

پیش‌بینی تغییرات پوشش اراضی با استفاده از مدل تلفیقی زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار (مطالعه موردی: حوزه شیرکوه)

فهیمة عربی علی آباد^۱، دکتر محمد زارع^۲، دکتر حمیدرضا غفاریان مالمیری^{۳*}

چکیده

تغییرات کاربری زمین نقش مهمی در درک ارتباط متقابل بین فعالیت‌های بشر و محیط‌زیست دارد؛ بنابراین بررسی این تغییرات به‌صورت توالی زمانی از گذشته و پیش‌بینی آن در آینده ضروری است. تهیه نقشه کاربری اراضی با بهره‌گیری از داده‌های ماهواره‌ای و تکنیک‌های سنجش‌ازدور، یکی از شناخته‌شده‌ترین و پرکاربردترین روش‌های تهیه نقشه کاربری اراضی و مقایسه کاربری‌های موجود است. با پیش‌بینی تغییرات کاربری می‌توان مقدار گسترش و تخریب منابع را مشخص و این تغییرات را در مسیرهای مناسب هدایت کرد. هدف از این پژوهش، ارزیابی روند تغییرات اراضی حوزه شیرکوه در استان یزد و پیش‌بینی پوشش اراضی آن در سال ۲۰۲۴ است؛ بدین‌منظور نقشه‌های کاربری اراضی با استفاده از تصاویر سنجنده‌های TM و OLI لندست در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۶ به روش طبقه‌بندی نظارت‌شده حداکثر احتمال (بیشترین شباهت) تهیه شد. سپس با استفاده از نقشه کاربری اراضی سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۸، پوشش اراضی در سال ۲۰۱۶ پیش‌بینی شد و با نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۶ که از طبقه‌بندی نظارت‌شده با استفاده از تصویر ماهواره‌ای به‌دست آمده بود، صحت‌سنجی شد. با استفاده از نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۰۸ و ۲۰۱۶، پوشش اراضی مربوط به سال ۲۰۲۴ با استفاده از مدل تلفیقی زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار پیش‌بینی شد. نتایج روند تغییرات کاربری اراضی در ۱۶ سال مورد بررسی (۲۰۰۰-۲۰۱۶) نشان داد که به‌طور متوسط سالانه ۱۶۱/۸۵ هکتار از مراتع غنی، ۱۳۱/۱۴ هکتار از مراتع فقیر و ۷/۷۲ هکتار از مساحت اراضی کشاورزی کاسته و ۴۵/۱۶ هکتار در هرسال به کاربری شهری و ۲۶۵/۷۲ هکتار به مناطق صخره‌ای و سنگلاخی اضافه شده است. با توجه به اینکه پوشش مرتع بیشتر در مناطق صخره‌ای و سنگلاخی دیده می‌شود، دلیل افزایش مساحت مناطق صخره‌ای و سنگلاخی به‌دلیل کاهش مساحت مراتع بوده است. نتایج پیش‌بینی پوشش اراضی در سال ۲۰۲۴ نشان داد که ۵۵/۵ درصد از کاربری کشاورزی، ۸۲/۰ درصد از مراتع غنی، ۸۰/۰ درصد مراتع فقیر، ۵۱/۰ درصد اراضی شهری و ۹۷/۰ درصد مناطق صخره‌ای و سنگلاخی بدون تغییر باقی می‌ماند که مناطق صخره‌ای و سنگلاخی پایداری نسبتاً بالا و اراضی کشاورزی و شهری پایداری کمتری خواهند داشت. امکان تبدیل زمین‌های کشاورزی به مسکونی و مراتع فقیر ۴۰/۰ درصد است که می‌تواند در برنامه‌ریزی آینده توسط مسئولان مورد استفاده قرار گیرد.

جغرافیا و توسعه، شماره ۶۲، بهار ۱۴۰۰
تاریخ دریافت: ۹۸/۱۰/۰۲
تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۲/۱۰
صفحات: ۲۷۰-۲۵۱



واژه‌های کلیدی:

آشکارسازی تغییرات، حداکثر احتمال، مدل سلول خودکار مارکوف، تغییر کاربری اراضی، شیرکوه.

مقدمه

فعالیت انسان در زمینه ساخت‌وساز، تغییرات بسیاری در سیمای سرزمین‌ها به‌وجود آورده است که با افزایش جمعیت و افزایش ضروریات اقتصادی و اجتماعی، این تغییرات شدت یافته است (Baun et al, 2015; 52). تشخیص و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی برای تصمیم‌گیری و اجرای سیاست‌های مناسب در پاسخ به تغییرات و اختلالات رخ داده در زمین ضروری است (Adedeji et al, 2015; 301). آگاهی از نوع و درصد

کاربری و پوشش‌های مختلف، یک نیاز بنیادی به‌منظور شناخت و مدیریت یک منطقه است (اسلمی و همکاران، ۱۳۹۳: ۲) و به‌عنوان اطلاعات پایه برای برنامه‌ریزی‌های مختلف از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Knorn et al, 2009: 259). مدل‌سازی روشی است که با استفاده از آن، چارچوب علمی آنالیز سیستم‌های تغییر کاربری اراضی از حالت توصیفی به کمی تغییر پیدا می‌کند (Eastman, 2003: 13). همچنین طبقه‌بندی اراضی با توجه به پیچیدگی و گستردگی اراضی شهری،

۱- دانشجوی دکتری گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران
۲- دانشیار گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران
۳- استادیار گروه جغرافیا، پردیس علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران (نویسنده مسئول)

*fahime.arabi@stu.yazd.ac.ir
mzernani@yazd.ac.ir
hrghafarian@yazd.ac.ir

رامسر پرداختند. براساس نتایج حاصل از این تحقیق، مشخص شد که اراضی مسکونی پویاترین کاربری موجود در منطقه است و در سال ۲۰۲۸، ۸/۰۴ درصد افزایش مساحت خواهد داشت. عزیزی قلاتی و همکاران (۱۳۹۵) به مدل سازی و پیش بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل تلفیقی زنجیره مارکوف و سلول های خودکار در دوره ۲۵ ساله (۱۳۶۶-۱۳۹۱) در استان فارس پرداختند و تغییرات کاربری اراضی را برای سال ۱۴۰۳ پیش بینی کردند. نتایج بررسی آن ها نشان داد که بیشترین تغییرات، در تبدیل کاربری جنگل به کاربری های کشاورزی آبی و مرتع است. یوسفی و همکاران (۱۳۹۶) به آشکارسازی و مدل سازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل زنجیره مارکوف و سلول های خودکار در شهر بجنورد پرداختند و نتایج نشان داد که اراضی کشاورزی آبی و دیم روند کاهشی و اراضی شهری و بایر روند افزایشی خواهند داشت. ممبنی و عسگری (۱۳۹۷) به بررسی تغییرات پوشش اراضی در سال های ۱۹۸۹، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۵ پرداختند و کاربری اراضی سال ۲۰۳۰ را پیش بینی کردند. نتایج نشان داد که مساحت اراضی آبی افزایش و از مساحت مرتع و اراضی دیم کاسته خواهد شد.

میرعلیزاده فرد و علی بخشی (۱۳۹۵) در ایلام به پایش تغییرات کاربری اراضی در سه دوره زمانی (۱۹۸۸، ۲۰۰۱ و ۲۰۱۳) و پیش بینی کاربری اراضی در سال ۲۰۳۰ پرداختند. نتایج نشان داد که اراضی بدون پوشش بالاترین پایداری و جنگل کم تراکم کمترین پایداری را خواهند داشت. نتایج مطالعات رهنما و همکاران (۱۳۹۶) نشان داد که در سال های آتی شهر گنبد کاووس توسعه شدیدی خواهد داشت و اغلب به سمت شرق و جنوب خواهد بود. جعفرزاده و همکاران (۱۳۹۷) به مدل سازی تغییرات ساختار شهری با استفاده از زنجیره مارکوف در قائم شهر

کاری دشوار و وقت گیر و مطالعه آن بسیار گسترده است (Liu et al, 2017: 1677). یکی از منابع اطلاعات مفید در شناسایی این تغییرات، داده های سنجش از دور است. فناوری سنجش از دور با ارائه اطلاعات به روز، پوشش های تکراری و مقرون به صرفه در حوزه پژوهش های منابع طبیعی، اهمیت زیادی دارد (Patino & Duque, 2015: 5). تعیین تغییرات کاربری و آثار آن بر اکوسیستم، به یکی از نگرانی های کارشناسان و برنامه ریزان محیط زیست تبدیل شده است (Halmy et al, 2016: 106). به همین دلیل در سال های اخیر مطالعات زیادی در این باره صورت گرفته است.

هالمی^۱ و همکاران (۲۰۱۵) تغییرات کاربری اراضی را در سال های ۱۹۸۸، ۱۹۹۹ و ۲۰۱۱ در بیابان ساحلی شمال غربی مصر بررسی و کاربری اراضی در سال ۲۰۲۳ را با استفاده از سلول های خودکار و زنجیره مارکوف پیش بینی کرده اند. نتایج، بیانگر کاهش مساحت مرتع ها و تالاب های جنگلی در سال های ۱۹۸۸ تا ۱۹۹۹، کاهش مساحت باغ ها و مزرعه های کشاورزی و منطقه های سنگی در سال های ۲۰۱۱-۱۹۹۹ و کاهش مساحت مرتع ها، باغ ها و دیگر مزرعه های کشاورزی و همچنین منطقه های سنگی در سال های ۲۰۲۳-۲۰۱۱ بود.

هوانگ^۲ و همکاران (۲۰۲۰) به پیش بینی کاربری اراضی شهر پکن با استفاده از مدل تلفیقی زنجیره مارکوف و سلول های خودکار پرداختند و پیش بینی کردند که در سال ۲۰۳۰ مساحت مناطق کشاورزی کاهش و مساحت مناطق مسکونی افزایش خواهد یافت. صالحی و همکاران (۱۳۹۸) در پژوهشی به پیش بینی روند تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل تلفیقی زنجیره مارکوف و سلول های خودکار در

منطقه مورد مطالعه و داده‌ها

منطقه مورد مطالعه با مساحت ۴۴۳۹۵ هکتار در جنوب غربی استان یزد واقع است. مختصات جغرافیایی منطقه ۵۴° ۱۰' تا ۵۳° ۵۰' طول شرقی و ۳۱° ۵۰' تا ۳۲° ۳۱' عرض شمالی است. این حوزه در شهر تفت قرار گرفته و به ارتفاعات شیرکوه محدود می‌شود (شکل ۱).

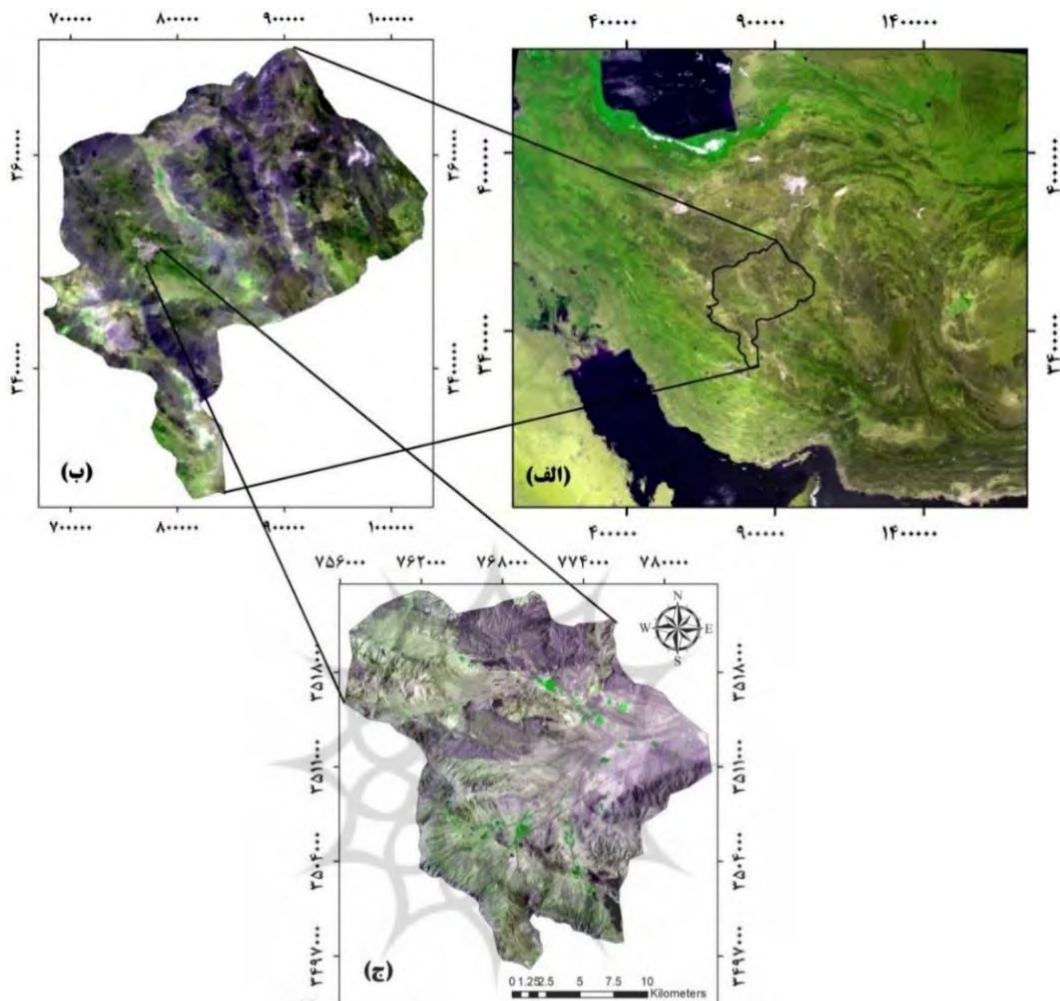
داده‌های مورد استفاده

به منظور پایش تغییرات کاربری اراضی، از سه دوره تصاویر ماهواره لندست در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۸ مربوط به سنجنده TM و تصویر ۲۰۱۶ متعلق به سنجنده OLI استفاده شد (جدول ۱). استفاده از تصاویر لندست که قدرت تفکیک مناسب دارد و به صورت رایگان در اختیار عموم قرار می‌گیرد، در این مورد کارآمد است (Taubenbock et al, 2012: 117). در انتخاب این تصاویر معیارهای حداقل تراکم ابر و دوره حداکثر رشد گیاه لحاظ شد. نقشه کاربری اراضی در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۶ با استفاده از روش حداکثر احتمال ترسیم و با استفاده از مدل تلفیقی زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار پوشش اراضی در سال ۲۰۲۴ پیش‌بینی شد. نمودار جریان مراحل پژوهش حاضر در شکل ۲ نشان داده شده است.

پرداختند و نتایج مدل‌سازی برای سال ۱۴۰۲ نشان‌دهنده افزایش بسیار زیاد کاربری مسکونی و باغ و کاهش چشمگیر کاربری کشاورزی است. اندریانی و همکاران (۱۳۹۷) به تحلیل تغییرات کاربری اراضی با استفاده از زنجیره مارکوف در حوضه آبریز زلیبیرچای واقع در آذربایجان شرقی و غربی پرداختند و نتایج نشان داد که در سال ۲۰۳۰، مساحت کاربری مسکونی، باغات و زراعت آبی افزایش خواهد یافت و کاربری‌های کم‌مصرف، مانند گندم آبی، به محصولات زراعی آبی تبدیل می‌شود.

ناصری‌راد و همکاران (۱۳۹۸) به پیش‌بینی تغییرات مکانی جنگل‌های زاگرس در سال ۱۴۰۹ پرداختند. نتایج نشان داد که بیشترین پتانسیل انتقال مربوط به تبدیل اراضی جنگل به کشاورزی است.

بررسی مقدار تغییر و روند تخریب منابع در سال‌های گذشته و پیش‌بینی این تغییرات در سال‌های آینده گام مهمی در مهار و کنترل تغییرات غیراصولی، برنامه‌ریزی و استفاده بهینه از منابع سرزمین است. طی سال‌های اخیر در حوزه شیرکوه در استان یزد که از بیلاقات استان به شمار می‌رود، تغییر کاربری زیادی صورت گرفته است. هدف از پژوهش حاضر استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به منظور تهیه نقشه‌های کاربری اراضی و سپس استفاده از مدل تلفیقی زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار برای مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی و پیش‌بینی این تغییرات در آینده در حوزه شیرکوه یزد است.

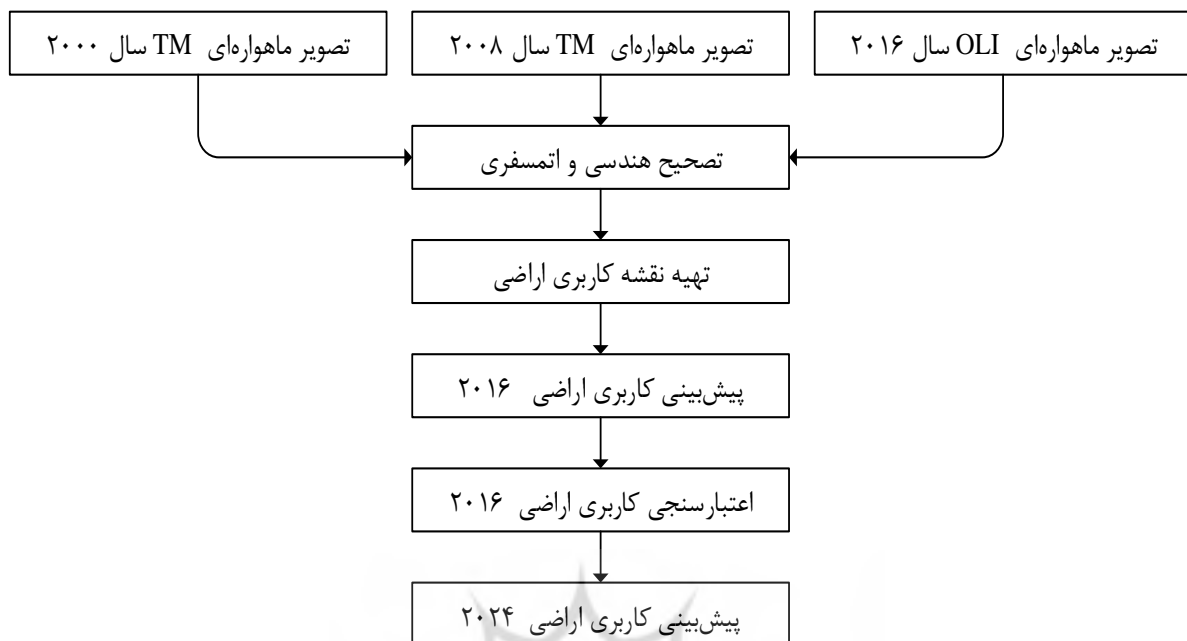


شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه (الف) ایران، (ب) استان یزد، (ج) منطقه مورد مطالعه تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸

جدول ۱: مشخصات کلی سنجنده‌ها و تصاویر مورد استفاده

سنسور	تعداد باند	تاریخ تصویربرداری	سنجنده
TM	۷	۲۰۰۰/۰۶/۱۰	LANDSAT 5
TM	۷	۲۰۰۸/۰۶/۱۶	LANDSAT 5
OLI	۱۱	۲۰۱۶/۰۶/۰۶	LANDSAT 8

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸



شکل ۲: نمای کلی از روند انجام پژوهش

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸

روش کار

۱- نقشه کاربری اراضی و آشکارسازی تغییرات

یکی از راه‌های تهیه نقشه‌های پوشش گیاهی و کاربری اراضی، استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و فرایند طبقه‌بندی تصاویر است. به‌منظور تهیه نقشه‌های کاربری اراضی، با انجام پیش‌پردازش‌های اولیه، مانند تصحیح هندسی و اتمسفری و همچنین تهیه نمونه‌های تعلیمی، تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از الگوریتم حداکثر احتمال طبقه‌بندی شدند. در راستای انتخاب نمونه‌های تعلیمی به‌منظور انجام طبقه‌بندی، از عکس‌های هوایی و تصاویر «گوگل‌ارث»^۱ استفاده شد و در انتخاب نمونه‌های تعلیمی در سطح منطقه مطالعاتی سعی شد تا پراکنش‌ها در داخل منطقه، همگن و مناسب باشند. تعداد پیکسل‌های انتخاب‌شده در هر نمونه تعلیمی باید حداقل به اندازه ده برابر تعداد باندهای طیفی تصویر مورد استفاده باشد (Richards & Richards, 1999: 236).

در منطقه مورد مطالعه، ۵ کاربری شامل مرتع غنی، مرتع فقیر، اراضی صخره‌ای و سنگلاخی، اراضی کشاورزی و مناطق شهری شناسایی شد و از روش الگوریتم حداکثر احتمال به‌منظور طبقه‌بندی استفاده شد که یکی از متداول‌ترین روش‌های طبقه‌بندی داده‌های سنجش‌ازدور و تکنیک مناسبی برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای است (خزائی و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۶۵; Ahmadi et al, 2009: 169). این روش با استفاده از میانگین و ماتریس کوواریانس نمونه‌های تعلیمی نسبت به روش‌های دیگر طبقه‌بندی، مانند طبقه‌بندی کمترین فاصله، تحلیل بهتری از داده‌های تصویر دارد (Richards & Jia, 2006: 139).

۲- روش حداکثر احتمال

روش حداکثر احتمال از شناخته‌شده‌ترین و پرکاربردترین روش‌های طبقه‌بندی اطلاعات در زمره روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده است (Chen et al, 2010: 779).

آماری ماتریس خطا، یعنی دقت تولیدکننده^۳ و دقت کاربر^۴ نیز استفاده شد (Li & Yeh, 2002: 340; Yan et al, 2005: 8).

۴- مدل زنجیره مارکوف

زنجیره مارکوف کاربردهای گسترده‌ای در مدل کردن تغییرات کاربری و پوشش اراضی برای مناطق شهری و غیرشهری دارد (Wu et al, 2006: 322). این مدل در حال حاضر به یک روش پیش‌بینی مهم در تحقیقات جغرافیایی تبدیل شده است (Zhang et al, 2011: 924). زنجیره مارکوف براساس تحلیل‌های چندمعیاره به پیش‌بینی روند تغییرات کاربری و پوشش اراضی می‌پردازد (شیرکلایی، ۱۳۸۷: ۵). در این مدل احتمال تغییر از یک طبقه پوشش اراضی به طبقه دیگر در جدولی با عنوان «ماتریس احتمال انتقال»^۵ محاسبه می‌شود. سپس با توجه به این ماتریس و فاصله زمانی مورد نظر، مساحت پوشش اراضی سال‌های آتی قابل پیش‌بینی خواهد بود.

در تحلیل زنجیره مارکوف از طبقه‌بندی‌های پوشش به‌عنوان حالت یا همان وضعیت‌های زنجیر استفاده شده است. این زنجیره برای تعیین احتمال تغییر به دو نقشه کاربری اراضی (ورودی‌های مدل) نیاز دارد که معمولاً این نوع داده‌ها با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای به دست می‌آیند (Mitsova et al, 2011: 114). خروجی مدل نیز شامل احتمال تبدیل وضعیت، ماتریس مساحت تبدیل شده^۶ هر طبقه و در پایان تصاویر احتمالات شرطی^۷ برای تبدیل کاربری‌های مختلف است (Stephenne & Lambin, 2001: 146; Weng, 2002: 273).

در این روش احتمال اینکه یک پیکسل به تمامی کلاس‌ها تعلق داشته باشد، محاسبه شده و به کلاس بایبیشترین احتمال تعلق می‌گیرد (Mather, 1999: 208). به این منظور فرض بر این است که داده‌های نمونه‌های تعلیمی دارای توزیع نرمال هستند. درحقیقت نمونه‌های تعلیمی باید معرف آن کلاس باشند. در نتیجه باید نقاط تعلیمی به تعدادی باشد که خصوصیات نمونه‌ها در آن به صورت دقیق و کامل آورده شده باشد (Tso & Mather, 2009: 365). برای انجام این روش ابتدا بایستی تمامی مراحل پیش‌پردازش انجام شده و نمونه‌برداری از منطقه نیز انجام شده باشد. سپس نمونه‌های تعلیمی بر روی تصاویر انتخاب و روش حداکثر احتمال به کار برده شود.

۳- ارزیابی نقشه‌های کاربری اراضی

معمول‌ترین پارامتر برآورد دقت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، دقت کل^۱ و ضریب کاپا^۲ است (Lu et al, 2004: 2371). از نظر تئوری احتمالات، دقت کل نمی‌تواند معیار خوبی برای ارزیابی طبقه‌بندی باشد، زیرا در این شاخص، نقش شانس قابل توجه است؛ بنابراین به دلیل ایرادات وارد بر دقت کل، از ضریب کاپا استفاده می‌شود. ضریب کاپا پیکسل‌هایی را که در دو نقشه با هم مطابقت ندارند نیز در محاسبه لحاظ می‌کند. درواقع ضریب کاپا، درصد دقت کلی را با کم کردن سهم برآورده‌شده توافقی شانس، تعدیل می‌کند. تک‌پارامترهایی نظیر ضریب کاپا و صحت کلی، فقط با کل طبقه‌بندی سروکار دارند و اطلاعاتی درباره تک‌تک کلاس‌ها یا توزیع مکانی خطا ارائه نمی‌دهند (فاطمی و رضایی، ۱۳۸۵: ۱۲۹)؛ بنابراین برای برآورد دقت کلی و دقت تک‌تک کلاس‌ها از عامل‌های

3- Producers Accuracy
4- User Accuracy
5- Transition Probabilities
6- Transition Areas Matrix
7- Conditional Probability Images

1- Overall accuracy
2- Kappa coefficient

بحث و نتایج

به منظور بررسی روند تغییرات کاربری زمین در منطقه مورد مطالعه، از یک دوره زمانی ۱۶ ساله با توالی ۸ سال از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶ استفاده شد و نقشه‌های کاربری اراضی برای سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۶ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای استخراج شد (شکل ۳). نقشه‌های کاربری اراضی با استفاده از روش حداکثر احتمال و تعیین پنج کاربری شامل، کشاورزی، مرتع غنی، مرتع فقیر، مناطق شهری و اراضی صخره‌ای و سنگلاخی به دست آمدند. به منظور تعیین دقت هر یک از نقشه‌های به دست آمده، از شاخص ضریب کاپا استفاده شد. همان طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، ضریب کاپا نشان دهنده قابل قبول بودن نقشه‌های کاربری اراضی است (Congalton & Green, 1999: 35).

ضریب کاپا دقت طبقه‌بندی را نسبت به یک طبقه‌بندی کاملاً تصادفی محاسبه می‌کند؛ بدین معنی که مقدار کاپا دقت طبقه‌بندی را نسبت به حالتی که یک تصویر به صورت کاملاً تصادفی طبقه‌بندی شود، به دست می‌آورد.

۵- مدل تلفیقی سلول‌های خودکار و زنجیره مارکوف

مدل CA-Markov تلفیقی از سلول‌های خودکار، زنجیره مارکوف و تخصیص چندمنظوره اراضی (MOLA) است. با تحلیل یک جفت از نقشه‌های کاربری زمین با استفاده از زنجیره مارکوف، ماتریس احتمال انتقال، ماتریس مساحت انتقال یافته و چند تصویر احتمال شرطی ایجاد می‌شود. ماتریس احتمال انتقال، احتمال انتقال هر کدام از کاربری‌ها به کاربری دیگر را نشان می‌دهد. ماتریس مساحت انتقال یافته، تعداد سلول‌هایی را که برای تغییر از یک نوع پوشش زمین به نوع دیگر در دوره زمانی آینده مورد انتظار هستند، ثبت می‌کند. تصاویر احتمال شرطی، احتمال اینکه هر نوع از پوشش زمین در هر موقعیت مکانی در آینده پیدا شود را بیان می‌کند. همان طور که ذکر شد، ضعف زنجیره مارکوف در مشخص نبودن توزیع مکانی تغییرات مربوط به کاربری‌ها است که برای اضافه کردن عنصر مکانی به مدل، از سلول‌های خودکار استفاده می‌شود؛ بدین صورت که نقشه آینده کاربری اراضی با استفاده از نقشه شایستگی^۲ تبدیل پوشش و کاربری با اعمال فیلتر مجاورت و طی فرایند تخصیص چندمنظوره اراضی تهیه می‌شود (Eastman, 2003: 13). در حقیقت مدل CA-Markov مؤلفه‌های مجاورت مکانی و دانش کاربر نسبت به توزیع مکانی احتمال تبدیل کاربری‌ها را به مدل زنجیره مارکوف اضافه می‌کند (خوش‌گفتار و طالعی، ۱۳۸۹: ۱۷). در این پژوهش از نرم‌افزار IDRISI به منظور پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی استفاده شد.

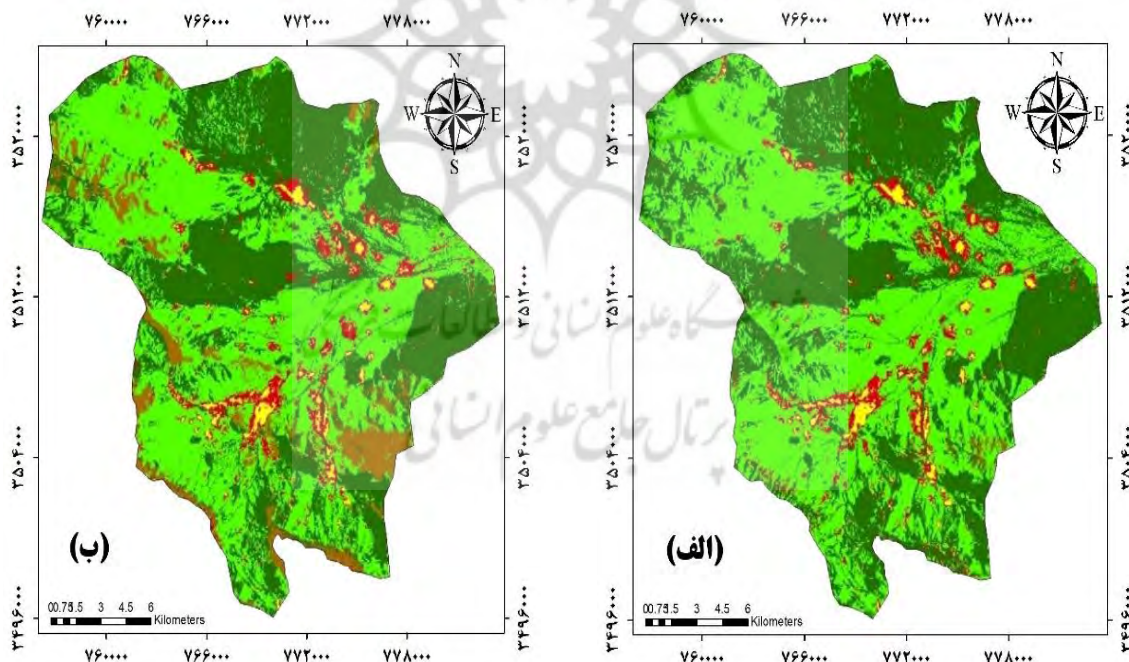
جدول ۲: دقت تولیدکننده و دقت استفاده‌کننده و ضریب کاپا در تصاویر طبقه‌بندی‌شده

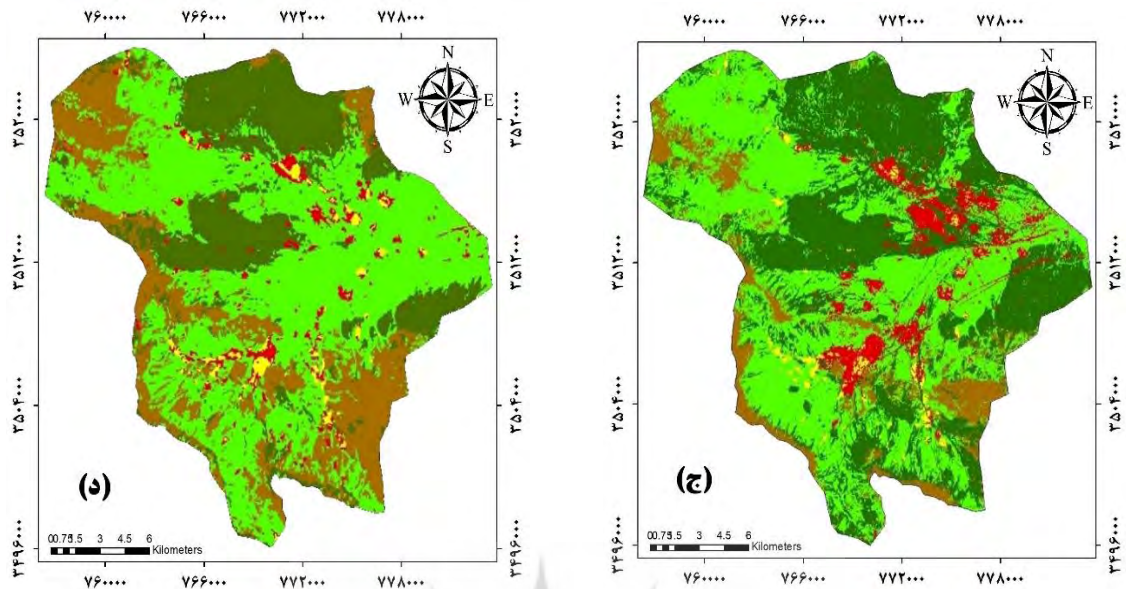
۲۰۱۶		۲۰۰۸		۲۰۰۰		سال
دقت استفاده‌کننده	دقت تولیدکننده	دقت استفاده‌کننده	دقت تولیدکننده	دقت استفاده‌کننده	دقت تولیدکننده	
۰/۹۷۴۱	۱	۰/۹۷۸۵	۰/۹۸۸۴	۰/۹۷۹۱	۰/۹۰۶	کشاورزی
۰/۸۶۲۱	۰/۷۶۲۳	۰/۸۵۹۱	۰/۹۲۷	۰/۹۹۲	۰/۹۹۰۴	مرتع غنی
۰/۹۶۶۲	۰/۸۹۹۸	۰/۹۸۸۲	۰/۹۹۹۶	۰/۸۲۱	۰/۸۵۱۳	مرتع فقیر
۰/۹۱۲۲	۰/۹۶۵۱	۰/۸۵۴۳	۰/۹۶۲۵	۰/۹۳۷	۰/۹۶۳	شهری
۰/۹۷۲۱	۰/۸۶۵۲	۰/۸۵۳۲	۰/۹۱۵۸	۰/۹۶۲۱	۰/۸۶۳۸	صخره‌ای و سنگلاخی
۰/۹۰۴۱		۰/۹۷۵۱		۰/۹۸۵۱		ضریب کاپا

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفت. این تغییرات شامل کاهش‌ها، افزایش‌ها و تغییرات خالص برای هر کلاس و انتقال از یک کلاس به کلاس‌های دیگر است.

باتوجه به نقشه‌های حاصل، مساحت طبقات پوشش اراضی در سال‌های مورد مطالعه به‌دست آمد (جدول ۳). سپس میزان تغییرات اتفاق افتاده در طی دوره زمانی





راهنا

کشاورزی کشاورزی مرغ غنی مرغ فقیر شهری صخره‌ای و سنگلاخی

شکل ۳: نقشه کاربری اراضی در سال الف (۲۰۰۰، ب) ۲۰۰۸، ج) ۲۰۱۶

د) نقشه پیش‌بینی شده پوشش اراضی سال ۲۰۱۶ با استفاده از CA-Markov

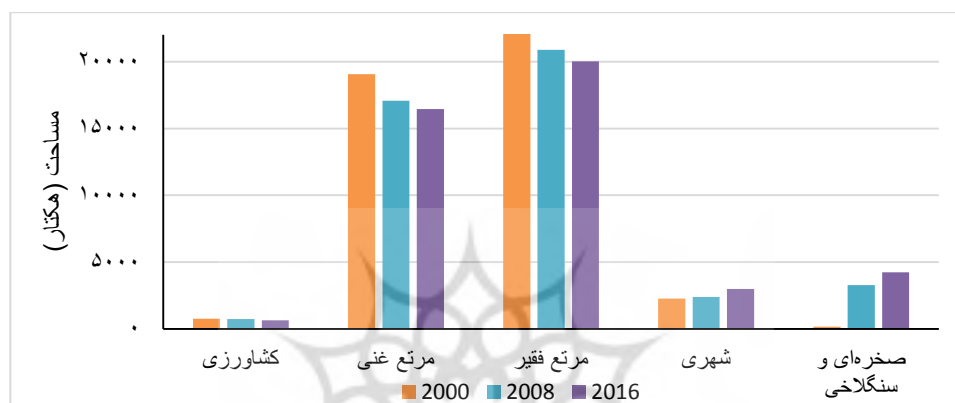
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸

غنی، ۷/۴۱ درصد را اراضی صخره‌ای و سنگلاخی و ۵/۳۸ درصد را مناطق شهری و ۱/۶۵ درصد را اراضی کشاورزی تشکیل داده‌است. در سال ۲۰۱۶، ۴۵/۱۰ درصد از منطقه را مرتع فقیر، ۳۷/۱۰ درصد را مرتع غنی، ۹/۵۸ درصد را اراضی صخره‌ای و سنگلاخی، ۶/۷۵ درصد را اراضی شهری و ۱/۴۶ درصد را اراضی کشاورزی دربرگرفته‌است (شکل ۴). نتایج نشان می‌دهد که دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۸ بیشترین کاهش وسعت مساحت با مقدار ۴/۴۳ درصد مربوط به کاربری مرتع غنی بوده‌است. این کاهش به گونه‌ای بوده که در طول ۸ سال مساحتی برابر با ۱۹۴۷/۰۴ هکتار بوده‌است که آهنگ کاهش سالانه ۲۴۵/۸۸ هکتاری را به دنبال دارد. بعد از آن، طبقه مرتع فقیر با مقدار کاهش ۲/۷۹ در جایگاه دوم قرار دارد. از آنجایی که این مراتع در ارتفاعات قرار دارد، با کاهش مساحت آن‌ها به مساحت اراضی صخره‌ای و سنگلاخی افزوده شده‌است. همچنین کاربری کشاورزی کاهش ۳۸/۳۴ هکتاری و اراضی شهری افزایش ۱۱۶/۷۳ هکتاری داشته‌است. طی دوره

نتایج حاصل از برآورد مساحت هریک از کاربری‌ها در سال‌های مورد بررسی نشان داد که در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۶، بیشترین مساحت مربوط به کاربری مرتع فقیر با مساحت به ترتیب ۴۹/۸۳، ۴۷/۰۴ و ۴۵/۱۰ هکتار است و کمترین مساحت در سال ۲۰۰۰ متعلق به اراضی صخره‌ای و سنگلاخی با ۰/۳۶ درصد و اراضی کشاورزی در سال ۲۰۰۸ و ۲۰۱۶ به ترتیب با ۱/۶۵ و ۱/۴۶ درصد از کل بوده‌است. با توجه به اینکه پوشش مرتع بیشتر در مناطق صخره‌ای و سنگلاخی دیده می‌شود، دلیل افزایش مساحت اراضی صخره‌ای و سنگلاخی به دلیل کاهش مساحت مراتع بوده‌است. با توجه به نتایج، در سال ۲۰۰۰، ۴۹/۸۳ درصد از منطقه را مرتع فقیر، ۴۲/۹۳ درصد را مرتع غنی، ۵/۱ درصد را مناطق شهری، ۱/۷۴ درصد را اراضی کشاورزی و ۰/۳۶ درصد از کل منطقه را اراضی صخره‌ای و سنگلاخی تشکیل می‌دهد؛ این در حالی است که در سال ۲۰۰۸، ۴۷/۰۴ درصد از منطقه مورد مطالعه را مرتع فقیر، ۳۸/۵۰ درصد را مناطق مرتع

افزایش شد. روند تغییرات کاربری اراضی در ۱۶ سال مورد بررسی نشان می‌دهد که به‌طور متوسط سالانه ۱۶۱/۸۵ هکتار از مراتع غنی، ۱۳۱/۱۴ هکتار از مراتع فقیر و ۷/۷۲ هکتار از مساحت اراضی کشاورزی کاسته و ۴۵/۱۶ هکتار در هر سال به کاربری شهری اضافه شده‌است (جدول ۳).

مطالعاتی ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۶ بیشترین کاهش وسعت مساحت مربوط به کاربری مرتع فقیر به مقدار ۱/۹۴ است که مساحت ۸۵۹/۲۳ هکتار از منطقه را دربرمی‌گیرد. بعد از آن مرتع غنی ۶۲۲/۶۲ هکتار و اراضی کشاورزی نیز ۸۵/۳۲ هکتار کاهش مساحت داشته‌است و به وسعت کاربری شهری ۶۰۵/۸۸ هکتار



شکل ۴: مقایسه مساحت کاربری‌های مختلف در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۶ برحسب درصد از کل تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸

جدول ۳: مساحت طبقه‌های مختلف کاربری اراضی و روند تغییرات آن‌ها در سال‌های مختلف

۲۰۱۶		۲۰۰۸		۲۰۰۰		سال
درصد	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	نوع پوشش
۱/۴۶	۶۴۸/۹	۱/۶۵	۷۳۴/۲۲	۱/۷۴	۷۷۲/۵۶	کشاورزی
۳۷/۱۰	۱۶۴۶۳/۷	۳۸/۵۰	۱۷۰۸۶/۳۲	۴۲/۹۳	۱۹۰۵۳/۳۶	مرتع غنی
۴۵/۱۰	۲۰۰۱۵/۴۶	۴۷/۰۴	۲۰۸۷۴/۶۹	۴۹/۸۳	۲۲۱۱۳/۸۱	مرتع فقیر
۶/۷۵	۲۹۹۶/۱۹	۵/۳۸	۲۳۹۰/۳۱	۵/۱	۲۲۷۳/۵۸	شهری
۹/۵۸	۴۲۵۱/۶۳۵	۷/۴۱	۳۲۹۰/۳۴۵	۰/۳۶	۱۶۲/۵۷	صخره‌ای و سنگلاخی

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

(جدول ۵). نتایج نشان داد که بیشترین خطا مربوط به کاربری مرتع فقیر با ۱/۶۳ درصد اختلاف است. براساس این نتایج، مقدار پوشش اراضی کشاورزی، مرتع غنی و اراضی صخره‌ای و سنگلاخی کمتر از مقدار واقعی بوده و به ترتیب ۰/۳۱، ۱/۴۸ و ۰/۵۵ است و اراضی مرتع فقیر و مناطق شهری با پوشش بیش از مقدار واقعی پیش‌بینی شده و به ترتیب ۱/۶۳ و ۰/۷۲۴ است.

برای شبیه‌سازی تغییرات پوشش زمین ابتدا به اعتبارسنجی مدل پرداخته شد؛ بدین‌منظور ماتریس احتمال انتقال برای سال ۲۰۱۶ تهیه شد (جدول ۴). نقشه‌های کاربری اراضی سال ۲۰۰۰ و ۲۰۰۸ به مدل معرفی شدند و تغییرات پوشش اراضی برای سال ۲۰۱۶ شبیه‌سازی شد. نقشه پوشش اراضی حاصل از مدل‌سازی با نقشه کاربری اراضی به‌دست‌آمده از تصاویر لندست سال ۲۰۱۶ به‌عنوان مرجع، مقایسه شد

جدول ۴: مساحت پیش‌بینی برای سال ۲۰۱۶ و ماتریس تبدیل ۲۰۰۸-۲۰۰۰ (هکتار)

مجموع	صخره‌ای و سنگلاخی	شهری	مرتع فقیر	مرتع غنی	کشاورزی	
۸۱۵/۸	۲/۸	۱۴۳/۸	۹/۱	۱/۵	۶۵۸/۶	کشاورزی
۱۸۹۸۴/۸	۱۴۸۶/۲	۲۱۲/۴	۱۸۷۶/۷	۱۵۴۰۸/۲	۱/۳	مرتع غنی
۲۰۶۲۵/۵۷	۱۶۹۷/۹	۵۶۶/۴	۱۶۷۸۱/۷۷	۱۵۷۷/۵	۲	مرتع فقیر
۲۶۵۵/۹	۲۶/۴	۱۷۴۵/۵	۶۲۲/۴	۱۳۶/۳	۱۲۵/۳	شهری
۱۲۹۳/۸۱۵	۱۲۸۴/۳۱۵	۸/۲	۰/۹	۰/۴	۰	صخره‌ای و سنگلاخی
۴۴۳۷۵/۸۹	۴۴۹۷/۶۱۵	۲۶۷۶/۳	۱۹۲۹۰/۸۷	۱۷۱۲۳/۹	۷۸۷/۲	مجموع

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

جدول ۵: مقایسه نتایج پیش‌بینی و مساحت‌های استخراج‌شده از نقشه کاربری سال ۲۰۱۶ (هکتار)

جمع	صخره‌ای و سنگلاخی	شهری	مرتع فقیر	مرتع غنی	کشاورزی	
۴۴۳۷۵/۸	۴۲۵۱/۶۳۵	۲۹۹۶/۱	۲۰۰۱۵/۴۶	۱۶۴۶۳/۷	۶۴۸/۹	مساحت در نقشه سال ۲۰۱۶
۴۴۳۷۵/۸	۴۴۹۷/۶۱۵	۲۶۷۶/۳	۱۹۲۹۰/۸۷	۱۷۱۲۳/۶	۷۸۷/۲	مساحت پیش‌بینی شده سال ۲۰۱۶
۰	-۲۴۵/۹۸	۳۱۹/۸۹	۷۲۴/۵۹	-۶۶۰/۲	-۱۳۸/۳	اختلاف مساحت‌ها
۰	-۰/۵۵۱	۰/۷۲۴	۱/۶۳	-۱/۴۸	-۰/۳۱	درصد اختلاف

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

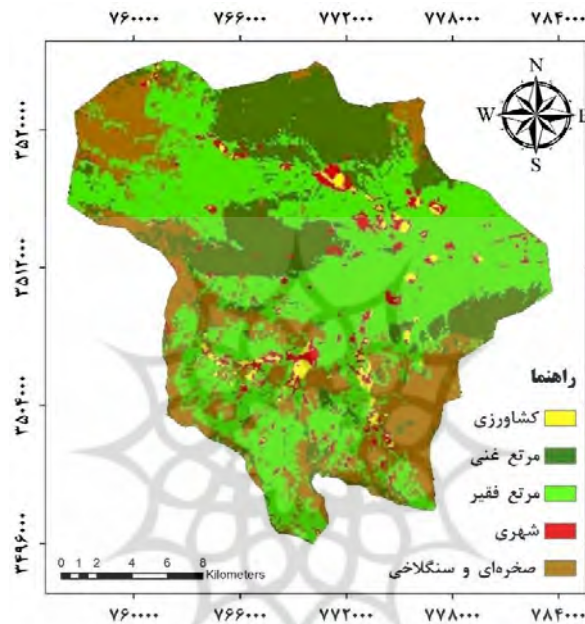
با فاصله زمانی ۸ سال را نشان می‌دهد تا با استفاده از این ماتریس احتمالی، نقشه سال ۲۰۲۴ (۸ سال آینده) پیش‌بینی و وضعیت کلاس‌ها مشخص شود. با توجه به اینکه دقت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای صد درصد نبوده، ولی مقدار دقت به دست آمده بسیار نزدیک به هم است و می‌توان با همین نتایج به دست آمده از طبقه‌بندی‌ها، تغییرات به وجود آمده در کاربری‌های اراضی را در بازه‌های زمانی مذکور ارزیابی و بررسی کرد. با توجه به ماتریس به دست آمده در فاصله زمانی ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۴، ۰/۵۵ درصد از کاربری کشاورزی، ۰/۸۲ درصد از مرتع غنی، ۰/۸۰ درصد مرتع فقیر، ۰/۵۱ درصد اراضی شهری و ۰/۹۷ درصد اراضی صخره‌ای و سنگلاخی بدون تغییر باقی می‌مانند که اراضی صخره‌ای و سنگلاخی پایداری نسبتاً بالا و کشاورزی و شهری پایداری کمتری دارند. امکان تبدیل زمین‌های کشاورزی به مسکونی و مرتع فقیر ۰/۴۰ درصد است.

پیش‌بینی تغییرات با استفاده از مدل مارکوف، به‌طور کلی بر وضعیت کاربری زمین در سال ۲۰۰۸، ۲۰۱۶ و تغییرات کاربری زمین در دوره ۸ ساله متکی است. بعد از اجرای تحلیل زنجیره مارکوف بر روی دو نقشه کاربری اراضی به دست آمده از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، یک ماتریس احتمال انتقال، ماتریس مساحت انتقال یافته و چند تصویر احتمال شرطی ایجاد شد. در ماتریس احتمال انتقال، ردیف نشان‌دهنده پوشش زمین در دوره اول و ستون نشان‌دهنده پوشش زمین در دوره دوم است. تصاویر احتمال شرطی حاصل از تحلیل زنجیره مارکوف، از ماتریس احتمال انتقال به دست آمده است و احتمال اینکه هر نوع پوشش زمین در هر موقعیت مکانی در آینده یافت شود را بیان می‌کند که بر اساس دو تصویر پوشش زمین قبلی نقشه‌سازی شده است. جدول ۶ ماتریس احتمال تبدیل کلاس‌های پوشش اراضی از نقشه سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۰۸

جدول ۶: ماتریس احتمال تبدیل طبقه‌ها در فاصله زمانی ۲۰۱۶-۲۰۲۴ به مدل زنجیره مارکوف (درصد)

کشاورزی	۰/۵۵	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۴	۰
مرتع غنی	۰	۰/۸۲	۰/۱۱	۰/۰۲	۰/۰۴
مرتع فقیر	۰	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۰۶
شهری	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۲۴	۰/۵۱	۰/۰۷
صخره‌ای و سنگلاخی	۰	۰/۰۱	۰/۰۲	۰	۰/۹۷

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸



شکل ۸: نقشه پوشش اراضی پیش‌بینی شده با استفاده از مدل CA-Markov در سال ۲۰۲۴

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸

نتایج حاصل از مقایسه مساحت کاربری اراضی در سال ۲۰۱۶ با مقادیر پیش‌بینی شده در سال ۲۰۲۴ نشان داد که در این بازه زمانی ۸ ساله از مساحت کاربری کشاورزی، مرتع غنی و مرتع فقیر کاسته و به مساحت کاربری شهری و اراضی صخره‌ای و سنگلاخی خواهد شد؛ به طوری که در سال ۲۰۲۴ کاربری‌های

کشاورزی، مرتع غنی و مرتع فقیر به ترتیب ۱۴/۸۱، ۹۰۷/۲ و ۱۳۰۶/۳ هکتار کاهش مساحت خواهد داشت و مساحت کاربری‌های شهری و اراضی صخره‌ای و سنگلاخی به ترتیب ۱۸۸/۳۸ و ۱۹۴۴/۸ هکتار افزایش خواهد داشت (جدول ۷).

جدول ۷: مساحت طبقه‌های مختلف کاربری اراضی و روند تغییرات آن‌ها در سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۲۴

میزان تغییرات (هکتار)	۲۰۲۴		۲۰۱۶		سال
	درصد از کل	مساحت (هکتار)	درصد از کل	مساحت (هکتار)	
-۱۴/۸۱	۱/۴۳	۶۳۴/۰۸	۱/۴۶	۶۴۸/۹	کشاورزی
-۹۰۷/۲	۳۵/۱۳	۱۵۵۵۶/۴	۳۷/۱۰	۱۶۴۶۳/۷	مرتع غنی
-۱۳۰۶/۳	۴۲/۲۵	۱۸۷۰۹/۱	۴۵/۱۰	۲۰۰۱۵/۴۶	مرتع فقیر
۱۸۸/۳۸	۷/۱۹	۳۱۸۴/۵	۶/۷۵	۲۹۹۶/۱۹	شهری
۱۹۴۴/۸	۱۳/۹۹	۶۱۹۶/۵	۹/۵۸	۴۲۵۱/۶۳	صخره‌ای و سنگلاخی

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

نتیجه

داشتن آمار و اطلاعات بهنگام از کاربری‌های موجود، لازمه مدیریت صحیح عرصه‌های طبیعی است. یکی از مبانی مدیریت منابع طبیعی، اطلاعات مربوط به تغییرات کاربری اراضی است. در تحقیق حاضر، تغییرات کاربری اراضی در حوزه شیرکوه در بخشی از استان یزد در دوره زمانی (۲۰۰۸-۲۰۱۶ و ۲۰۰۰-۲۰۰۸) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و همچنین توانایی پیش‌بینی تغییرات پوشش اراضی براساس رویکرد مدل‌سازی زنجیره مارکوف وضعیت طبقه‌های کاربری اراضی ۸ سال آینده (۲۰۲۴) مورد پیش‌بینی قرار گرفت و اندازه تغییرات و متغیرهای مؤثر در آن از طریق داده‌های سنجش‌ازدور بررسی شد. نتایج نشان داد که دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۸ بیشترین کاهش وسعت مساحت با مقدار ۴/۴۳ درصد مربوط به کاربری مرتع غنی بوده است. بعد از آن، طبقه مرتع فقیر با مقدار کاهش ۲/۷۹ در جایگاه دوم قرار دارد و از آنجایی که این مراتع در ارتفاعات قرار دارند، با کاهش مساحت آن‌ها به مساحت اراضی صخره‌ای و سنگلاخی افزوده شده است. نتایج حاصل از پژوهش زارع و غفاریان مالگیری (۱۳۹۶) که به پایش خشکسالی و تأثیر آن بر پوشش گیاهی در استان یزد در بازه زمانی ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۴ پرداختند نیز این موضوع را تأیید می‌کند و بیان داشتند که در سال ۲۰۰۸ این منطقه دارای خشکسالی بسیار شدیدی بوده و در مناطق کم‌ارتفاع گونه‌های مقاوم به خشکی، نظیر انواع گونه‌های جنس سالسولا، گز، تاغ و... حضور دارند که نسبت به کمبود بارش و دوره‌های خشکسالی مقاوم هستند و افزایش ارتفاع و میزان بارش و همچنین کاهش دما منجر به تغییر فرم رویشی و حضور بیشتر گیاهان علفی خواهد شد و حساسیت مناطق علفزار نسبت به تغییرات بارندگی نسبت به سایر تیپ‌های گیاهی بیشتر است؛ بنابراین با وقوع خشکسالی، مناطق کوهستانی و ارتفاعات بیشتر تحت تأثیر قرار گرفته‌اند. همچنین کاربری کشاورزی کاهش ۳۸/۳۴ هکتاری و اراضی شهری افزایش ۱۱۶/۷۳ هکتاری داشته‌اند. طی دوره مطالعاتی ۲۰۰۸ تا

۲۰۱۶ بیشترین کاهش وسعت مساحت مربوط به کاربری مرتع فقیر به مقدار ۱/۹۴ است که مساحت ۸۵۹/۲۳ هکتار از منطقه را دربرمی‌گیرد. بعد از آن مرتع غنی ۶۲۲/۶۲ هکتار و اراضی کشاورزی نیز ۸۵/۳۲ هکتار کاهش مساحت داشته‌اند و به وسعت کاربری شهری ۶۰۵/۸۸ هکتار اضافه شد. روند تغییرات کاربری اراضی در ۱۶ سال مورد بررسی نشان می‌دهد که به‌طور متوسط سالانه ۱۶۱/۸۵ از مراتع غنی، ۱۳۱/۱۴ هکتار از مراتع فقیر و ۷/۷۲ هکتار از مساحت اراضی کشاورزی کاسته و ۴۵/۱۶ هکتار در هر سال به کاربری شهری اضافه شده است. با استفاده از کاربری اراضی سال ۲۰۰۸ و ۲۰۱۶ نقشه پوشش اراضی سال ۲۰۲۴ پیش‌بینی شد که نتایج نشان داد ۰/۵۵ درصد از کاربری کشاورزی، ۰/۸۲ درصد از مرتع غنی، ۰/۸۰ درصد مرتع فقیر، ۰/۵۱ درصد اراضی شهری و ۰/۹۷ درصد اراضی صخره‌ای و سنگلاخی بدون تغییر باقی می‌مانند که اراضی صخره‌ای و سنگلاخی پایداری نسبتاً بالا و کشاورزی و شهری پایداری کمتری دارند. امکان تبدیل زمین‌های کشاورزی به مسکونی و مرتع فقیر ۰/۴۰ درصد است. نتایج این پژوهش با نتایج صالحی و همکاران (۱۳۹۸) که بیان داشتند اراضی مسکونی پویاترین کاربری موجود است و مطالعه یوسفی و همکاران (۱۳۹۶) و همچنین جعفرزاده و همکاران (۱۳۹۷) که نشان داده‌بود مساحت کاربری کشاورزی کاهش و بر مساحت اراضی شهری افزوده شده است، مطابقت دارد. بهره‌گیری از مدل تلفیقی زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار در پیش‌بینی تغییرات و تهیه نقشه پیش‌بینی تغییرات کاربری‌های مختلف از جنبه‌های مهم نوآوری این مطالعه محسوب می‌شود. با دراختیار داشتن نقشه موقعیت مکانی - احتمالی، طول و عرض جغرافیایی تمام پیکسل‌های هریک از کاربری‌ها، می‌توان از این مسئله در برنامه‌ریزی‌های آتی کمک گرفت. نقشه‌های شبیه‌سازی شده در این بررسی می‌تواند راهنمای مناسبی برای مدیران و برنامه‌ریزان در بخش منابع طبیعی باشد.

منابع

- رهنما، محمدرحیم؛ محمد اجزاشکوهی؛ بهنام عطا (۱۳۹۶). آشکارسازی تغییرات کاربری/ پوشش اراضی شهر گنبدکاووس با استفاده از سنجش‌ازدور، فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی «سپهر». دوره ۲۶، شماره ۱۰۳. صفحات ۱۶۰-۱۴۷.
http://www.sepehr.org/article_28900.html?lang=en
- زارع خورمیزی، هادی؛ حمیدرضا غفاریان‌المیری (۱۳۹۶). پایش خشکسالی و تأثیر آن بر پوشش گیاهی با استفاده از فناوری‌های سنجش‌ازدور (بررسی موردی: استان یزد، سال‌های ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۴). مدیریت بیابان، دوره ۵، شماره ۱۰. صفحات ۸۶-۶۸.
http://www.jdmal.ir/article_30663.html?lang=en
- شیرکلائی، ایوب (۱۳۸۷). «سنجش گسترده‌گی شهری و تأثیر آن بر تغییر کاربری اراضی سواحل جنوبی دریای مازندران با استفاده از GIS (مورد مطالعه: محور چالوس- نور بین سال‌های ۱۳۶۷ تا ۱۳۸۵)». دانشکده علوم انسانی و اجتماعی. دانشگاه زنجان.
<https://www.virascience.com/thesis/478895/>
- صالحی، ناهید؛ محمدرضا اختصاصی؛ علی طالبی (۱۳۹۸). پیش‌بینی روند تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل زنجیره مارکوف CA-Markov (مطالعه موردی: حوزه آبخیز صفارود رامسر)، سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی. دوره ۱۰، شماره ۱. صفحات ۱۲۰-۱۰۶.
http://girs.iaubushehr.ac.ir/article_665232.html
- عزیزی‌قلاتی، سارا؛ کاظم رنگزن؛ جواد سدیددی؛ پیمان حیدریان؛ ایوب تقی‌زاده (۱۳۹۵). پیش‌بینی روند تغییرات مکانی کاربری اراضی با استفاده از مدل زنجیره مارکوف-CA (مطالعه موردی: منطقه کوهمره سرخی استان فارس)، سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی. دوره ۷، شماره ۱. صفحات ۷۱-۵۹.
http://girs.iaubushehr.ac.ir/article_521996.html
- فاطمی، سیدباقر؛ یوسف رضایی (۱۳۸۵). مبانی سنجش‌ازدور، انتشارات آزاده. تهران.
- اسلمی، فرنوش؛ اردوان قربانی؛ بهروز سبحانی؛ محسن پناهنده (۱۳۹۳). مقایسه روش‌های شبکه عصبی مصنوعی، ماشین بردار پشتیبانی و شیء‌گرا در استخراج کاربری و پوشش اراضی از تصاویر لندست، سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی. دوره ۶، شماره ۳. صفحات ۱۴-۱.
http://girs.iaubushehr.ac.ir/article_516792.html
- اندریانی، صغری؛ محمدرضا نیکجو؛ محمدحسین رضائی‌مقدم؛ داود مختاری (۱۳۹۷). تحلیل تغییرات کاربری اراضی با استفاده از روش‌های شیء‌گرا و زنجیره مارکوف در حوضه آبریز زلیبیرچای واقع در آذربایجان شرقی و غربی. فصلنامه جغرافیا و توسعه. دوره ۱۶. صفحات ۵۰-۳۷.
https://gdij.usb.ac.ir/article_4149.html?lang=en
- جعفرزاده، کاوه؛ غلامرضا سبزقبایی؛ شهرام یوسفی؛ ستار سلطانیان (۱۳۹۷). مدل‌سازی تغییرات ساختار شهری با رویکرد برنامه‌ریزی فضایی برای رسیدن به توسعه پایدار شهری (مطالعه موردی: شهر قائم‌شهر)، فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی «سپهر». دوره ۲۷، شماره ۱۰۷. صفحات ۲۲۲-۲۰۹.
http://www.sepehr.org/article_33577.html?lang=en
- خزائی، مرضیه؛ محمد زارع؛ محمدحسین مختاری؛ آناهیتا رشتیان؛ فهیمه عربی‌علی‌آباد (۱۳۹۸). مقایسه دقت انواع روش‌های طبقه‌بندی در تهیه نقشه کاربری اراضی (مطالعه موردی: شهر یزد)، کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی. شماره ۷. صفحات ۱۷۸-۱۶۵.
http://grd.yazd.ac.ir/article_1599.html
- خوش‌گفتار، محمدمهدی؛ محمدطالعی (۱۳۸۹). شبیه‌سازی رشد شهری تهران با استفاده از مدل CA-Markov. نشریه سنجش‌ازدور و GIS ایران. شماره ۲. صفحات ۳۳-۱۷.
http://gisj.sbu.ac.ir/article_94508.html?lang=fa

- Adedeji, O. H.; Tope-Ajayi, O. O.; Abegunde, O. L. (2015). Assessing and predicting changes in the status of Gambari forest reserve, Nigeria using remote sensing and GIS techniques. *Journal of Geographic information system*, 7(3), 301 .
<https://m.scirp.org/papers/57588>
- Bauni, V.; Schivo, F.; Capmourteres, V.; Homberg, M. (2015). Ecosystem loss assessment following hydroelectric dam flooding: The case of Yacyretá, Argentina. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 1, 50-60 .
<http://ri.unsam.edu.ar/handle/123456789/1001>.
- Chen, M.; Su, W.; Li, L. C.; Yue, A.; Li, H. (2010). of Pixel-based and Object-oriented Knowledge based Classification Methods Using SPOT5 Imagery. *wseas Transactions on Information Science & Applications*, ISSN:1790- 0832:477-489.
<https://www.semanticscholar.org/paper/Comparison-of-pixel-based-and-object-oriented-using-Chen-Su/9713fb590c9fdf677312ea53eada289dae5051cc>
- Congalton, R.G.; Green, K. (1999). *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices*. Boca Raton: Lewis Publishers
- Eastman, J. R. (2003). *IDRISI Kilimanjaro: guide to GIS and image processing* .
- 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.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.06.015>
- Huang, Y.; Yang, B.; Wang, M. (2020). Analysis of the future land cover change in Beijing using CA-Markov chain model. *Environ Earth Sci*. 60, 1-12.
<https://www.springerprofessional.de/en/analysis-of-the-future-land-cover-change-in-beijing-using-ca-mar/17552736>
- ممبئی، مریم؛ حمیدرضا عسگری (۱۳۹۷). پایش، بررسی و پیش‌بینی روند تغییرات مکانی کاربری اراضی/ پوشش زمین با استفاده از مدل زنجیره‌ای مارکوف، فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی «سپهر». دوره ۲۷. شماره ۱۰۵. صفحات ۴۷-۳۵.
http://www.sepehr.org/article_31471.html
- میرعلیزاده‌فرد، سیدرضا؛ سیده مریم علی‌بخشی (۱۳۹۵). پایش و پیش‌بینی روند تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل زنجیره مارکوف و مدل‌ساز تغییر کاربری اراضی (مطالعه موردی: دشت برتش دهلران، ایلام). *سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*، دوره ۷. شماره ۲. صفحات ۴۶-۳۳.
http://girs.iaubushehr.ac.ir/article_524153.html
- نصری‌راد، سهیلا؛ حامد نقوی؛ جواد سوسنی؛ احمدرضا نورالدینی (۱۳۹۸). پیش‌بینی تغییرات مکانی جنگل‌های زاگرس با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل LCM (مطالعه موردی: حوزه بسطام شهرستان سلسله)، فصلنامه جغرافیا و توسعه. دوره ۱۷. شماره ۵۴. صفحات ۱۲۰-۱۰۷.
https://gdij.usb.ac.ir/article_4350.html
- یوسفی، مریم؛ جواد مکانیکی؛ علی اشرفی؛ نجمه نیسانی سامانی (۱۳۹۶). آشکارسازی و مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور، مدل زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار (مطالعه موردی: شهر بجنورد)، *مجله آمایش جغرافیایی فضا*. دوره ۷. شماره ۲۶. صفحات ۱۶-۱.
http://gps.gu.ac.ir/article_60535.html?lang=en
- Al-Ahmadi, F. S.; Hames, A. S. (2009). Comparison of four classification methods to extract land use and land cover from raw satellite images for some remote arid areas, Kingdom of Saudi Arabia. *JKAU, Earth Science*, 20 (1): 167-191.
https://www.kau.edu.sa/Files/320/Researches/5147_3_21608.pdf

- Richards, J. A.; Richards, J. (1999). Remote sensing digital image analysis (Vol. 3): Springer.
- Stephenne, N.; Lambin. E.; (2001). A dynamic simulation model of land-use changes in Sudanosahelian countries of Africa (SALU). Agriculture, Ecosystems & Environment, 85(1-3): 145-161.
<https://www.sciencebase.gov/catalog/item/50577487e4b01ad7e027c79a>
- Taubenböck, H.; Thomas Esch and Andreas Felbier and Michael Wiesner and Achim Roth, and Stefan Dech. (2012). Monitoring urbanization in mega cities from space. Remote sensing of Environment, 117, Netherland.
<https://core.ac.uk/download/pdf/220158954.pdf>
- Tso, B.; Mather, P.M.; (2009). Classification Methods for Remotely Sensed Data. Chapter 2-3. 2 ed., Taylor and Francis Pub., America.
- Weng, Q. (2002). Land use change analysis in the Zhujiang Delta of China using satellite remote sensing, GIS and stochastic modelling. Journal of environmental management, 64(3), 273-284.
<https://doi.org/10.1006/jema.2001.0509>
- Wu, Q.; Li, H.-q.; Wang, R.-s.; Paulussen, J.; He, Y.; Wang, M.; Wang, Z. (2006). Monitoring and predicting land use change in Beijing using remote sensing and GIS. Landscape and Urban Planning, 78(4), 322-333.
<https://core.ac.uk/download/pdf/190067905.pdf>
- Yuan, F.; M.E.; Bauer, N.J.; Heinert, G.R.; Holden., (2005). Multi-level Land Cover Mapping of the Twin Cities (Minnesota) Metropolitan Area with Multi-seasonal Landsat TM/ETM+ Data. Geocarto International, 20 (2): 5-13.
<https://doi.org/10.1080/10106040508542340>
- hang, R.; Tang, C.; Ma, S.; Yuan, H.; Gao, L.; Fan, W. (2011). Using Markov chains to analyze changes in wetland trends in arid Yinchuan Plain, China. Mathematical and Computer Modelling, 54(3-4), 924-930.
<http://www.math.uni.wroc.pl/~topolski/Mokradla.pdf>
- Knorn, J.; Rabe, A.; Radeloff, V. C.; Kuemmerle, T.; Kozak, J.; Hostert, P. (2009). Land cover mapping of large areas using chain classification of neighboring Landsat satellite images. Remote Sensing of Environment, 113(5), 957-964.
http://silvis.forest.wisc.edu/wp-content/uploads/pubs/SILVIS/Knorn_2009_RSE_0.pdf
- Li, X.; A. Yeh.; (2002). Neural-network-based cellular automata for simulating multiple land use changes using GIS. International Journal of Geographical Information Science, 16(4): 323- 343.
<https://doi.org/10.1080/13658810210137004>
- Liu, X.; He, J.; Yao, Y.; Zhang, J.; Liang, H.; Wang, H.; Hong, Y. (2017). Classifying urban land use by integrating remote sensing and social media data. International Journal of Geographical Information Science, 31(8), 1675-1696.
<https://doi.org/10.1080/13658816.2017.1324976>
- Lu, D.; Mousel, P.; Brondi'zio, E.; Moran. E.; (2004). Change detection techniques, International Journal of Remote Sensing, 25(12), 2365 – 2407
<https://doi.org/10.1080/0143116031000139863>
- Mather, PM. (1999). Computer processing of remotely sensed images. 2nd Edition. Tylor & Wiely & sons
- Mitsova. D.; Shuster W.; Wang X. (2011). A cellular automata model of land cover changes to integrate urban growth with open space conservation. Landscape and Urban Planning, 99(2): 141-153.
https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?Lab=NRMRL&dirEntryId=233228
- Patino, J. E.; Duque, J. C. (2013). A review of regional science applications of satellite remote sensing in urban settings. Computers, Environment and Urban Systems, 37, 1-17.
<http://hdl.handle.net/10784/5325>
- Richards, J. A.; Jia, X. (2006). Multispectral Transformations of Image Data. Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction, 137-163.