



دوره ۳۳، شماره ۳، شماره‌ی پیاپی ۱۲۸، پاییز ۱۳۹۹، صفحه‌های ۱۰۷-۹۱  
شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/wmej.2019.128009.1267

# پژوهش‌های آبخیزداری

## پیش‌بینی و آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل CA مارکوف و LCM در آبخیز کوزه-تپراقی استان اردبیل

مریم آقایی

دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS، دانشکده‌ی ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی

حسن خاوریان

استادیار گروه آموزشی جغرافیا، دانشکده‌ی ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی

رئوف مصطفی‌زاده

(نویسنده‌ی مسئول) \* دانشیار گروه آموزشی منابع طبیعی و عضو پژوهشکده‌ی مدیریت آب، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی،

دانشگاه محقق اردبیلی

\*رایانامه‌ی نویسنده‌ی مسئول: raofmastaafazadeh@uma.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۵ مهر ۱۳۹۸ تاریخ پذیرش: ۲۶ آذر ۱۳۹۸

### چکیده

شبیه‌سازی و نظارت بر روند آینده‌ی تغییر کاربری زمین یکی از چالش‌های مهم برای محققان و تصمیم‌گیرندگان است. این پژوهش با داده‌ها و مدل‌های زمانی-مکانی به شبیه‌سازی و ارزیابی روند آینده‌ی تغییر کاربری زمین در آبخیز کوزه‌تپراقی در استان اردبیل پرداخته است. از ۳ تصویر ماهواره‌ی لندست ETM+ (۲۰۰۰)، TM (۲۰۱۰) و OLI (۲۰۱۸) بهره گرفته شد. برای شبیه‌سازی نقشه‌ی تغییر کاربری زمین در سال ۲۰۳۶ مدل CA مارکوف، و برای بررسی روند آینده‌ی کاربری زمین مدل‌ساز تغییر سرزمین LCM به کار برده شد. برای بررسی صحت مدل CA مارکوف، نقشه‌ی تغییر پیش‌بینی‌شده‌ی سال ۲۰۱۸ با نقشه‌ی طبقه‌بندی ۲۰۱۸ صحت‌سنجی شد و براساس ضریب کاپا دقت زیاد ۰/۸۰۸۵۲ در پیش‌بینی تغییر به‌دست آمد. برای تحلیل و آشکارسازی تغییر کاربری زمین سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۳۶ و شناخت روند تغییر کاربری‌ها مدل‌ساز تغییر سرزمین به کار برده شد. نتیجه نشان‌دهنده‌ی این است که سطح کاربری‌های کشاورزی آبی ۸۰/۵۲٪، مرتع ۳۶/۹۰٪ و زمین درختی ۵/۷۶٪ در آبخیز کوزه‌تپراقی افزایش خواهد یافت، و از سطح کاربری‌های کشاورزی دیم به‌اندازه‌ی ۴۳/۴۳٪ و سطح آب به‌اندازه‌ی ۹۱/۴۰٪ کاسته خواهد شد. تغییر عمده‌ی کاربری کشاورزی دیم در بخش‌های مرکزی آبخیز، زمین درختی در بخش جنوب غربی، مرتع در قسمت جنوب غربی و کشاورزی آبی در زیرحوزه‌های پایین‌دست آبخیز کوزه‌تپراقی است.

واژگان کلیدی: تغییر کاربری زمین، روند تغییر، صحت‌سنجی، مدل زمانی-مکانی، نقشه‌ی تغییر

### مقدمه

تغییر کاربری زمین یکی از مهم‌ترین عامل‌ها برای درک تغییر محیطی در تمام مقیاس‌های زمانی-مکانی است (ساندراکومار و همکاران ۲۰۱۵). تغییر کاربری زمین بر حجم روان‌آب با عامل‌هایی مانند افزایش ظرفیت سیل رودخانه‌ها، افزایش ارتفاع رودخانه‌ها و افزایش ارتفاع آب در رودخانه تاثیر می‌گذارد (ریاند و همکاران ۲۰۱۷). یکی از مهم‌ترین ابزار تصمیم‌گیری برای برنامه‌ریزی زمین در مقیاس جهانی و ناحیه‌یی آگاهی از تغییر کاربری زمین است. پیشرفت در درک حالت‌های ممکن تغییر کاربری زمین ممکن است در شناسایی فرآیندهای زمین (سیلاب و ...) در آینده مناسب باشد (آرمنیادگانه و همکاران ۲۰۱۹). علاوه بر این، تغییر کاربری زمین می‌تواند به تاثیر شدید بر فرآیند آب‌شناسی با پیوند بین تغییر کاربری زمین و آب‌شناسی و تاثیر گسترش کاربری زمین کشاورزی بر منابع طبیعی از نظر از دست دادن پوشش گیاهی بیافزاید. از این دید که زمین درختی می‌تواند موجب افزایش تبخیر-انتقال و کاهش روان‌آب سطحی شود (اسکاداچ و همکاران ۲۰۰۶). با این حال از دست رفتن و تکه-تکه شدن زیستگاه‌های طبیعی به دلیل گسترش کشاورزی علت اصلی کاهش تنوع زیستی تا به امروز بوده است (پاول و همکاران ۲۰۱۳). مدل‌های پیش‌بینی برای ساخت حالت‌های ممکن در شرایطی که ممکن است در آینده رخ دهد، مفید است.

در بسیاری از زمینه‌ها مدل‌سازی بخش جداناپذیری از تجزیه و تحلیل سنجش از دور است. مدل‌های کاربری زمین ابزارهای مفید، تکرارپذیر و مکمل توانایی‌های ذهنی موجود در تجزیه و تحلیل تغییر کاربری زمین و تصمیم‌گیری آگاهانه‌تر است (عزیزی‌قلاتی و همکاران ۲۰۱۴). داده‌های سنجش از دور داده‌های منطقه‌های جغرافیایی وسیع را پوشش می‌دهد و پوشش زمانی زیاد این نوع از داده‌ها اطلاعات بارزتری از فرآیند، نسبت، مکان، روند طبیعی و الگوی تغییر پوشش کاربری زمین فراهم می‌کند (مونتالی و همکاران ۲۰۱۹). مدل‌ها و تحلیل حالت‌های ممکن ابزاری قوی برای شناخت الگوی کاربری زمین و مکانیزم‌های پیچیده آن است. بعضی از مدل‌های شبیه‌سازی پویایی ممکن است به تصمیم‌گیری در مورد شبیه‌سازی حالت‌های ممکن آینده کمک کند. از جمله این مدل‌ها اتوماتای سلولی و زنجیره‌ی مارکوف است (سامی و همکاران ۲۰۱۷). مدل-سازی مکانی تغییر کاربری زمین نیازمند اطلاعات در مورد اندازه‌ی تغییر و این که تغییر در کجا اتفاق خواهد افتاد (مقدار و مکان) است. مدل زنجیره‌ی مارکوف تنها پویایی زمانی را به دست می‌آورد و اطلاعاتی از مکان نمی‌دهد. در مقایسه با مدل زنجیره‌ی مارکوف، مدل اتوماتای سلولی CA مولفه مکانی نیز دارد، که تغییر در آینده را با قانون‌های خاصی از

سلول‌های همسایه به دست می‌آورد. خروجی مدل مارکوف از نظر ماهیت، نامکانی است؛ یعنی در آن هیچ دانش و آگاهی از موقعیت جغرافیایی کاربری‌های زمین وجود ندارد.

برای پیش‌بینی موقعیت کاربری‌ها در زمان  $t+1$ ، فن سلول‌های خودکار به همراه مدل مارکوف به کار گرفته می‌شود. مدل CA مارکوف مولفه‌های مجاورت مکانی و دانش کاربر را به توزیع مکانی احتمال تبدیل کاربری‌ها به مدل زنجیره‌ی مارکوف اضافه می‌کند (میثاق و همکاران ۲۰۱۸). در مدل CA مارکوف وضعیت هر سلول به وضعیت مکانی و زمانی سلول‌های مجاور بستگی دارد (ردی و همکاران ۲۰۱۷). مدل CA مارکوف با در نظر گرفتن روند تغییر کاربری زمین و حالت ممکن در نظر، در پیش‌بینی مکانی-زمانی بسیار مفید است (موجیون و همکاران ۲۰۱۷). به طور کلی توانایی مدل‌سازی و شبیه‌سازی حالت‌های ممکن مختلف با مدل‌های کارآمد در تحلیل‌های مکانی و به کار بردن روش‌های نوین در پردازش تصویرهای ماهواره‌یی، امکان بررسی و پیش‌بینی تغییر مکانی-زمانی کاربری زمین را می‌دهد (ابراهیمی و همکاران ۲۰۱۸). مدل‌سازی تغییر سرزمین LCM ابزاری قوی برای پیش‌بینی حالت‌های ممکن تغییر کاربری زمین در آینده است و به گستردگی به کار گرفته می‌شود (وانگ و همکاران ۲۰۱۸). مدل‌سازی تغییر سرزمین برای پایداری محیط: زیست نرم‌افزاری یکپارچه است که با نرم‌افزار IDRISI Selva ۱۷,۰، برای تحلیل تغییر کاربری زمین ساخته شده است. مدل تغییر کاربری زمین ابزاری برای تحلیل تغییر کاربری زمین است. به کار بردن این مدل‌ها فهم بهتری از عمل کرد سامانه‌ی کاربری زمین و مدیریت محیط را فراهم می‌کند. علاوه بر این، این مدل‌ها می‌تواند تغییر کاربری زمین و به کار بردن کاربری زمین در حالت‌های ممکن مختلف در آینده را نیز پیش‌بینی کند (میشرا و همکاران ۲۰۱۴، به نقل از آزمایشگاه کلارک ۲۰۰۹).

پژوهش‌های متعددی در ایران و جهان برای پیش‌بینی تغییر کاربری زمین باجمدل‌ساز تغییر سرزمین و مدل CA مارکوف انجام گرفته‌است. حیدریان و همکاران (۲۰۱۳) به پایش تغییر کاربری زمین در شهر تهران با تصویرهای ماهواره‌یی لندست ۵ سنجنده TM<sup>1</sup> (۱۳۷۴/۰۵/۲۵) و لندست ۷ سنجنده ETM<sup>2</sup>+ (۱۳۸۵/۰۶/۳۰) پرداختند و پس از مقایسه‌ی طبقه‌بندی برای پایش تغییر کاربری زمین بیان کردند که منطقه‌های ساخته‌شده (۴۶۰۳/۶۸ هکتار)، پارک‌ها (۶۵۰/۷ هکتار) و سطح‌های آب (۲۲/۳۲ هکتار) افزایش داشته‌است. مساحت فضای سبز (۴۶۰۳/۶۸ هکتار) و پوشش گیاهی (۷۱۵/۲۳ هکتار) نیز کاهش یافته‌است. آن‌ها نتیجه گرفتند که بیش‌ترین تغییر در منطقه‌های ساخته‌شده در غرب شهر تهران بود. عقیقی (۲۰۱۸)

1-thematic mapper (TM)

2-enhancement thematic mapper plus (ETM+)

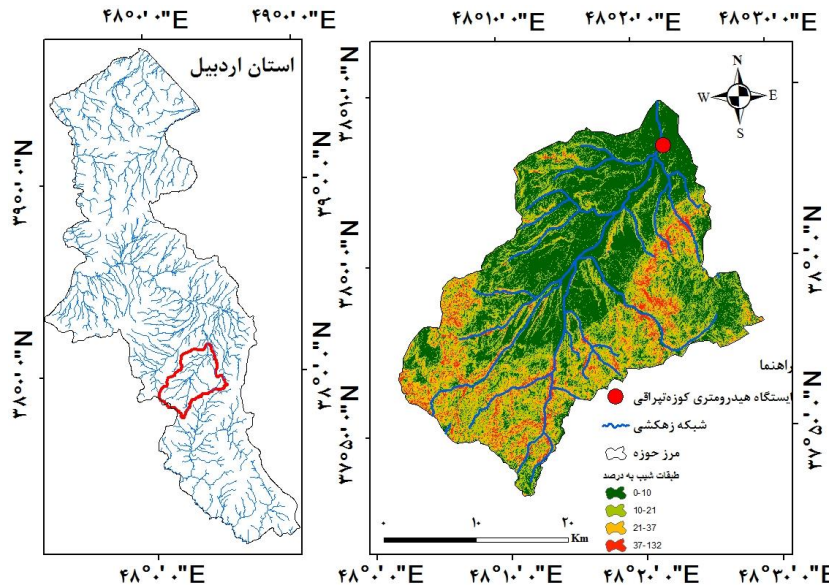
پیش‌بینی سال ۲۰۲۰ و ۲۰۳۰ نشان داد که ۲۸٪ و ۳۴۸٪ از مساحت کلی منطقه به کاربری زمین شهری در سال ۲۰۲۰ و ۲۰۳۰ تبدیل خواهد شد. ایشان به این نتیجه رسیدند که مدل CA مارکوف انتخاب بهتری برای پیش‌بینی طولانی‌مدت در محدوده است. شبیه‌سازی روند تغییر کاربری زمین در آینده با مدل‌های CA مارکوف و مدل‌سازی تغییر سرزمین با آبراس و همکاران (۲۰۱۸) در سال‌های ۱۹۸۴، ۱۹۹۰، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ نشان داد که در ۱۰ سال آینده ناحیه‌های کشاورزی از ناحیه‌های شهری تاثیر خواهد گرفت که ناشی از توسعه‌ی اقتصادی است. این پژوهش با رویکرد پویا به مدل‌های فضایی با مدل‌سازی تغییر سرزمین و CA مارکوف و تحلیل‌های زمانی-مکانی انجام شد. شبیه‌سازی تغییر کاربری زمین روشی است که می‌توان برای کم کردن علل و تاثیر این تغییر پویا به کار برد. با توجه به وسعت، تنوع کاربری زمین و شرایط مساعد آب‌وهوایی برای هدف‌های کشاورزی و تغییر کاربری زمین آبخیز کوزه‌تپراقی برای این تحقیق انتخاب شد. سابقه‌ی تغییر کاربری زمین در منطقه و نزدیکی به شهر اردبیل و بودن سد ملاحمد تغییر کاربری را در منطقه تشدید و تسریع نموده است. در این پژوهش به شناسایی الگوهای زمانی-مکانی تغییر کاربری زمین در آبخیز کوزه‌تپراقی با داده‌های سنجش‌ازدور و تصویرهای چندزمانه‌ی ماهواره‌ی لندست، با مدل LCM و CA مارکوف پرداخته شد.

### مواد و روش‌ها

#### محدوده‌ی بررسی شده

آبخیز کوزه‌تپراقی در جنوب شهرستان اردبیل و شمال شهرستان کوثر با مساحت ۸۱۲/۵ کیلومتر مربع است و بخش زیادی از شهرستان نیر را شامل می‌شود (شکل ۱). ایستگاه آب‌سنجی کوزه‌تپراقی در محدوده‌ی ۰۱' و ۲۸' و ۴۸' طول جغرافیایی و ۲۸' و ۰۷' و ۳۸' عرض جغرافیایی است. ارتفاع خروجی آبخیز ۱۳۸۴ متر از تراز دریا است. کمینه و بیشینه‌ی ارتفاع آبخیز کوزه‌تپراقی ۱۳۸۴ و ۲۴۸۵ متر است. براساس آمار ۴۰ ساله‌ی اقلیمی، میانگین بارندگی و دمای سالانه در آبخیز ۳۰۰ میلی‌متر و ۶/۹۵ درجه‌ی سانتی‌گراد است. منطقه‌های مسکونی آبخیز کوزه‌تپراقی ۶۵ روستا از جمله قلعه‌جوق، خان‌قشلاقی، جعفرلو، موران و شهر کورایم را شامل می‌شود.

با مدل‌سازی تغییر کاربری زمین با مدل زنجیره‌ی مارکوف و مدل‌سازی تغییر سرزمین در شهر شیراز و به‌کاربردن تصویرهای سنجنده‌های ETM، TM+ و OLI ماهواره‌ی لندست نتیجه گرفتند که کشاورزی آبی پویاترین کاربری زمین، و روند تغییر کاربری بایر نیز در ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۵ نزولی بوده است. علاوه بر این نتیجه‌ی آشکارسازی تغییر در سال ۲۰۳۰ به گونه‌ی بود که با ادامه‌ی روند در منطقه ۲۰/۳۳٪ به کاربری زمین زراعی افزوده خواهد شد. در ارزیابی تغییر کاربری زمین با مدل‌سازی تغییر سرزمین در شهرستان نکا و به‌کاربردن تصویرهای ماهواره‌ی لندست سنجنده‌های ETM، TM+ و OLI-TIRS، فتح‌الله‌ی‌رودباری و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند که در سال‌های ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۶ در زمین جنگلی ۲۲۹۷ هکتار کاهش داشته و بیش‌ترین تغییر در تبدیل زمین جنگلی به کشاورزی بوده است. نتیجه‌ی مدل‌سازی برای ۲۰۳۰ نیز نشان داد که مساحت جنگل کاهش می‌یابد و زمین کشاورزی و منطقه‌های شهری افزایش می‌یابد. کریمی‌فیروزجایی و همکاران (۲۰۱۸) در پایش و پیش‌بینی تغییر کاربری زمین و گسترش فیزیکی شهر بابل در دوره‌ی زمانی ۱۳۶۴-۱۴۱۹ از تصویرهای ماهواره‌ی لندست ۵ (TM) سال‌های ۱۳۶۴/۰۳/۰۹، ۱۳۷۱/۰۲/۲۸ و ۱۳۸۷/۰۴/۱۰، لندست ۷ (ETM) سال ۱۳۷۹/۰۳/۱۳ و لندست ۸ (OLI) سال ۱۳۹۴/۰۲/۲۷ بهره گرفتند. ایشان برای پیش‌بینی تغییر کاربری زمین از مدل مارکوف CA، از مدل کراس‌تب برای شناخت تغییر کاربری زمین و از شاخص آنتروپی شانون برای بررسی گسترش پراکندگی شهر بهره گرفتند. رشد ۳۳٪ زمین ساخته‌شده و کاهش ۷۰۴ هکتاری زمین زراعی برای سال ۱۴۱۹ نسبت به سال ۱۳۹۴ پیش‌بینی شد. در پیش‌بینی تغییر کاربری زمین با مدل‌سازی تغییر سرزمین و تصویرهای ماهواره‌ی لندست سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۵ در دشت میقان، انصاری و گلابی (۲۰۱۹) نشان دادند که ۱۶۶۳/۸۸ هکتار از زمین مرتعی و ۷۱۵/۶۸۹ هکتار از زمین نمک‌زار از ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ تخریب شد. به علاوه، زمین باتلاقی، معدن، آب و زمین انسان‌ساخت به‌ترتیب ۷۲۴، ۳۳۵، ۳۷ و ۲۷۰ هکتار افزایش یافت پژوهش‌های بورانا و همکاران (۲۰۱۷) با مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییر کاربری زمین شهر چودپور هند در سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ از مدل MLP-Markov و مدل‌سازی تغییر سرزمین بهره گرفتند. نتیجه‌ی ایشان براساس



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی آبخیز کوزه‌تپراقی.

کشاورزی آبی، سطوح آبی، مرتع، منطقه‌های مسکونی و زمین درختی) طبقه‌بندی شد. تصویر سال ۱۹۸۸ به‌دلیل تشخیص‌داده نشدن کاربری مسکونی که شامل روستاهای کوچک است، و با توجه به ساختار مدل مارکوف CA باید تعداد رده‌های هر دو تصویر طبقه‌بندی‌شده یکسان باشد، تصویر طبقه‌بندی ۱۹۸۸ کنار گذاشته شد، بنابراین تصویرهای سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۸ در این پژوهش به‌کار برده شد. برای مدل رقومی ارتفاعی منطقه سامانه‌ی تصویر تعریف شد و نقشه‌ی شیب منطقه با نقشه‌ی مدل رقومی ارتفاعی تهیه شد. نقشه‌ی شیب منطقه با نوارهای چندطیفی هر نوار برای طبقه‌بندی کاربری زمین انباشتگی (Layer stack) انجام شد. برای پردازش داده‌ها و مدل‌سازی نرم‌افزارهای ENVI 5.3، IDRISI Selva 17.0 و ArcMap 10.4.1 به‌کار برده شد (جدول ۱).

پیش‌پردازش تصاویرها و طبقه‌بندی کاربری زمین برای بررسی تغییر کاربری زمین در دوره‌ی ۳۶ ساله (۲۰۰۰-۲۰۳۶) سه تصویر ماهواره‌ی لندست سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۸ سنجنده‌های TM، ETM+ و OLI از جایگاه USGS سازمان زمین‌شناسی آمریکا گرفته شد تصاویرها بی‌ابر و از ماه‌های تیر و مرداد است که پوشش گیاهی به رشد بیشینه‌ی خود رسیده بود. مدل رقومی ارتفاعی محدوده از سنجنده‌ی PALOSAR گرفته شد. باید اشاره شود که طبقه‌بندی زمین مسکونی برای تصویر ۱۹۸۸ نیز انجام شد ولی به‌دلیل ادغام با سایر کاربری‌ها و افزایش نامنتقی مساحت زمین مسکونی، از ادامه‌ی بررسی کنار گذاشته شد. تعداد طبقه‌های کاربری زمین در سال ۱۹۸۸، ۵ بود (کشاورزی دیم، کشاورزی آبی، مرتع، سطوح آبی و زمین درختی). در حالی که کاربری‌های زمین در تصویرهای ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۸ در ۶ طبقه‌ی کاربری زمین (کشاورزی دیم،

جدول ۱- اطلاعات تصاویرهای ماهواره‌ی به‌کاررفته در بررسی تغییر و پیش‌بینی کاربری.

نام سنجنده	تاریخ گرفتن داده	قدرت تفکیک مکانی
ETM+	۲۰۰۰/۰۶/۰۵	چندطیفی ۳۰ متر، پانکروماتیک ۱۵ متر
TM	۲۰۱۰/۰۷/۱۱	۳۰ متر
OLI	۲۰۱۸/۰۷/۰۱	چندطیفی ۳۰ متر، پانکروماتیک ۱۵ متر

پیش‌بینی‌شده برای یک دوره‌ی زمانی در آینده نشان می‌دهد (موخودفایا ۲۰۱۶). به بیان دیگر، در حالی که فرآیند مارکوف پویایی زمانی بین رده‌های کاربری و پوشش زمین را با احتمال انتقال مهار می‌کند، سازوکار اتوماتای سلولی وجهه‌ی مکانی دارد و به قانون‌های محلی مرتبط با پیکربندی همسایگی می‌پردازد و همگام با احتمال انتقال پویایی‌های فضایی انواع کاربری زمین را معین می‌کند (ردی و همکاران ۲۰۱۷). مدل اتوماتای سلولی می‌تواند با رابطه‌ی ۳ بیان می‌شود.

رابطه‌ی ۳

$$S(t, t+1) = f(S(t), N)$$

که در آن،  $S$  مجموعه‌ی از حالت‌های سلولی محدود و گسسته،  $N$  میدان سلولی،  $t$  و  $t+1$  زمان‌های مختلف و  $f$  قانون تغییر حالت سلولی در فضای محلی است (آنوکاو و همکاران ۲۰۱۷).

**مدل‌سازی تغییر کاربری زمین ۲۰۱۸ با مدل CA مارکوف**  
برای تولید نقشه‌ی پیش‌بینی کاربری زمین ۲۰۱۸ با مدل مارکوف از نقشه‌ی کاربری زمین ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ برای تهیه‌ی ماتریس احتمال انتقال و ماتریس مساحت انتقال برای صحت‌سنجی نقشه‌ی پیش‌بینی به کار برده شد. ورودی مدل مارکوف شامل تصویر طبقه‌بندی سال ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰، فاصله‌ی زمانی بین این دو تصویر (۱۰ سال)، فاصله‌ی زمانی پیش‌بینی (هشت سال) و خطای نسبی (براساس دقت به‌دست آمده در طبقه‌بندی تصویرهای) ۰/۶ تعریف شد. مقدار این سنجه در مدل وابسته به نقشه‌ی طبقه‌بندی‌شده‌ی ورودی (تصویر طبقه‌بندی سال ۲۰۱۰) است (Help نرم‌افزار ادریسی سلوا). براساس این که در این پژوهش دقت طبقه‌بندی تصویر سال ۲۰۱۰ با ضریب کاپای ۰/۹۴ به‌دست آمد، مقدار این سنجه ۰/۶ انتخاب شد. خروجی مدل مارکوف برای نقشه‌ی پیش‌بینی ۲۰۱۸ شامل ماتریس احتمال انتقال، ماتریس مساحت انتقال و تصویرهای احتمال شرطی است.

#### تهیه‌ی نقشه‌ی شایستگی

این نقشه‌ها شایستگی تبدیل هر سلول تصویر را از یک کاربری به کاربری دیگر نشان می‌دهد. این نقشه‌ها به روش تجربی و براساس تغییر کاربری زمین بین دوره‌ی بررسی شده تهیه می‌شود. می‌توان آن‌ها را با ارزیابی چندمعیاره و وایازی پشتیبان تهیه کرد (عمر و همکاران ۲۰۱۴). نقشه‌ی شایستگی در نرم‌افزار EDRISI Selva ۱۷,۰ با ارزیابی چندمعیاره انجام می‌شود. این نقشه‌ها شایستگی تبدیل هر سلول تصویر را از یک کاربری به کاربری‌های دیگر نشان می‌دهد. اندازه‌ی پیکسل‌های شایستگی به‌شکل گسسته در دامنه‌ی ۰ تا ۲۵۵ است؛ عدد صفر بیانگر نداشتن شایستگی و عدد ۲۵۵ نشان‌دهنده‌ی بیشینه‌ی شایستگی برای

تصحیح نیواری تصویرهای ماهواره‌ی با الگوریتم تصحیح اثر نیوار FLAASH، در نرم‌افزار ENVI5.3 انجام شد (سیرگر و همکاران ۲۰۱۸). با روش طبقه‌بندی نظارت‌شده‌ی ماشین بردار پشتیبان تصویرهای سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۸ طبقه‌بندی شد. با شناخت از منطقه و با تصویرهای Google Earth، شش رده‌ی کاربری زمین کشاورزی دیم، کشاورزی آبی، سطح آب، مرتع، زمین درختی و منطقه‌های مسکونی برای تصویرهای سال‌های بررسی شده انتخاب شد.

#### مدل CA مارکوف

CA مارکوف شامل دو روش مارکوف و اتوماتای سلولی است (نوری و همکاران ۲۰۱۴). خروجی مدل مارکوف نیز شامل احتمال تبدیل وضعیت، ماتریس مساحت‌های تبدیل شده هر طبقه و در پایان تصویرهای احتمال شرطی برای تبدیل کاربری‌های مختلف است (کشتکار و وویت ۲۰۱۶). زنجیره‌ی مارکوف دنباله‌ی از متغیرهای تصادفی  $X_1, X_2, X_3, \dots$  با فرآیند تصادفی است (ایلدرمی و همکاران ۲۰۱۷).  $X(t)$  فرآیند مارکوف برای هر لحظه در زمان است به طوری که  $t_1 < t_2 < \dots < t_n < t_{n+1}$  است. اگر  $X\{k\}$  زنجیره‌ی مارکوف با حالت  $\{X_1, X_2, X_3, \dots\}$  باشد احتمال انتقال از حالت  $i$  به  $j$  در یک زمان است (رابطه‌ی ۱).

رابطه‌ی ۱

$$P_{i,j} = \Pr(X[k+1]=j | X[k]=i)$$

زمانی که زنجیره‌ی مارکوف تعداد محدودی از حالت‌ها را دارد، ماتریس احتمال تبدیل با رابطه‌ی ۲ به‌دست می‌آید، اما اگر احتمال انتقال با زمان متفاوت باشد ماتریس باید به‌صورت تابعی از  $k$  نوشته شود (معماریان و همکاران ۲۰۱۲؛ منسس و همکاران ۲۰۱۸).

رابطه‌ی ۲

$$\begin{bmatrix} P_{1,1} & P_{1,2} & \dots & P_{1,m} \\ P_{2,1} & P_{2,2} & \dots & P_{2,m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n,1} & P_{n,2} & \dots & P_{n,m} \end{bmatrix}$$

در ماتریس احتمال تبدیل، تغییر از یک رده به رده‌ی دیگر شرح داده می‌شود. این ماتریس می‌تواند نتیجه ترکیب متقابل دو تصویر به‌دلیل تغییر در یک رده به رده‌ی دیگر باشد. براساس اندازه‌ی ثبت‌شده در ماتریس احتمال انتقال، اطلاعات تبدیل نقطه‌ها (پیکسل‌ها) یا رده‌ها به سلول و رده-ی بعدی به‌دست می‌آید (پاتیل و جاگاده ۲۰۱۹). این کار با ایجاد یک ماتریس احتمال انتقال تغییر کاربری زمین از زمان ۱ به زمان ۲ انجام می‌شود، که منبای برنامه‌ریزی برای دوره‌ی زمانی آینده است (موندال و همکاران ۲۰۱۹). تحلیل مدل مارکوف تغییر کاربری زمین از یک دوره به دوره‌ی دیگر را براساس تغییر کاربری زمین



## پیش‌بینی و آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده...

۲). معیارها براساس موارد انتخاب‌شده در پژوهش‌های مشابه و داده‌های موجود و در دسترس از منطقه انتخاب شد. نقشه‌های شایستگی با عامل‌های تاثیرگذار برای تعریف قانون‌های انتقال تولید می‌شود. برای تولید نقشه‌های شایستگی از روش بولین در ارزیابی چندمعیاره و با فرض وزن یکسان به کار برده شد که نیازی به وزن‌دهی معیارها ندارد و لایه‌های ورودی آن صفر و یک است (جاسیم هادی و همکاران ۲۰۱۴ و بورانا و همکاران ۲۰۱۷).

تبدیل کاربری از یک طبقه به طبقه‌های دیگر است. در مدل CA مارکوف نقشه‌ی تناسب برای هر گروه کاربری زمین با ارزیابی چندمعیاری تهیه می‌شود (آبولایش و کاماچو المدو ۲۰۱۶). در ارزیابی چندمعیاری عامل‌ها و محدودیت‌ها را انتخاب می‌کنیم و با این عامل‌ها و محدودیت‌ها تناسب و محدودیت برای تغییر کاربری در محدوده‌ی بررسی‌شده تحلیل می‌شود (سعدالدین و همکاران ۲۰۱۰). نقشه‌های شایستگی با عامل‌های تاثیرگذار و محدودیت‌ها برای تعریف قانون‌های انتقال تولید می‌شود (جدول

جدول ۲- معیارهای تعریف‌شده برای کاربری‌های زمین در آبخیز کوزه‌تپراقی برای تولید نقشه‌های شایستگی.

کاربری زمین	معیارها	منبع
کشاورزی دیم	فاصله‌ی ۱۰ متری از آبراه، فاصله‌ی ۱۰ متری از جاده، شیب بیش‌تر از ۲۵٪ و منطقه‌های مسکونی نباشد.	(لی و همکاران ۲۰۱۸؛ عمر و همکاران ۲۰۱۴)
کشاورزی آبی	فاصله‌ی ۱۰ متری از آبراه، فاصله‌ی ۱۰ متری از جاده و شیب بیش‌تر از ۸٪ نباشد. اگر شیب از حد مجاز ۸٪ بیش‌تر باشد، زمین برای کشاورزی آبی نامجاز است.	(موجیون و همکاران ۲۰۱۷)
زمین درختی	فاصله‌ی ۵ متری از آبراه، فاصله‌ی ۲۵ متری از جاده، شیب بیش‌تر از ۳۰٪، منطقه‌های مسکونی موجود نباشد.	(باتیل و همکاران ۲۰۱۹)
منطقه‌های مسکونی	فاصله از منطقه‌های مسکونی ۲۰۰ متر، شیب زیاد ۱۲٪ و فاصله‌ی ۷۰ متری از جاده نباشد.	(لی و همکاران ۲۰۱۸؛ عمر و همکاران ۲۰۱۴؛ ایقناسیو باردو و ساندرنا بوسکو ۱۹۹۸)
سطوح آبی مرتع	فاصله از سطح‌های آب ۲۰ متر و شیب‌های کم‌تر از ۱۰٪ باشد. فاصله‌ی ۱۰ متری از منابع آبی، فاصله‌ی ۳۰۰ متری از منطقه‌های مسکونی و فاصله‌ی ۵ متری از جاده، منطقه‌های مسکونی، کشاورزی آبی و زمین باغی نباشد.	(تان هونگ و تای پون ۲۰۱۹)
		(بهر و همکاران ۲۰۱۲)

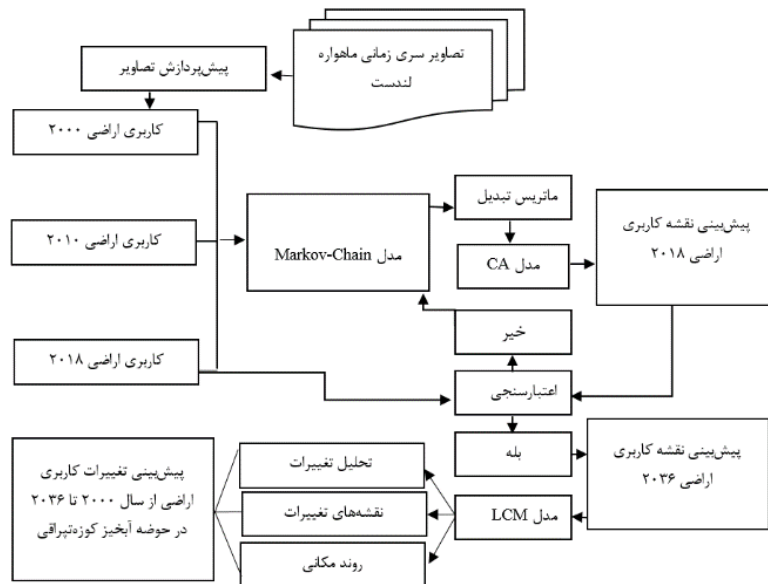
دقت تحلیل‌های شرایط گذشته و حال نقش بزرگی در کیفیت تغییر پیش‌بینی‌شده بازی می‌کند (حمد و همکاران ۲۰۱۸). در این پژوهش نیز برای سنجیدن دقت مدل CA مارکوف، نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده‌ی سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ با دقت زیاد طبقه‌بندی براساس ضریب کاپا و صحت کلی به‌دست آمده برای پیش‌بینی تغییر سال ۲۰۱۸ به‌کاررفت تا با اطمینان تغییر را برای سال ۲۰۳۶ نیز پیش‌بینی کنیم. علاوه‌براین، برای سنجیدن دقت مدل CA مارکوف تصویر طبقه‌بندی‌شده‌ی سال ۲۰۱۸ (تهیه‌شده در نرم‌افزار ENVI5.3) و نقشه‌ی پیش‌بینی‌شده‌ی سال ۲۰۱۸ (تهیه‌شده با مدل CA مارکوف) در ماژول Validate در نرم‌افزار EDRISI Selva ۱۷,۰ ورودی تعریف شد. براساس ضریب کاپا دقت زیاد ۰/۸ در مقایسه تصویر طبقه‌بندی و پیش‌بینی ۲۰۱۸ به‌دست آمد.

دقت پیش‌بینی مدل است که در این پژوهش دقت زیاد ۰/۸ به‌دست آمد. مقدار این ضریب بین ۰ و ۱ است و هرچه قدر مقدار آن به یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده‌ی دقت زیادتر مدل است. برای به‌دست آوردن ماتریس مساحت انتقال با مدل مارکوف تصویرهای طبقه‌بندی سال ۲۰۱۰ و ۲۰۱۸ به‌کار برده شد تا ماتریس مساحت انتقال ایجاد و ورودی به مدل CA مارکوف برای پیش‌بینی سال ۲۰۳۶ معرفی شود. مقدار خطای نسبی نیز ۰/۶ (با توجه به دقت به‌دست‌آمده از ماتریس خطای حاصل از طبقه‌بندی کاربری زمین سال ۲۰۱۸ با ضریب کاپای ۰/۹۴) در نظر گرفته شد. فاصله‌ی زمانی بین دو تصویر هشت سال و فاصله‌ی زمانی برای پیش‌بینی در سال ۲۰۳۶، ۱۸ سال در نظر گرفته شد. ماتریس مساحت انتقال (۲۰۱۸-۲۰۰۰)، نقشه‌ی پایه (۲۰۱۸)، مجموعه‌ی نقشه‌های شایستگی و تعداد کل تکرارها ورودی‌های مدل CA مارکوف بود. تعداد کل تکرارها بر اساس زمان تعیین‌شده برای پیش‌بینی تغییر کاربری زمین است (سرابودین و همکاران ۲۰۱۹)، که در این پژوهش ۱۸ سال (براساس پیش‌بینی برای ۱۸ سال بعد) انتخاب شد.

**مدل‌سازی تغییر کاربری زمین ۲۰۳۶ با مدل CA مارکوف**  
بعد از دست‌یابی به دقت لازم برای نقشه‌ی پیش‌بینی سال ۲۰۱۸، پیش‌بینی برای سال ۲۰۳۶ انجام شد. در سنجش دقت پیش‌بینی مدل CA مارکوف ضریب کاپا نشان‌دهنده‌ی اندازه‌ی

تجزیه و تحلیل و آشکارسازی تغییر با مدل‌ساز تغییر سرزمین نقشه‌ی تغییر پیش‌بینی‌شده‌ی سال ۲۰۳۶ و نقشه‌ی طبقه‌بندی سال ۲۰۰۰ ورودی به مدل‌ساز تغییر سرزمین معرفی شد. مدل‌ساز تغییر سرزمین ابزاری است که توانایی تحلیل نتیجه‌ی پیش‌بینی مدل CA مارکوف را دارد. مدل‌ساز تغییر سرزمین علاوه بر مدل‌سازی امکان تحلیل و نظارت بر تغییر را با نمودار افزایش و کاهش، نمودار تغییر خالص، نقشه‌های تغییر و روند تغییر کاربری فراهم می‌کند. بنابراین، براساس هدف پژوهش بعد از پیش‌بینی تغییر کاربری زمین با مدل CA مارکوف، از امکانات مدل‌ساز تغییر سرزمین برای تجزیه و تحلیل تغییر کاربری در دوره‌ی ۳۶ ساله (۲۰۰۰-۲۰۳۶) به کار برده شد. خروجی مدل‌ساز تغییر سرزمین شامل نمودار افزایش و کاهش، نمودار تغییر خالص، نقشه‌های تغییر و روند تغییر کاربری زمین است (شکل ۲).

تجزیه و تحلیل و آشکارسازی تغییر کاربری زمین از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۳۶ با مدل‌ساز تغییر سرزمین مدل‌ساز تغییر کاربری زمین در نرم‌افزار ادریسی سلوا، ابزاری برای ارزیابی و طراحی تغییر پوشش زمین فراهم و کاربری زمین را تحلیل می‌کند (محمدیاری و همکاران ۲۰۱۹). داده‌های سنجش از دور برای تحلیل آشکارسازی تغییر و نظارت بر تغییر کاربری زمین مناسب است (آکیورک و همکاران ۲۰۱۸). آشکارسازی تغییر کاربری زمین جزئی ضروری برای پژوهش هر منطقه است و توجه بسیاری از محققان برای پیشرفت در این زمینه جلب شده است (ایشاق و همکاران ۲۰۱۷). آشکارسازی تغییر، تفاوت‌ها بین دو تصویر مربوط به زمان‌های مختلف را تعیین می‌کند. تصویر طبقه‌بندی شده از تاریخ‌های مختلف می‌تواند برای محاسبه‌ی مساحت کاربری‌های مختلف به کار برده شود و تغییری را که در این زمان‌ها رخ داده نشان دهد (قاضی و همکاران ۲۰۱۵). برای



شکل ۲- نمودار جریان‌ی مرحله‌های انجام‌یافتن تحقیق.

صحت کلی طبقه‌بندی‌های انجام‌شده در جدول ۳ نشان داده شده است.

نتایج براساس نتیجه‌ی ماتریس خطای طبقه‌بندی کاربری‌های زمین در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۸ اندازه‌ی ضریب کاپا و

جدول ۳- ضریب کاپا و صحت کلی طبقه‌بندی کاربری زمین سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۸ با روش SVM.

سال	۲۰۰۰	۲۰۱۰	۲۰۱۸
صحت کلی	۹۶	۹۵/۸	۹۷/۵
ضریب کاپا	۰/۹۵	۰/۹۴	۰/۹۵

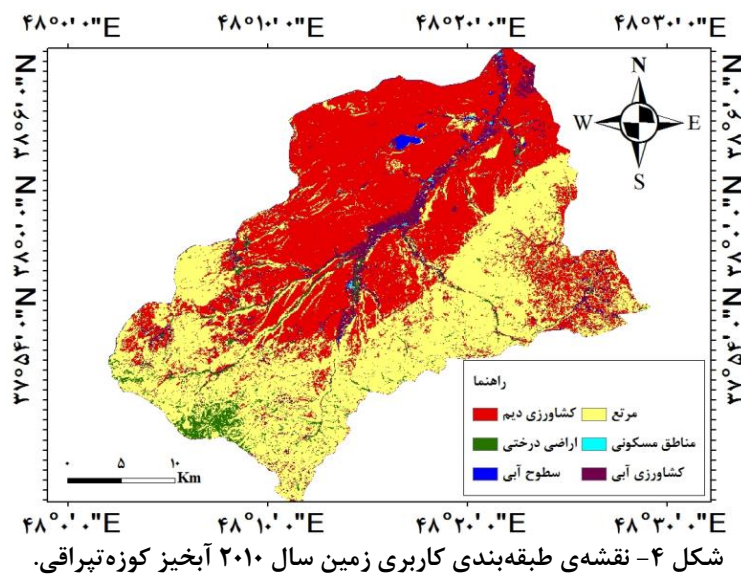
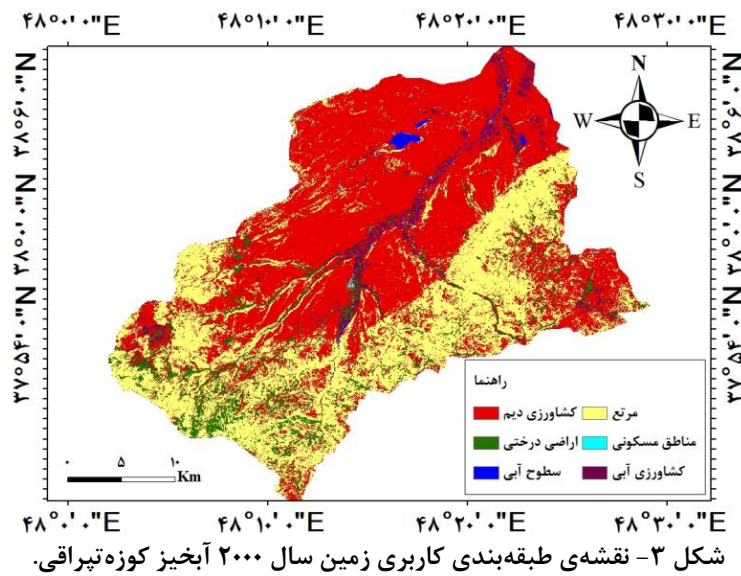
## پیش‌بینی و آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده...

ماتریس مساحت انتقال و ماتریس احتمال انتقال با نقشه‌ی طبقه‌بندی سال ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ به‌دست آمد. ماتریس مساحت انتقال ۲۰۱۰-۲۰۰۰ ورودی به مدل CA معرفی شد تا نقشه‌ی پیش‌بینی سال ۲۰۱۸ به‌دست آید. نقشه‌ی طبقه‌بندی سال ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ در شکل ۳ و ۴ نشان داده شده است.

تصویر سال ۲۰۰۰ با ضریب کاپای ۰/۹۵ و صحت کلی ۰/۹۶، تصویر سال ۲۰۱۰ با ضریب کاپای ۰/۹۴ و صحت کلی ۰/۹۵/۸ و تصویر سال ۲۰۱۸ با ضریب کاپای ۰/۹۶ و صحت کلی ۰/۹۷/۵ دقت زیادی در طبقه‌بندی کاربری زمین داشت (جدول ۵).

### صحت‌سنجی مدل CA مارکوف

برای مدل‌سازی تغییر کاربری زمین با مدل CA مارکوف،





**جدول ۴- ماتریس مساحت انتقال یافته‌ی تغییر کاربری (۲۰۱۰-۲۰۰۰) با مدل زنجیره‌ی مارکوف (هکتار).**

کاربری زمین	کشاورزی دیم	زمین درختی	سطح‌های آبی	مرتع	منطقه‌های مسکونی	کشاورزی آبی
کشاورزی دیم	۵۹/۷۵	۵/۲۹	۰	۶۱/۳۴	۰	۴۳/۵۲
مرتع	۲/۷۸	۰/۵۸	۰	۲۱/۰۱	۰	۵/۸۳
منطقه‌های مسکونی	۱/۱۰	۰/۱۸	۰/۰۳	۰/۵۳	۰/۰۱	۰/۲۸
کشاورزی آبی	۳۰/۱۶	۲/۳۴	۷۱/۷۱	۱۱/۰۷	۰	۴۶/۶۴
زمین درختی	۰/۱۶	۰/۰۶	۰	۰/۵۱	۰	۰/۳۶
سطح‌های آبی	۱۰/۰۳	۰	۶/۶۴	۱/۶۶	۴/۴۹	۱/۸۰

درختی، ۶۱/۳۴ هکتار به کاربری مرتع و ۴۳/۵۲ هکتار به کاربری کشاورزی آبی در سال ۲۰۱۰ تبدیل خواهد شد.

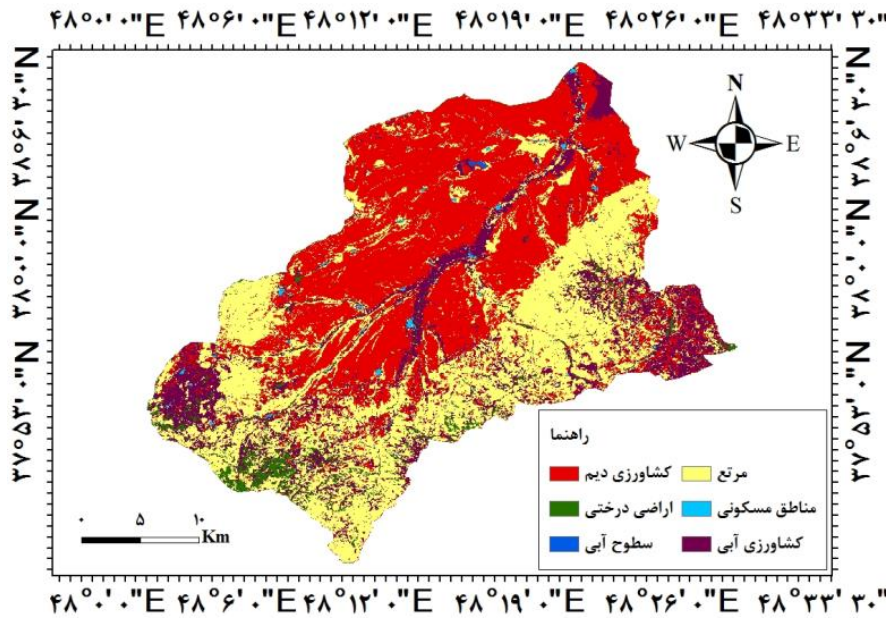
جدول ۴ نشان می‌دهد که ۵۹/۷۵ هکتار از کشاورزی دیم در سال ۲۰۰۰ در همان کاربری کشاورزی دیم باقی خواهد ماند و ۵/۲۹ هکتار از کشاورزی دیم به کاربری زمین

**جدول ۵- ماتریس احتمال انتقال پیش‌بینی شده برای ۲۰۱۸ با طبقه‌بندی ۲۰۰۰-۲۰۱۰ (درصد).**

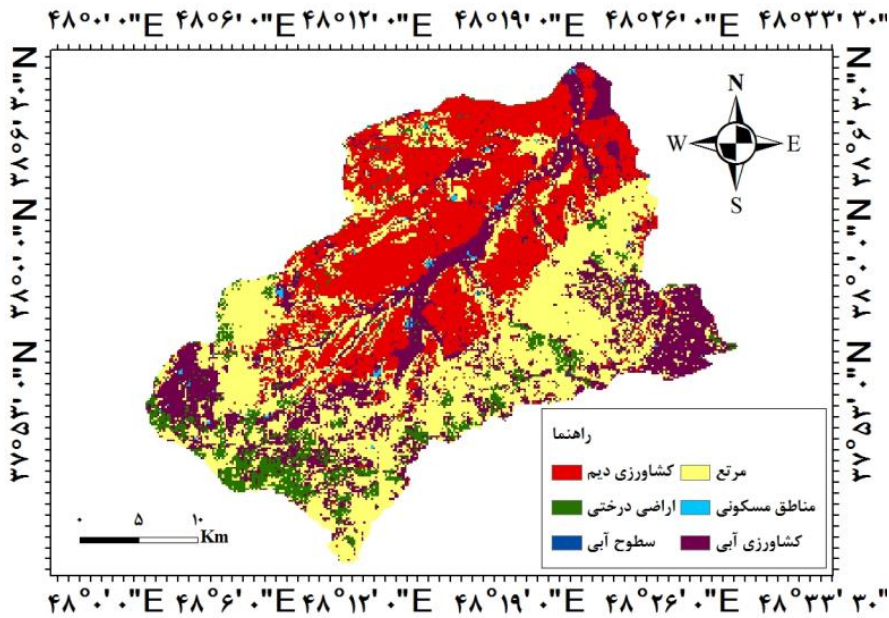
کاربری زمین	کشاورزی دیم	زمین درختی	سطح‌های آبی	مرتع	منطقه‌های مسکونی	کشاورزی آبی
کشاورزی دیم	۳۵/۲	۳/۱	۰/۰۰	۳۶/۱	۰/۰۰	۲۵/۶
مرتع	۲۴/۸	۵/۲	۰/۰۰	۱۷/۹	۰/۰۰	۵۲/۱
منطقه‌های مسکونی	۵۱/۵	۸/۳	۱/۵	۲۴/۸	۰/۰۶	۱۳/۲
کشاورزی آبی	۱۸/۶	۱/۵	۴۴/۳	۶/۸	۰/۰۰	۲۸/۸
زمین درختی	۱۴/۸	۵/۷	۰/۰۰	۴۶/۷	۰/۰۰	۳۲/۸
سطح‌های آبی	۴۰/۷	۰/۰۰	۲۶/۹	۶/۷	۱۸/۲	۷/۳

ماتریس ردیف‌ها نشان‌دهنده‌ی سال شروع (۲۰۰۰) و ستون‌ها نشان‌دهنده‌ی سال پایان (۲۰۱۸) است. خروجی مدل مارکوف (ماتریس مساحت انتقال) یکی از ورودی‌های مدل CA مارکوف به مدل معرفی شد. علاوه بر ماتریس مساحت انتقال نقشه‌ی طبقه‌بندی کاربری زمین ۲۰۰۰ تصویر پایه، مجموعه‌ی نقشه‌های شایستگی و تعداد دوره‌ی هشت سال ورودی به مدل تعریف شد، و نقشه‌ی پیش‌بینی ۲۰۱۸ تهیه شد. نقشه‌ی طبقه‌بندی ۲۰۱۸ و نقشه‌ی پیش‌بینی ۲۰۱۸ در شکل ۵ و ۶ آورده شده است.

ماتریس احتمال انتقال، احتمال این که هر نوع کاربری زمین در یک دوره‌ی زمانی معین در آینده مربوط به هر نقطه در تصویر باشد را گزارش می‌دهد. با توجه به نتیجه‌ی جدول ۴، ۳۵/۲٪ از کاربری کشاورزی دیم در سال ۲۰۰۰ در همان کاربری کشاورزی دیم در سال ۲۰۱۸ باقی خواهد ماند، و ۳/۱٪، ۰/۰۰٪، ۳۶/۱٪، ۲۴/۸٪، ۵۱/۵٪، ۱۸/۶٪، ۱۴/۸٪، ۴۰/۷٪، ۵/۲٪، ۸/۳٪، ۱/۵٪، ۴۴/۳٪، ۶/۸٪، ۰/۰۰٪، ۳۲/۸٪، ۷/۳٪ به کاربری‌های زمین درختی، سطوح آبی، مرتع، منطقه‌های مسکونی و کشاورزی آبی تبدیل خواهد شد (جدول ۵). در این



شکل ۵- نقشه‌ی طبقه‌بندی کاربری زمین سال ۲۰۱۸ آبخیز کوزه‌تپراقی.

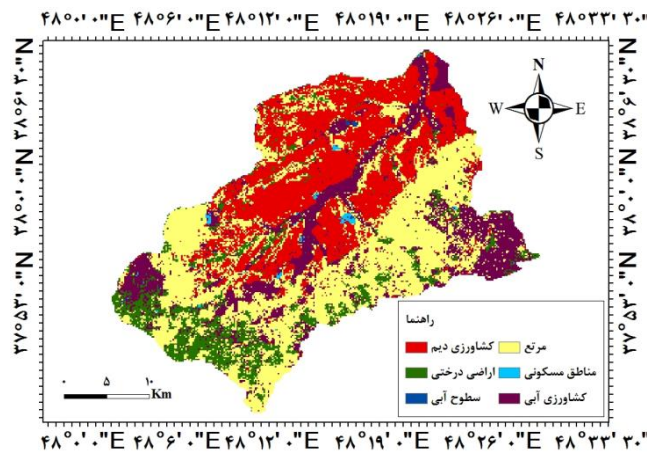


شکل ۶- نقشه پیش‌بینی کاربری زمین ۲۰۱۸ با مدل CA مارکوف

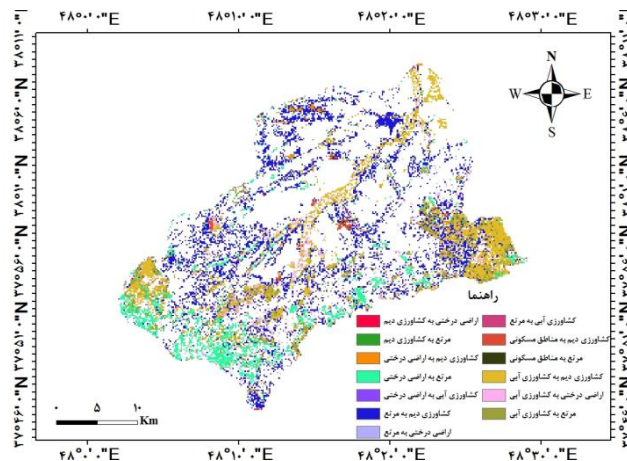
جدول ۷- ماتریس احتمال انتقال پیش‌بینی شده برای ۲۰۳۶ با طبقه‌بندی ۲۰۱۸-۲۰۰۰ (درصد).

کاربری زمین	کشاورزی دیم	زمین درختی	سطح آبی	مرتع	منطقه‌های مسکونی	کشاورزی آبی
مرتع	۱۰/۶	۶/۳	۰/۰۰۰	۱۷/۸	۰/۶	۶۴/۸
کشاورزی آبی	۷۰/۱	۰/۳	۰/۰۰۰	۱۶/۲	۰/۵	۱۲/۸
کشاورزی دیم	۳۸/۹	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۲۶/۷	۱۸/۹	۱۵/۶
منطقه‌های مسکونی	۱۲/۹	۲۳/۷	۰/۰۰۰	۱۲/۴	۰/۸	۵۰/۲
زمین درختی	۲۷/۸	۰/۰۰۰	۹/۶	۱۴/۲	۱/۴	۴۷
سطح آبی	۱۳/۸	۳۶/۸	۰/۰۰۰	۴۱/۴	۰/۰۰۰	۸

ماتریس مساحت انتقال به‌دست‌آمده با مدل مارکوف برای دوره ۲۰۰۰-۲۰۱۸ ورودی مدل CA مارکوف برای تهیه نقشه‌ی تغییر سال ۲۰۳۶ به کار برده شد (شکل ۵).

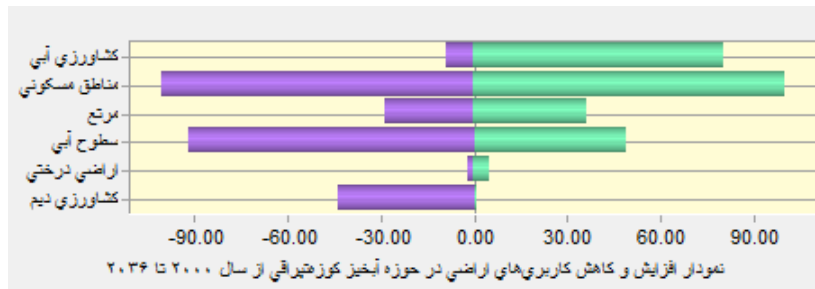


شکل ۷- نقشه‌ی تغییر کاربری زمین آبخیز کوزه‌تیراکی سال ۲۰۳۶.

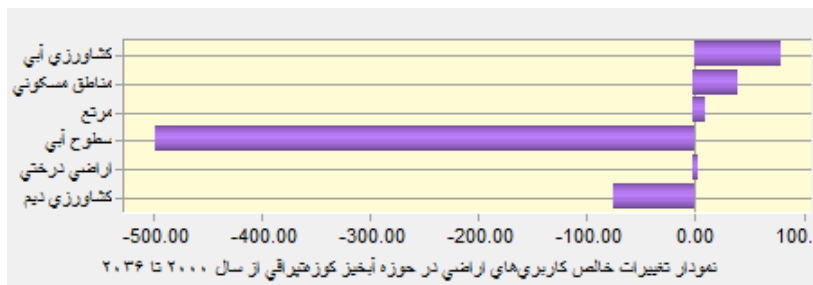


شکل ۸- نقشه‌ی آشکارسازی تغییر کاربری زمین آبخیز کوزه‌تیراکی ۲۰۰۰ و ۲۰۳۶ (From-To).

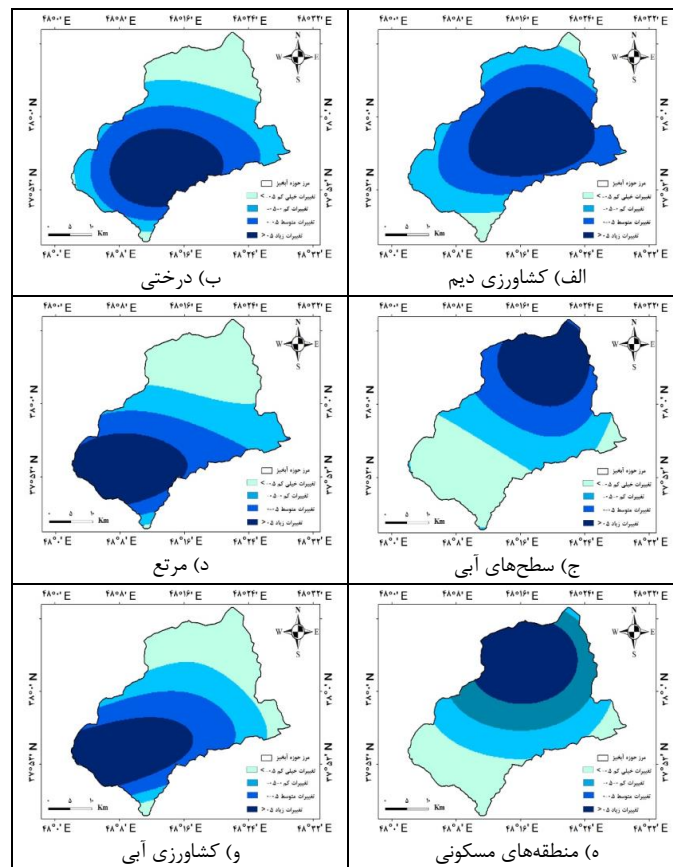
## پیش‌بینی و آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده...



شکل ۹- کاهش و افزایش کاربری‌های زمین آبخیز کوزه تپراقی در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۳۶ (درصد).



شکل ۱۰- تغییر خالص کاربری زمین آبخیز کوزه تپراقی در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۳۶ (درصد).



شکل ۱۱- روند تغییر کاربری‌های زمین آبخیز کوزه تپراقی در سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۳۶.

### بحث و نتیجه‌گیری

برای تحلیل و آشکارسازی تغییر سال ۲۰۳۶ و ۲۰۰۰ تصویرهای سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۸ به کار برده شد. برای اعتبارسنجی مدل، نقشه‌ی شبیه‌سازی شده‌ی سال ۲۰۱۸ با نقشه‌ی واقعی طبقه‌بندی تصویر ماهواره‌ی همان سال مقایسه شد. ضریب کاپای به دست آمده بیانگر توانایی زیاد مدل CA مارکوف برای شبیه‌سازی تغییر کاربری زمین در آبخیز بررسی شده بود. بعد از تهیه نقشه‌های شایستگی مربوط به هر کاربری به روش ارزیابی چندمعیاره، با مدل CA مارکوف نقشه‌ی تغییر کاربری زمین برای سال ۲۰۳۶ تهیه شد. برای صحت‌سنجی نقشه‌ی طبقه‌بندی ۲۰۱۸ با نقشه‌ی پیش‌بینی ۲۰۱۸ (مدل CA مارکوف) مقایسه شد. اندازه‌ی Kno برابر با ۰/۸۷۶۸، Klocation برابر با ۰/۹۳۷۸، KlocationStrata برابر با ۰/۹۳۷۸ و کاپای معیار (Kstandard) برابر با ۰/۸۴۰۹ محاسبه شد. نقشه‌ی تغییر ۲۰۳۶ با دقت زیاد مدل در پیش‌بینی نقشه‌ی تغییر سال ۲۰۱۸ استخراج شد. هوآ (۲۰۱۷) تصویر طبقه‌بندی شده و تصویر پیش‌بینی شده با مدل CA مارکوف را برای صحت‌سنجی به کار برد و ضریب کاپای معیار را ۰/۸۴۳، کاپای موقعیت را ۰/۸۶۳ و کاپای موقعیت معیاری را ۰/۸۶۳ به دست آورد. سرابودین و همکاران (۲۰۱۹) نیز (مقدار اعتبارسنجی) صحتی را ۰/۷۹۲۸ و بیرساو و همکاران (۲۰۱۷) ضریب کاپا را ۰/۹۱ به دست آوردند که بیانگر دقت زیاد مدل CA مارکوف در پیش‌بینی تغییر کاربری زمین در آینده است. در تهیه نقشه‌ی تغییر سال ۲۰۳۶ ماتریس مساحت انتقال و ماتریس احتمال انتقال به دست آمده‌ی سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۰۰ به کار برده شد. خروجی‌های جدول ۸ نشان می‌دهد که بیش‌ترین مساحت انتقال در کاربری‌های گفته شده در بازه‌ی زمانی ۲۰۱۸-۲۰۰۰ به ترتیب در کشاورزی دیم، مرتع، کشاورزی آبی، سطح‌های آبی، منطقه‌های مسکونی و زمین درختی بود. ماتریس مساحت انتقال، اندازه‌ی تغییر در تعداد نقطه‌ها را از یک رده‌ی کاربری زمین به رده‌ی دیگر در دوره‌ی مشخص نشان می‌دهد. دلیل زیاد بودن مساحت انتقال در کاربری کشاورزی دیم و مرتع را می‌توان افزایش زمین باغی در منطقه‌های مستعد که هم‌اکنون بهره‌برداری کشاورزی دیم و مرتع دارد دانست. علاوه بر این، خروجی‌های جدول ۹ نشان داد که بیش‌ترین احتمال تغییر کاربری‌ها در بازه‌ی زمانی ۲۰۱۸-۲۰۰۰ به ترتیب در زمین درختی، سطح‌های آبی، منطقه‌های مسکونی، کشاورزی آبی، مرتع و کشاورزی دیم بود. دلیل زیاد بودن احتمال انتقال کاربری زمین درختی را می‌توان گرایش عمومی مردم به سمت ایجاد باغ و درآمد‌های باغداری در منطقه دانست.

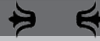
نقشه‌ی تغییر ۲۰۳۶ و نقشه‌ی طبقه‌بندی سال ۲۰۰۰ ورودی به مدل‌ساز تغییر سرزمین معرفی تعریف شد. سیمونی و گاسلی (۲۰۱۸) نیز در بانادو گراند در برزیل تغییر کاربری زمین را با ورودی مدل‌ساز تغییر سرزمین از مدل CA مارکوف پیش‌بینی و صحت آن را تایید کردند. در این پژوهش براساس نتیجه‌ی شکل ۷ و ۹ سطح کاربری‌های کشاورزی آبی ۵۲/۸۰٪، مرتع ۳۶/۹۰٪ و زمین درختی ۵/۷۶٪ در آبخیز کوزه‌تپراقی افزایش خواهد یافت و سطح کاربری‌های کشاورزی دیم ۴۳/۴۳٪ کاهش و سطح‌های آبی ۹۱/۴۰٪ کاهش خواهد یافت. نتیجه‌ی شکل ۱۰ تغییر خالص افزایش مساحت در کاربری کشاورزی آبی (۷۸/۵۵٪)، منطقه‌های مسکونی (۴۱/۲۱٪)، مرتع (۱۱/۶۱٪) و زمین درختی (۳/۷۷٪) است. مدل کاهش در مساحت کشاورزی دیم (۷۶/۴۵٪) را پیش‌بینی کرده است. براساس پیش‌بینی مدل CA مارکوف سطح کشاورزی آبی در مجاور منابع آبی و نیز در مجاور زمین کشاورزی آبی موجود افزایش خواهد یافت، که دلیل آن را می‌توان با توسعه‌ی زراعت آبی و به کار بردن روش‌های آبیاری قطره‌ای و دیگر روش‌ها با کشاورزان محلی دانست. علاوه بر این، دلیل افزایش مساحت ناحیه‌های درختی ممکن است علاقه‌ی مردم محلی به داشتن باغ شخصی و درآمد از محصولات باغی دانست. کورانتج و نیوزیچ (۲۰۱۵) نیز در آشکارسازی تغییر کاربری زمین به این نتیجه رسیدند که کاربری زمین منطقه‌های مسکونی افزایش و کاربری زمین کشاورزی کاهش خواهد یافت. سیفاله و همکاران (۲۰۱۷) و آبوراس و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهش خود ارزیابی روند تغییر کاربری زمین در آینده را با مدل‌های CA-Markov و مدل‌ساز تغییر سرزمین تایید کردند. شکل ۱۱ نشان می‌دهد که در این پژوهش که روند تغییر و بیش‌ترین شدت تغییر هر یک از کاربری‌ها به کل کاربری‌ها (مثال تبدیل از کشاورزی دیم به کل کاربری‌ها) را نشان می‌دهد، تغییر عمده‌ی کاربری کشاورزی دیم در بخش‌های مرکزی آبخیز، زمین درختی در بخش جنوب غربی، مرتع در قسمت جنوب غربی و کشاورزی آبی در زیر آبخیزهای پایین دست آبخیز کوزه‌تپراقی است. در تدبیرهای کاربردی برای حفظ زمین‌های طبیعی و مهار تغییر کاربری زمین می‌توان متناسب با توانایی زمین اقدام کرد. نتیجه‌ی تفسیر حالت‌های ممکن مختلف کاربری زمین ممکن است در پیش‌بینی اثر تغییر کاربری زمین بر مولفه‌های سیل‌خیزی، تولید رسوب و اثر بوم‌شناختی به کار برده شود. کاربری زمین عامل موازنه‌ی مولفه‌های آب‌شناسی، بوم‌شناسی و اقتصاد است که تغییر آن را می‌توان در ارزیابی اثر وضعیت اقتصادی و معیشت آبخیزنشینان به کار برد.



- Abuelaish B, Camacho O, Maria Teresa. 2016. Scenario of land use and land cover change in the Gaza strip using remote sensing and GIS models. *Arab Journal of Geosciences*, 9(274): 1–14.
- Aburas M, Abdullah H, Ahmad-Mohd Sanusi S. 2018. Simulating and monitoring future land-use trends using Ca-Markov and LCM models. 9th IGRSM International Conference and Exhibition on Geospatial & Remote Sensing (IGRSM 2018), 24–25 April, Kuala Lumpur, Malaysia 169: 1–10.
- Afifi MA. 2018. Modelling of land use changes using Markov Chain model, a case study: Shiraz. *Geographic Science Research*. 20(56): 142–158. (In Persian).
- Akyurek O, Koc E, Akbaba F. 2018. Land use/land cover change detection using multi-temporal satellite dataset: A case study in Istanbul new airport. *Geo-information for Disaster Management*, 3(4): 18–21.
- Ansari A, Golabi M. 2019. Prediction of spatial land use changes based on LCM in a GIS environment for desert wetlands. *International Soil and Water Conservation Research*. 7(1): 64–70.
- Armenteras D, Murcia U, Gonzalez T, Baron O, Arias J. 2019. Scenarios of land use and land cover change for NW Amazonia: Impact on forest intactness. *Global Ecology Land Conservation*, 17: 1–13.
- Azizi Ghaklati S, Rangzan K, Taghizadeh A, Ahmadi Sh. 2014. LCM logistic regression modeling of land-use changes in Kouhmare Sorkhi, Fars province. *Iranian Journal of Forest and Polar Research*. 22(4): 585–596. (In Persian)
- Behera M, Borate S, Panda S, Behera P, Roy P. 2012. Modeling and analyzing the watershed dynamics using cellular automata CA-Markov model a geo-information based model. *Earth System Science*. 121(4): 1011–1024.
- Borana S, Yadav S. 2017. Modelling and prediction of land use changes in Jodhpur city using multi-layer perceptron Markov techniques. *Research in Engineering*, 7(11): 14–21.
- Simioni DJ, Guasselli AL. 2018. Simulation of changes in land use/land cover in wetlands through CA-Markov model. *Revista Brasileira de Geografia*. 11(6): 2057–2066.
- Ebrahimi H, Rasouli A, Ahmadpour A. 2018. Modelling of land use dynamics using object oriented image processing and CA-Markov model. *Geographic Information*, 27 (108): 137–149. (In Persian)
- Fatollahi Roudbari S, Khanmohamadi M, Nasir Ahmadi K. 2018. Modelling of land use changes with using of LCM model: Case study, Neka Township. *Natural Ecosystems of Iran*, 9(1): 53–69. (In Persian)
- Hegazy I, Kaloop M. 2015. Monitoring urban growth and land use change detection with GIS and remote sensing techniques in Daqalia governorate Egypt. *Sustainable Built Environment*, pp. 1–8.
- Heydarian P, Rangzan K, Maleki S, Taghizadeh A. 2013. Land use change detection using post classification comparison Landsat satellite images (Case study: land of Tehran), RS & GIS for Natural Resource. 4(4): 1–10.
- HUA A. 2017. Application of CA-Markov model and land use/land cover changes in Malacca river watershed, Malaysia. *Applied Ecology and Environmental Research*. 15 (4): 605–922.
- Ignacio Barredo J, Bosque-Sendra J. 1998. Comparison of multi criteria evaluation methods in geographical methods integrated in Geographical Information System to allocate urban areas. *Geographical Systems*. 5(4): 313–327.
- Ildoromi A, Nori H, Naderi M, Aghabeigi Amin S, Zeinivand H. 2017. Land use change prediction using Markov Chain and CA-Markov model. *Watershed Management Research*, 8(16): 232–240.

- Ishaq Shan A, Sumit U, Mehraj D, Dinkumar V. 2017. Land use/land cover change detection and analysis in Aglar watershed. *Applied Science and Technology*, 24(1): 1–11.
- Jasim Hadi S, Shafri H, Mahir M. 2014. Modelling LULC for the period 2010–2030 using GIS and remote sensing. 7th IGRSM International Remote Sensing & GIS Conference and Exhibition 22–23 April, Kuala Lumpur, Malaysia, 20: 1–12.
- Keshtkar H, Voit WA. 2016. Spatiotemporal analysis of landscape change using an integrated Markov chain and cellular automata models, *Earth System and Environment*, 2(10): 1-13.
- Koranteng A, Niedzwiecki T. 2015. Modelling forest loss and other land use change dynamics in Ashanti region of Ghana. *Folia Forestalia Polonica*, 57(2): 69–111.
- Li X, Wang M, Liu X, Chen Z, Wei X, Che W. 2018. MCR-Modified C-Markov model for the simulation of urban expansion. *Sustainability*, 10 (3116): 1–18.
- Meneses B, Reis E, Vale M, Reis R. 2018. Modelling land use and land cover changes in Portugal, A multi-scale and multi-temporal approach. *Finištterra (Revišta Portuguesa de Geografia)*. 107: 3–26.
- Memarian H, Balasundram SK, Bin Talib J, Teh Boon Song Ch, Mohd Sood A, Abbaspour K. 2012. Validation of CA-Markov for simulation of land use and land cover change in the Langat basin, Malaysia. *Geographic Information System*, 4(6): 542–554.
- Misagh N, Neisani Samani N, Tomanian A. 2018. Urban growth simulation of Tabriz using CA-Markov model and multi criteria evaluation. *Human Geography Research*, 5(1): 217–231. (In Persian)
- Mishra V, Mohang K, Kumar Rai P. 2014. Prediction of land use changes based on land change modeler (LCM) using Remote Sensing. *Geographical Institute*, 64(1): 111–127.
- Mohammad Yari F, Puor Khabaz H, Aghdar H, Tavakoli M. 2019. Prediction of land use changes in Behbahan city for the years 1392 to 1406 with using of LCM model. *Geographical Space*, 19(65): 37–56. (In Persian)
- Mondal M, Surabuddin.Sharma N, Kappas M, Gorg P. 2019. CA-Markov modeling of land use land cover dynamics and sensitivity analysis to identify sensitive parameters. *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2(3): 723–729.
- Mujion T, Indra D, Harmantyo P, Rukmana NZ. 2017. Simulation of land use change and effect on potential deforestation using Markov chain-Cellular Automata. *AIP Conference Proceedings, the 18th International Conference on Positron Annihilation*. 1862(1): 1–9.
- Mukhopdhyaya S. 2016. Land use and land cover change modelling using CA-Markov case study: Deforestation analysis of Doon valley. *Agroecology and Natural Resource Management*, 3(1): 1–5.
- Munthali M, Botai J, Davis N, Ade la Abiodun M. 2019. Multi-temporal analysis of land use and land cover change detection for Dedza district of Malawi using Geospatial techniques. *Applied Engineering*, 14(5): 1151–1162.
- Nouri J, Gharagozlu A, Arjmandi R, Faryadi S, Adl M. 2014. Predicting urban land use changes using a CA-Markov model. *Arab Journal of Geosciences*, 39(7): 5565–5573.
- Omar N, Sanusi S, Hussin W, Samat N, Mohammed K. 2014. Markov-CA model using analytical hirareny process and multi regression technique. *Earth and Environmental Science*, 20: 1–18.
- Onwuka S, Eneche P, Ismail N, 2017. Geospatial modeling and prediction of land use/cover dynamics in Onitsha metropolis, Nigeria: a sub-pixel approach. *Applied Science & Technol-*

- ogy, 22(6): 1–18.
- Patil S, Jamgade M. 2019. Land change prediction using Markov change Multi-Layer Perceptron in Navi Mumbai, Maharashtra, India. *Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*, 8(10): 484–490.
- Powell, Thomas WR. Lenton Timothy M. 2013. Scenarios for future biodiversity loss due to multiple drivers reveal conflict between mitigating climate change and preserving biodiversity. *Environmental Research Letters*. 8: 1–9.
- Reddy C, Singh S, Dadhwal V, Jhacs R, Diwaker P. 2017. Predictive modelling of the spatial pattern of past and future forest cover change in India. *Earth System Science*, 126(8): 1–16.
- Riyand Moe, I. Kure, Sh. Fajar Januriyadi, N. Farid, M. Udo, K. Kazama, S. Koshimura, Sh. 2017. Future projection of flood inundation considering land-use changes and land subsidence in Jakarta, Indonesia. *Hydrological Research Letters*, 11(2): 99–105.
- Sadoddin A, Sheikh VB, Mostafazadeh R, Hali M.G. 2010. Analysis of Vegetation-based management scenarios using MCDM in the Ramian Watershed, Iran. *International Journal of Plan Production*, 4(1): 51–62
- Saifullah K, Barus B, Ruatiadi E. 2017. Spatial modelling of land use/cover change (LULC) in south Tangerang city, Banten. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 54(1): 1–11.
- Samie A, Deng X, Jia S, Chen D. 2017. Scenario-based simulation on dynamics of land-use-land-cover change in Punjab, Pakistan. *Sustainability*, 9(8): 1–17.
- Sarabuddin Mondal M, Sharma N, Kappas M, Garg P. 2019. CA Markov modeling of land use/land cover dynamics and sensitivity analysis, Identify sensitive parameters. *Remote Sensing and Spatial Information Science*, 2 (13): 723–729.
- Schaldach R, Alcamo J, Heisterman M. 2006. The multiple-scale land use change model LandSHIFT: A scenario analysis of land use change consequence in Africa. *Proceedings of the iEMSs Third Biennial Meeting: Summit on Environmental Modelling and Software*, Burlington, USA. 196: 1–7.
- Siregar V, Prabowo N, Agus S, Subarno T. 2018. The effect of atmospheric correction on object base image classification using SPOT-7 imagery: a case study in the Harapan and Kelapa Islands. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2nd International Conference on Marine Science: Better Insight for the Healthy Ocean 6–7 September, Indonesia 176: 1–11.
- Sundara Kumar K, Udaya Bhaskar P, Padmakumari K. 2015. Application of land change modeling for prediction of future of land use land cover: A case study of Vijayawda city, *Advanced Technology in Engineering and Science*, 3(1): 773–783.
- Thanh Huong N, Thuy Phuong N. 2018. Land use/land cover change prediction in Dak Nong province based on remote sensing and Markov chain model and Cellular Automata. *Vietnamese Environment*, 9(3): 132–144.
- Wang J, Wang H, Ning S, Hiroshi I. 2018. Predicting future land cover change and its impact on streamflow and sediment load in a trans-boundary river basin. *International Association Hydrological Science*, 379: 217–222.
- Yirsaw E, Wu W, Shi X, Temesgeh H, Bekele B. 2017. Land use and land cover change modeling and the prediction of subsequent changes in ecosystem service values in a coastal area of China, The Su-Xi-Change region. *Sustainability*, 9 (1204): 2–17.



## ***Watershed Management Research***

VOL. 33, No. 3, Ser. No: 128, Autumn 2020, pp. 91 -107  
DOI: 10.22092/wmej.2019.128009.1267

### **Prediction of Land Use Changes Using the CA-Markov and LCM Models in the Kozehtopraghi Watershed in the Province of Ardabil**

#### **Maryam Aghaei**

M.Sc. Graduated in Remote Sensing and GIS, Department of Literature and Humanities, Faculty of Natural Geography, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran

#### **Hasan Khavarian**

Assistant Professor, Department of Literature and Humanities, Faculty of Natural Geography, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

#### **Raof Mostafazadeh**

(Corresponding Author)\* Associate Professor, Department of Natural Resources and Member of Water Management Research Institute, Faculty of Agricultural Technology and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Corresponding Author Email: raofmostafazadeh@uma.ac.ir

Received: 07 October 2019

Accepted: 17 December 2019

#### **Abstract**

Simulation and monitoring of future trends of land use changes is an important challenge for researchers and decision makers. This study uses the spatio-temporal models to simulate and evaluate the future trend in land use changes of the Kozehtopraghi Watershed in the Province of Ardabil. Landsat ETM+ (2000), TM (2010) and OLI (2018) images were used. The CA-Markov model was used to simulate land use changes in the future period (the year 2036). To assess the validity of a CA-Markov model, the predicted land use map of 2018 was compared with the classified map of 2018. Based on the Kappa accuracy coefficient with the value of 0.8, the accuracy of the simulated results was acceptable. The land use map of 2036 has been predicted using the CA-Markov model. In order to analyze and detect the changes in 2000 to 2036, the LCM model was employed. The results showed that the areas of irrigated farming, pastures and orchards will increase by 80.52, 36.90, and 5.76 percent, respectively. On the other hand, the rainfed agriculture and water bodies areas will decrease by 43.43 and 91.40 percent, respectively. In addition, based on the results of the change process, extreme changes in rainfed agriculture, orchard, pasture and irrigated agriculture will happen in the central, south-west, south-west and downstream parts of the Kozehtopraghi Watershed.

■ **Keywords:** Changes map, change trends, Land use change, spatio-temporal model, validation ■