Jozi, 2011: 113). در این روش ابتدا تصاویر ماهواره‌ای مربوط به دوره‌های زمانی مختلف طبقه‌بندی شده و انواع کاربری‌ها در آن‌ها تعیین می‌شود. در مرحله‌ی بعد فرآیند آشکارسازی تغییرات کاربری زمین با مقایسه‌ی نقشه‌های کاربری زمین تهیه شده، انجام می‌شود. تصاویر مورد نظر با یکدیگر مقایسه شده و تغییرات در هر پیکسل تعیین می‌گردد. در این مطالعه نقشه‌های کاربری اراضی برای سال‌های ۱۹۸۷، ۲۰۰۰ و

13- Error Matrix

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

۲۰۱۳ تهیه شدند. سپس این نقشه‌ها برای اجرای فرآیند آشکارسازی در دو بازه‌ی زمانی ۲۰۰۰-۱۹۸۷ و ۲۰۱۳-۲۰۰۰ استفاده شدند. برای انجام فرآیند آشکارسازی تغییرات از ماژول Crosstab در نرم‌افزار ایدریسی استفاده شد.

مدل Ca-Markov

این مدل، ترکیبی از مدل زنجیره‌ی مارکوف و مدل سلول‌های خودکار می‌باشد که برای پیش‌بینی تغییرات آینده‌ی کاربری اراضی به‌کار می‌رود. در ابتدا با به‌کارگیری مدل زنجیره‌ی مارکوف، احتمال تغییر طبقات نقشه‌ی کاربری به یکدیگر در قالب ماتریس احتمال تغییر وضعیت کاربری‌ها و بر مبنای تغییرات مساحتی به وقوع پیوسته بین زمان t_0 و t_1 محاسبه می‌شود (Eastman, 2006). برای پیش‌بینی موقعیت مکانی کاربری‌ها در زمان t_{+1} از مدل سلول‌های خودکار به همراه مدل زنجیره‌ی مارکوف استفاده می‌شود. در حقیقت مدل Ca-Markov مولفه‌های مجاورت مکانی و دانش کاربر نسبت به توزیع مکانی احتمال تبدیل کاربری‌ها را به مدل زنجیره‌ی مارکوف اضافه می‌کند (Khosh Goftar et al., 2010:5). این مدل با افزودن مشخصه‌ی مجاورت مکانی[14] به مدل تصادفی زنجیره‌ی مارکوف، کاربری اراضی را برای سال‌های آینده پیش‌بینی می‌کند (Peterson et al., 2009: 911). از آن‌جایی که اعتبارسنجی، معیاری از قابلیت اعتماد به نتایج حاصل از مدل‌سازی است، انجام این فرآیند برای مدل‌های تغییر کاربری زمین امری مهم است. پس از اجرای مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین، با استفاده از آماره‌ی کاپا می‌توان میزان صحت مدل را ارزیابی نمود. این معیار از مفیدترین ابزارها برای تعیین توافق بین نقشه‌ها از طریق مقایسه‌ی نقشه‌ها باهم است (Monserud & Leemans, 1992: 275). در فرآیندهای مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین و اعتبارسنجی نتایج حاصل از مدل‌ها، مقدار کاپای بیش از ۰/۵ مقداری قابل قبول است (Pontius, 2002: 1045).

اجرای مدل

برای اجرای این مدل، ابتدا با استفاده از نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۰۰ مدل زنجیره‌ی مارکوف اجرا شد تا ماتریس مساحت انتقال یافته[15] برای کاربری‌ها به‌عنوان یکی از داده‌های ورودی در مدل Ca-Markov به‌دست آید. این ماتریس، تعداد سلول‌هایی را که برای تغییر از یک نوع پوشش زمین به نوع دیگر در دوره‌ی زمانی آینده مورد انتظار هستند، ثبت می‌کند (Salman Mahini & Kamyab, 2009). نقشه‌ی کاربری اراضی سال ۱۹۸۷ به‌عنوان اولین نقشه‌ی پوشش و نقشه‌ی کاربری اراضی سال ۲۰۰۰ به‌عنوان دومین نقشه‌ی پوشش، به مدل زنجیره‌ی مارکوف وارد شدند و ماتریس مساحت انتقال یافته برای سال ۲۰۱۳ به‌دست آمد. از نقشه‌های شیب، جهت جغرافیایی، طبقات ارتفاعی، فاصله از روستاها و هم‌چنین فاصله از جاده‌ها، برای تهیه‌ی نقشه‌ی تناسب با استفاده از رگرسیون لجستیک استفاده شد. برای بررسی صحت نقشه‌های حاصل از اجرای رگرسیون لجستیک، از مقادیر ROC

14- Spatial Contiguity
15- Transition Area

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

که یک آماره‌ی کمی است استفاده می‌شود که در گستره‌ی ۱–۰ قرار دارد و هرچه این عدد به ۱ نزدیک‌تر باشد، توانایی مدل در تشخیص محل‌های درست برای تغییر بیش تر است (Pontius & Schneider, 2001: 241). همچنین از آماره‌ی $Pseudo\text{-}R^2$ نیز برای بررسی صحت نقشه‌ها استفاده شد. ارزش مطلوب برای این آماره بین ۰/۲ تا ۰/٤ است (Zeng et al., 2008: 117). جدول (۲) نتایج اعتبارسنجی رگرسیون لجستیک را نشان می‌دهد:

جدول ۲- نتایج اعتبارسنجی رگرسیون لجستیکROC

Table 2- Logistic regression validation results

ردیف	نام نقشه	ROC	Pseudo-R2
۱	نقشه‌ی تناسب کشاورزی در مقطع ۲۰۰۰–۱۹۸۷	۰/۸۹	۰/۲۸
۲	نقشه‌ی تناسب کشاورزی در مقطع ۲۰۱۳–۲۰۰۰	۰/۸٦	۰/۲۱
۳	نقشه‌ی تناسب مرتع در مقطع ۲۰۰۰–۱۹۸۷	۰/۹۰	۰/۲۹
٤	نقشه‌ی تناسب مرتع در مقطع ۲۰۱۳–۲۰۰۰	۰/۸۵	۰/۲۲

مقادیر بالای ROC نشان می‌دهد که مدل اجرا شده توانایی بالایی در تعیین مناطق مناسب برای تغییر دارد. مقادیر Pseudo-R2 نیز در محدوده‌ی مطلوب (بین ۰/۲ تا ۰/٤) قرار دارد.

یافته‌ها و بحث

آشکارسازی تغییرات

پس از تهیه‌ی نقشه‌های مربوط به کاربری‌های کشاورزی و مرتع در سال‌های ۱۹۸۷، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۳ تغییرات این کاربری‌ها به روش مقایسه‌ی پس از طبقه‌بندی در دو بازه‌ی زمانی ۲۰۰۰– ۱۹۸۷ و ۲۰۱۳–۲۰۰۰ به‌دست آمد. نتایج بیانگر کاهش اراضی مرتعی و افزایش اراضی کشاورزی را نشان داد. جدول (۳) میزان شاخص کاپا برای نقشه‌های کاربری زمین و جدول (٤ و ۵) میزان تغییرات کاربری‌ها را نشان می‌دهند.

جدول ۳- میزان شاخص کاپا برای نقشه‌های کاربری اراضی

Table 3- Kappa index for land use maps

ردیف	نام نقشه	ضریب کاپا	صحت کلی
۱	کاربری اراضی سال ۱۹۸۷	۰/۹۱	۰/۹٤
۲	کاربری اراضی سال ۲۰۰۰	۰/۹٦	۰/۹۸
۳	کاربری اراضی سال ۲۰۱۳	۰/۹۵	۰/۹۷

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

جدول ٤- مقایسه‌ی تغییرات مساحت کاربری‌ها در مقطع زمانی ۲۰۰۰-۱۹۸۷ بر حسب هکتار

Table 4- Comparison of land use changes in the period 1987-2000 by hectares

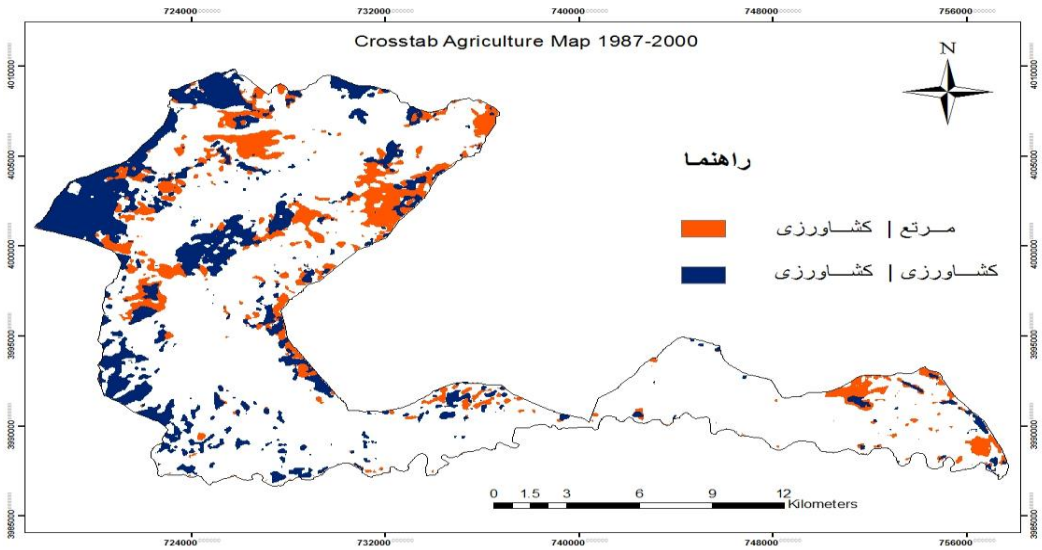
ردیف	نوع کاربری	۱۹۸۷	۲۰۰۰	میزان تغییرات	کاهش /افزایش
۱	مرتع	۲٦٦٥۸/٤۹	۲۳٥۰۰/٥۷	۳۱٥۷/۹۲	کاهش
۲	کشاورزی	٤۷۹٥/٦۹	۷۹٥۳/٦۱	۳۱٥۷/۹۲	افزایش

جدول ٥- مقایسه‌ی تغییرات مساحت کاربری‌ها در مقطع زمانی ۲۰۱۳-۲۰۰۰ بر حسب هکتار

Table 5- Comparison of land use changes in the period 2000-2013 by hectares

ردیف	نوع کاربری	۲۰۰۰	۲۰۱۳	میزان تغییرات	کاهش/افزایش
۱	مرتع	۲۳٥۰۰/٥۷	۲۱۱۸۰/٦٥	۲۳۱۹/۹۲	کاهش
۲	کشاورزی	۷۹٥۳/٦۱	۱۰۲۷۳/٥۳	۲۳۱۹/۹۲	افزایش

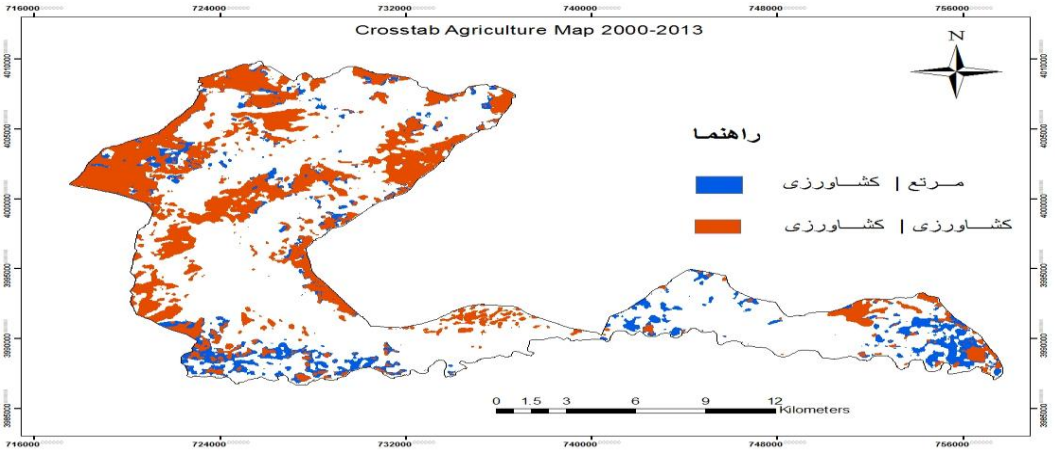
بین سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۳ مقدار ٥٤۷۷/۸٤ هکتار از اراضی مرتعی کاسته شده و به کشاورزی تبدیل شده است. شکل‌های (۸ تا ۱۱) نقشه‌های تغییرات کاربری اراضی را نشان می‌دهد.



شکل ۸: نقشه‌ی تغییرات کاربری کشاورزی در مقطع زمانی ۲۰۰۰ – ۱۹۸۷

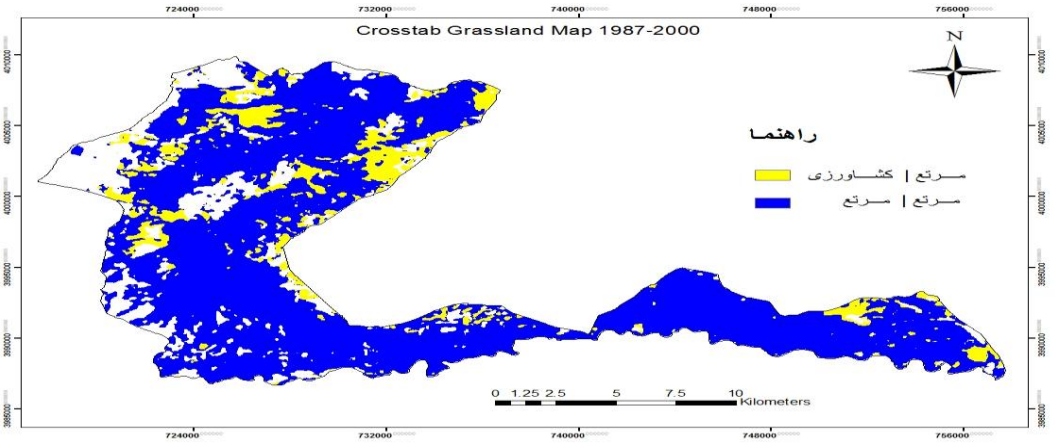
Figure 8: Map of changes in agricultural use in the period 1987-2000

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]



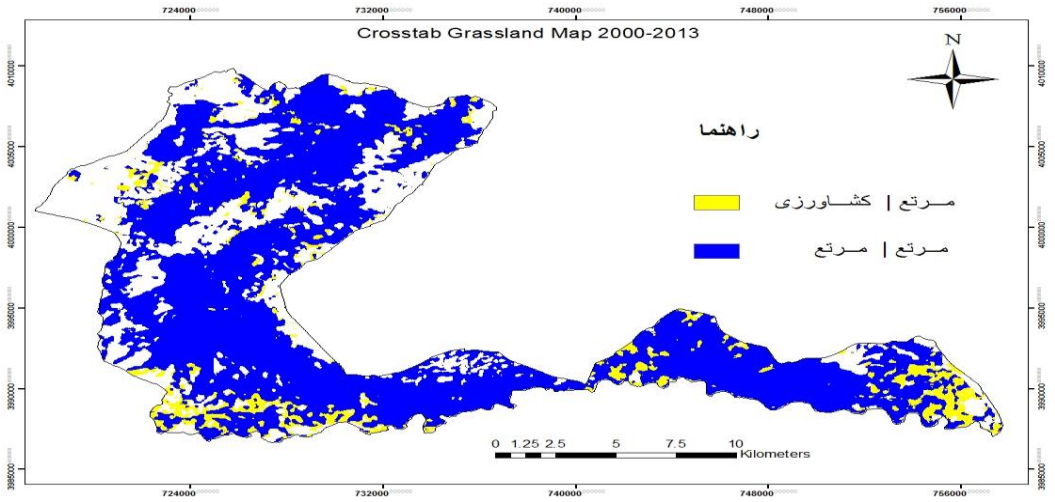
شکل ۹: نقشه‌ی تغییرات کاربری کشاورزی در مقطع زمانی ۲۰۱۳– ۲۰۰۰

Figure 9: Map of changes in agricultural land use in the period 2000-2013



شکل ۱۰: نقشه‌ی تغییرات کاربری مرتع در مقطع زمانی ۲۰۰۰ – ۱۹۸۷

Figure 10: Map of changes in pasture land use in the period 1987-2000



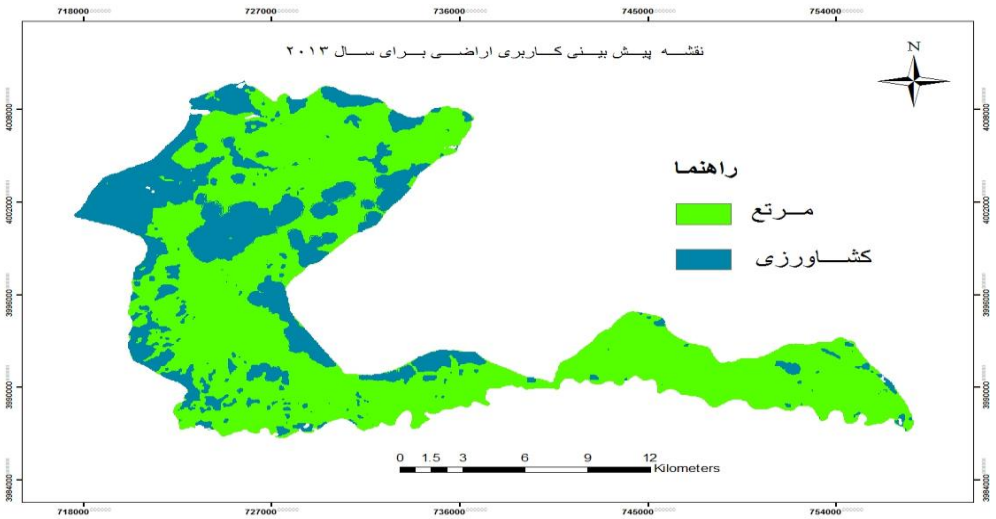
شکل ۱۱: نقشه‌ی تغییرات کاربری مرتع در مقطع زمانی ۲۰۱۳ –۲۰۰۰

Figure 11: Map of changes in pasture land use in the period 2000-2013

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

نتایج مدل Ca-Markov

ابتدا با استفاده از نقشه‌های کاربری اراضی سال ۱۹۸۷ به عنوان نقشه‌ی پایه، ماتریس مساحت انتقال یافته‌ی کاربری‌ها در مقطع ۲۰۰۰ – ۱۹۸۷ و همچنین نقشه‌ی تناسب برای کاربری‌های مرتع و کشاورزی در مقطع ۲۰۰۰-۱۹۸۷، نقشه‌ی پیش‌بینی تغییر کاربری‌ها برای سال ۲۰۱۳ مدل‌سازی شد. پس از اجرای مدل، با استفاده از ماژول ERRMAT[۱۶] می‌توان ارزش سلول‌های دو نقشه را باهم مقایسه و جدول خطا و معیارهای برآورد مطابقت و هم‌خوانی را محاسبه کرد (Darvish-Safat et al., 2004: 25). به این ترتیب، نقشه‌ی پیش‌بینی تغییر کاربری‌ها برای سال ۲۰۱۳ با نقشه‌ی کاربری‌های سال ۲۰۱۳ مقایسه و اعتبارسنجی شد. صحت نقشه‌ی کاربری سال ۲۰۱۳ توسط ۵۱ نقطه‌ی کنترل زمینی مورد بررسی قرار گرفت که ٤٧ نقطه در مناطق درست قرار گرفته بودند که دقت ۹۲/۲ درصد را شامل می‌شود و به همین خاطر این نقشه به‌عنوان نقشه‌ی مرجع استفاده شد. شکل (۱۲) نقشه‌ی پیش‌بینی تغییر کاربری‌ها را برای سال ۲۰۱۳ نشان می‌دهد.



شکل ۱۲: نقشه‌ی پیش‌بینی کاربری اراضی برای سال ۲۰۱۳ توسط مدل Ca-Markov

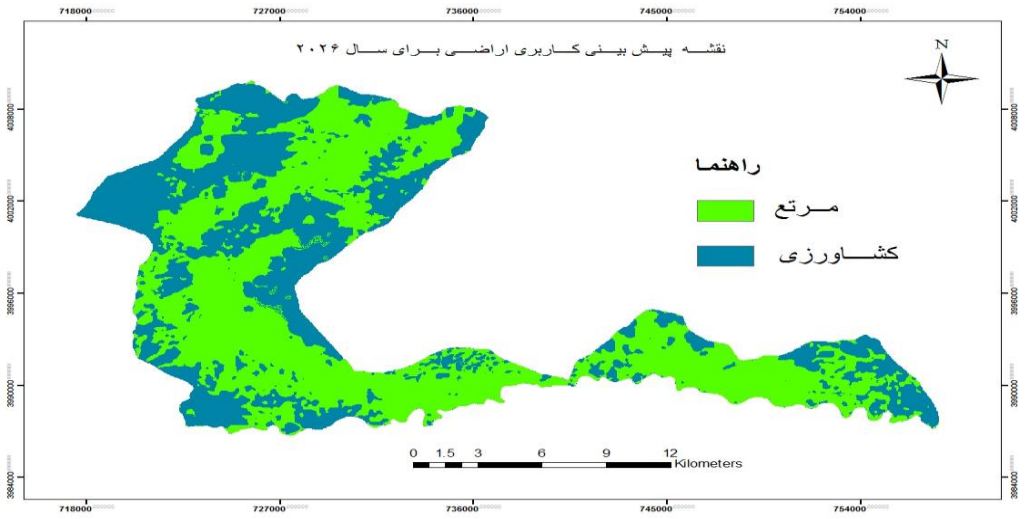
Figure 12: Land use prediction map for 2013 by Ca-Markov model

میزان شاخص کاپا طبق محاسبات ماژول ERRMAT، ۰/۷۰ و میزان صحت کلی ۰/۷۹ درصد به‌دست آمد که با توجه به طبقه‌بندی لاندیز و کوک، در طبقه‌ی صحت خوب (بین ۰/٦ تا ۰/۸) قرار می‌گیرد (Zhu et al., 2009: 136)؛ بنابراین با تکیه بر مقدار شاخص کاپای محاسبه شده، می‌توان نتیجه گرفت که مدل Ca-Markov با صحت ۷۹ درصد می‌تواند تغییرات کاربری را در منطقه‌ی حفاظت شده‌ی بیجار برای ۱۳ سال آینده پیش‌بینی کند. پس از اعتبارسنجی مدل، پیش‌بینی تغییرات کاربری‌های اراضی برای سال ۲۰۲٦ انجام شد. برای این کار از نقشه‌ی کاربری‌های اراضی سال ۲۰۱۳ به‌عنوان نقشه‌ی پایه و ماتریس مساحت انتقال یافته‌ی کاربری‌ها برای سال ۲۰۲٦ و

16- Error Matrix

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

هم‌چنین نقشه‌های تناسب به‌عنوان داده‌های ورودی مدل Ca-Markov استفاده شد. تعداد تکرارهای مدل ۱۳ تعیین شد. معمولا تعداد تکرار را برابر با فاصله‌ی بین مقاطع زمانی تصاویر کاربری اراضی در نظر می‌گیرند (Salman Mahini & Kamyab, 2009). فیلترهای این مدل می‌توانند شرایطی از فاکتورهای وزنی مکانی تولید کنند که طبق وضعیت سلول‌های همسایه می‌توانند تغییر کنند (Vafai et al., 2014: 5). در این مطالعه از فیلتر استاندارد ۵*۵ به عنوان تعریف همسایگی استفاده شد (Mondel, 2010: 1720). شکل (۱۳) نقشه‌ی پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی را برای سال ۲۰۲۶ نشان می‌دهد.



شکل ۱۳: نقشه‌ی پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی برای سال ۲۰۲۶ توسط مدل Ca-Markov

Figure 13: Land use change prediction map for 2026 by Ca-Markov model

جدول (٦) میزان تغییر مساحت کاربری‌ها در بازه‌ی زمانی ۲۰۲٦- ۲۰۱۳ را نشان می‌دهد.

جدول ٦- مقایسه‌ی تغییرات مساحت کاربری‌ها در مقطع زمانی ۲۰۲٦-۲۰۱۳ بر حسب هکتار

Table 6- Comparison of land use area changes in the period 2013-2026 by hectare

ردیف	نوع کاربری	۲۰۱۳	۲۰۲٦	میزان تغییر	کاهش/افزایش
۱	مرتع	۲۱۱۸۰/٦٥	۱۸٤۲۱/۷٤	۲۷٥۸/۹۱	کاهش
۲	کشاورزی	۱۰۲۷۳/٥۳	۱۳۰۳۲/٤٤	۲۷٥۸/۹۱	افزایش

نتیجه‌گیری

مدل‌سازی مکانی، یک ابزار مناسب برای درک بهتر میزان تغییرات کاربری اراضی محسوب می‌شوند (Gomez et al., 2006: 276). در این مطالعه ضرایب ارزیابی صحت نقشه‌ها نشان دهنده‌ی دقت بالای مدل‌های مورد استفاده است. بر اساس نتایج آشکارسازی، از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۰ حدود ۱۲ درصد از اراضی مرتعی منطقه به کشاورزی

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

تبدیل شده و از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ هم حدود ۱۰ درصد از اراضی مرتعی به کشاورزی تبدیل شده است. در واقع از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۳ حدود ۲۲ درصد از اراضی مرتعی در منطقه تخریب شده و به اراضی کشاورزی تبدیل شده است. شبیه‌سازی برای پیش‌بینی تغییرات با فرض ادامه‌ی روند معمول بین سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۳ صورت گرفته است. مناطق نزدیک به جاده و روستاها، به دلیل سهولت دسترسی معمولا تغییرات بیش‌تری را متحمل می‌شوند. با توجه به پیش‌بینی انجام شده توسط مدل CA-Markov، در صورت ادامه‌ی روند کنونی و عدم برنامه‌ریزی مناسب برای حفظ مراتع منطقه، در آینده باز هم شاهد تخریب مراتع خواهیم بود به‌طوری که از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۲٦ حدود ۱۳ درصد دیگر از مراتع تخریب شده و به زمین‌های کشاورزی تبدیل خواهند شد که در این صورت می‌توان گفت در سال ابتدای انجام تحقیق (۱۹۸۷) تا سال ۲۰۲٦ حدود ۳۵ درصد از مراتع موجود در منطقه به زمین‌های کشاورزی تبدیل شده‌اند که دلیل اصلی آن فعالیت‌های انسانی در منطقه می‌باشد. بر اساس نتایج آشکارسازی تغییرات، مساحت کاربری مرتع در سال ۲۰۱۳ حدود ۲۱۱۸۰/٦۵ هکتار بوده که این مقدار مساحت توسط مدل حدود ۲۱۹۳۵/۹۷ هکتار برآورد شده است. همچنین مساحت کاربری کشاورزی طبق نتایج آشکارسازی تغییرات در سال ۲۰۱۳ حدود ۱۰۲۷۳/۵۳ هکتار بود که این مساحت توسط مدل، حدود ۹٦۳۱/٦۲ هکتار محاسبه شد که این مقادیر دقت مدل مورد استفاده را می‌رساند. جدول (۷) مقایسه‌ی مربوط به مقدار مساحت پیش‌بینی شده توسط مدل Ca-Markov و مقدار تعیین شده توسط آشکارسازی تغییرات را در سال ۲۰۱۳ نشان می‌دهد:

جدول ۷- مقایسه‌ی مساحت کاربری‌ها در سال ۲۰۱۳ بر حسب هکتار

Table 7- Comparison of land use area in 2013 by hectare

ردیف	نام کاربری	مساحت در سال ۲۰۱۳ توسط Crosstab	مساحت پیش‌بینی شده برای سال ۲۰۱۳ توسط مدل Ca-Markov
۱	مرتع	۲۱۱۸۰/٦۵	۲۱۹۳۵/۹۷
۲	کشاورزی	۱۰۲۷۳/۵۳	۹٦۳۱/٦۲

جدول (۸) روند تغییرات از سال ۱۹۸۷ تا سال ۲۰۲٦ (پیش‌بینی شده توسط مدل CA-Markov) را بر حسب هکتار نشان می‌دهد.

جدول ۸- تغییر مساحت کاربری‌ها در طول بازه‌ی زمانی مورد مطالعه و پیش‌بینی آینده توسط مدل Ca-Markov

Table 8- Change of land use area during the studied time period and future prediction by Ca-Markov model

ردیف	نام کاربری	سال ۱۹۸۷	سال ۲۰۰۰	سال ۲۰۱۳	سال ۲۰۲٦
۱	مرتع	۲٦٦۵۸/٤۹	۲۳۵۰۰/۵۷	۲۱۱۸۰/٦۵	۱۸٤۲۱/۷٤
۲	کشاورزی	٤۷۹۵/٦۹	۷۹۳۵/٦۱	۱۰۲۷۳/۵۳	۱۳۰۳۲/٤٤

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

میزان دقت نتایج در مدل سازی‌های مختلف یکی از مهم‌ترین فاکتور در کاربرد مدل‌ها است که در این تحقیق برای بررسی این موضوع از میزان شاخص کاپا و صحت کلی استفاده گردید که برای مدل Ca-Markov به‌ترتیب ۰/۷ و ۰/۷۹ درصد به‌دست آمد که در طبقه‌ی صحت خوب (بین ۰/٦ تا ۰/۸) قرار می‌گیرد. همچنین برای بررسی دقت نقشه‌ی پیش‌بینی شده، ابتدا مدل Ca-Markov بر اساس روند تخریب بین سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۰ برای پیش‌بینی تخریب کاربری اراضی سال ۲۰۱۳ به کار گرفته شد و با مقایسه‌ی نقشه‌ی پیش‌بینی میزان تغییرات کاربری و نقشه‌ی واقعی کاربری اراضی سال ۲۰۱۳ میزان دقت مدل در سطح بالای تشخیص داده شد. لذا میزان تطابق نقشه‌ی پیش‌بینی شده و نقشه‌ی واقعی با شاخص کاپا نشان می‌دهد که مدل Ca-Markov مدل نسبتا مناسبی برای شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی در منطقه‌ی حفاظت شده‌ی بیجار است و قادر است با صحت ۷۹ درصد وضعیت کاربری اراضی در آینده را پیش‌بینی کند. نتایج این تحقیق با نتایج Surabuddin Mondal et al (2016) و Fu et al (2018) همخوانی دارد. استفاده از مدل Ca-Markov برای بررسی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی می‌تواند راهکاری برای مدیریت عرصه‌های منابع طبیعی و جلوگیری از روند تخریب رو به افزایش آن‌ها مانند تبدیل به زمین‌های کشاورزی و هم‌چنین مناطق مسکونی باشد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

References

- Aburas, M. M., Ho, Y. M., 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 Observation and Geoinformation***, 59: 65-78.
- Costanza, R., Darge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., Oneill, V.R., Parueli, J., Raskin, G. R., Sutton, P., Van Den Belt, M., (1997), "The value of the world's ecosystem services and natural capital", ***Nature***, 387: 253-260.
- Darvish-Safat, A. A., Pirbavaghar, M., (2011), ***"Remote sensing for GIS managers (by Aronof, A.)***", Tehran: Tehran University Press, pp. 710. [In Persian].
- Darvish-Safat, A. A., Jafarzadeh, H., Makhdoom, A., Makhdoom, M., (2004), "***Basics of GIS, environmental assessment and planning with geographic information systems (GIS)***", Tehran: Tehran University Press. [In Persian].
- Deke, O., (2008), "***Environmental policy instruments for conserving global biodiversity, kieler Studien - Kiel Studies***", Springer Berlin: Heidelberg, 395 pp.
- Falahatkar, S., Sufianian, A., Khajehuddin, J., Ziyai, H. R., (2009), "Investigating the ability of CA Markov model in predicting land cover map (case study: Isfahan city)", ***Geomatics Conference***, Iran Mapping Organization, Tehran, 1-9 May, 2009. [In Persian].
- Eastman, J. R., (2006), "***Idrisi for windows user's guide ver32***", Clark University pub: Worcester, 327pp.
- Fu, X., Wang, X., Jeffrey Yang, Y., (2018), "Deriving suitability factors for CA-Markov land use simulation model based on local historical data", ***Journal of Environmental Management***, 206: 10-19.
- Gohr, C., Wehrden, H. V., May, F., Ibisch, P. L., (2022), "Remotely sensed effectiveness assessments of protected areas lack a common framework: A review", ***Ecosphere***, 13 (4): 1-14.
- Gomez, L., Vega-Pena, E., Ramirez, M. I., Palacio-Prieto, J. L., Galicia, L., (2006), "Projecting land use change processes in the Sierra Norte of Oaxaca, Mexico", ***Applied Geography***, 26: 276- 290.
- Hadavi, F., Rustaee, Sh., (2009), "Simulation of urban growth using satellite images (case study of Zanjan city)", ***Geomatics Conference***, Iran Mapping Organization, Tehran, 1-8 May, 2009. [In Persian].
- Hajiahmadi, D., Amanollahi, J., (2018), "Fuzzy risk assessment modelling of wild animal life in Bijar protected area", ***Ecological Modelling***, 387: 49-60.
- Halmy, M. W. A., Gessler, P. E., Hicke J. A., Salem B. B., (2015), "Land use/ land cover change detection and prediction in the north-western coastal desert of Egypt using Markov-CA", ***Applied Geography***, 63: 101-112.
- Hu, Z., Lo, C. P., (2007), "Modeling urban growth in Atlanta using logistic regression, Computer", ***Environment and Urban System***, 31: 667- 688.
- Huang, Q. H., Cai, Y. L., Peng, J., (2007), "Modeling the spatial pattern of farmland using GIS and multiple logistic regression: a case study of Maotiao river basin, Guizhou province, China", ***Environ Model Assess***, 12: 55-61.
- Khosh Goftar, M. M., Talei, M., Malekpour, P., (2010), "Temporal-spatial modeling of urban growth: a method based on the integration of Cellular Automata and Markov chain",

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

17th National Geomatics Conference, National Mapping Organization, Tehran, 1-9 May 2010. [In Persian].
- Li, D., Li, X., Liu, X. P., Chen, Y. M., Li, S. Y., Liu, K., Qiao, J. G., Zheng, Y. Z., Zhang, Y. H., Lao, C. H., (2012), "GPU-CA model for large-scale land-use change simulation", ***Chinese Science Bulletin***, 57: 2442-2452.
- Majnounian, H., (2011), "***National parks and protected areas (values and functions)***", Tehran: Environmental Protection Organization pub. [In Persian].
- McDonald, R. I., Urban, D., (2006), "Spatially varying rules of landscape change: Lessons from a case study", ***Landscape and Urban Planning***, 74: 7-20.
- Mohammadyari, F., Pourkhbaz, H., Aqdar, H., Tawakli, M., (2018), "Forecasting the trend of land use changes in Behbahan city from 2012 to 2016 using the LCM model", ***Geographical Space***, 65: 37-56. [In Persian].
- Mondal, M. S., Sharma, N., Garg, P. K., Kappas, M., (2016), "Statistical independence test and validation of CA Markov land use land cover (LULC) prediction results", ***The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences***, 19: 259-272.
- Mondel, P., (2010), "Evaluation of conservation interventions using a cellular Automata-Markov model", ***Forest Ecology and Management***, 260: 1716-1725.
- Monserud, R. A., Leemans, R., (1992), "Comparing global vegetation maps with the kappa statistic", ***Ecological Modeling***, 62: 275-293.
- Peterson, L. K., Bergen, K. M., Brown, D. G., Vashchuk, L., Blam, Y., (2009), "Forested land cover patterns and trends over changing forest management eras in the Siberian Baikal region", ***Forest Ecology and Management***, 257: 911-922.
- Pontius, R. G., (2002), "Statistical methods to partition effects of quantity and location during comparison of categorical maps at multiple resolutions", ***Photogrammetric Engineering and Remote Sensing***, 68: 1041-1049.
- Pontius, R. G., Schneider, L. C., (2001), "Land cover change model validation by an ROC method for the Ipswich watershed, Massachusetts, USA", ***Agriculture, Ecosystem and Environment***, 85: 239-248.
- Rezaei, R., Qudousi, J., Hosni, A.H., Arjamandi, R., Vafainejad, A., (2019), "Classification and evaluation of land use changes using Landsat satellite images", ***Geographical Space***, 72: 185-204. [In Persian].
- Riccioli, F., EI Asmar, T., EI Asmar, J.P., Fratini, R., (2013), "Use of cellular automata in the study of variables involved in land use changes", ***Environment Monitoring and Assessment***, 185: 5361-5374.
- Salman Mahini, A., Kamyab, H. R., (2009), "***Remote sensing and applied geographical information systems with Idrisi software***", Tehran: Mehr Mahdis Pub. pp. 610. [In Persian].
- Seifi, H., Nazariwind, F., Isa Lu, R., Babaei, M., (2022), "Study and investigation of land use changes using the object-oriented classification method (Case study: Qochan-Shirvan watershed) ", ***Geographical Space***, 79 (In press). [In Persian].
- Sorodi, M., Jozi, S. A., (2011), "Remote sensing and implementation of Markov model to investigate urban green space changes (Case study: Region 1 of Tehran municipality) ", ***Environmental Science***, 39 (1): 113-122. [In Persian].
- Surabuddin Mondal, Md., Sharma, N., Garg, P. K., Kappas, M., (2016),"Statistical independence test and validation of CA Markov land use land cover (LULC) prediction results", ***The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science***, 19: 259-272.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

- Tan, Y. L., Chen, J. E., Yiew, T. H., Habibullah, M. S., (2022), "Habitat change and biodiversity loss in South and Southeast Asian countries", ***Environmental Science and Pollution Research***, 29: 63260-63276.
- Tian, G.J., Ouyang, Y., Quan, Q. A., Wu, J. G., (2011), "Simulating spatiotemporal dynamics of urbanization with multi-agent systems-A case study of the Phoenix metropolitan region, USA", ***Ecological Modeling***, 222: 1129-1138.
- Vafai, S., Pirbavaghar, M., Darvish Sefat, A. A., (2014), "Investigation of Ca-Markov model capability in simulating forest land changes (study area: Marivan region)", The second national conference of natural resources of Iran focusing on forest science***s***, University of Kurdistan, Kurdistan, 1-11 April 2014. [In Persian].
- Yang, X., Zheng, X. Q., Chen, R., (2014), "A land use change model: Integrating landscape pattern indexes and Markov-CA", ***Ecological Modelling***, 283: 1-7.
- Yang, X., Zheng, X. Q., Lv, L. N., (2012), "A spatiotemporal model of land use change based on ant colony optimization, Markov chain and cellular automata", ***Ecological Modeling***, 233: 11-19.
- Zeng, Y. N., Wu, G. P., Zhan, F. B., Zhang, H. H., (2008), "Modeling spatial land use pattern using auto logistic regression. The international archives of the Photogrammetry", ***Remote Sensing and Spatial Information Science***, 37: 115-119.
- Zhu, Z., Liu, L., Chen, Z., Zhang, J., Verburg, P. H., (2009), "Land use change simulation and assessment of driving factors in the loess hilly region. A case study as Peng yang Country", ***Environ Monti Assess***, 164: 133-142.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]