

بررسی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از روش‌های پردازش شیء‌گرا و زنجیره مارکوف (مطالعه موردی: حوضه باراندوزچای، آذربایجان غربی)

طیبه ایرانی^۱، هیراد عبقری^{۲*} و علی اکبر رسولی^۳

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۲۸)

چکیده

از عوامل مهم برای درک تحولات محیطی مقیاس‌های زمانی-مکانی مختلف، پیش‌بینی تغییرات کاربری و پوشش اراضی می‌باشد. هدف از پژوهش حاضر بررسی وضعیت فعلی و آتی کاربری‌های اراضی حوزه آبخیز باراندوزچای در آذربایجان غربی می‌باشد. تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ برای سال‌های ۲۰۱۶، ۲۰۲۰ و ۲۰۲۲ دریافت و پس از اعمال پیش‌پردازش‌های مورد نیاز، به نرم‌افزار eCognition ارسال گردید. با استفاده از روش شیء‌گرا مدل طبقه‌بندی نزدیک‌ترین همسایگی اجرا و نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی تولید شد. در نهایت با استفاده از روش CA مارکوف (Cellular Automata Markov) پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی برای سال ۲۰۲۸ انجام شد. برای بررسی صحت مدل CA مارکوف، نقشه تغییرات پیش‌بینی شده سال ۲۰۲۲ با نقشه طبقه‌بندی ۲۰۲۲ صحت‌سنجی شد. نتایج نشان داد که با استفاده از طبقه‌بندی نزدیک‌ترین همسایگی، تولید نقشه‌های کاربری اراضی با دقت بالا (ضریب کاپا ۰/۹۳) و با اعمال مدل مارکوف نقشه‌های تغییرات کاربری اراضی با دقت قابل قبول (۸۱٪) امکان پذیر است. تا سال ۲۰۲۸ میلادی کاربری اراضی کشاورزی ۳۰/۰۸٪، محدوده‌های مسکونی ۱/۴۸٪ و عرصه‌های نمکی حدود ۰/۰۲٪ افزایش، و کاربری خاک ۱۶/۲۴٪ و مراتع به میزان ۱۵/۲۱٪ کاهش خواهند داشت. نتایج این پژوهش به ارزیابی اقدامات گذشته، ریشه‌یابی معضلات و تدوین راهبردها برای مدیریت سرزمین در حوزه آبخیز باراندوزچای کمک می‌کند.

واژه‌های کلیدی: تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲، قطعه‌بندی، پردازش دانش‌محور، صحت‌سنجی، آینده‌نگری وضعیت اراضی

۱. دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ایران.

۲. دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ایران.

۳. استاد گروه علوم محیطی، دانشگاه مک کواری، سیدنی، استرالیا.

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: h.abghari@urmia.ac.ir

مقدمه

تغییر کاربری زمین، یکی از عوامل مهم برای درک تحولات محیطی در تمام مقیاس‌های زمانی-مکانی است (۱۶). تغییرات ارتفاع در حوزه‌های آبخیز، افزایش ظرفیت سیلابی رودخانه‌ها و افزایش حجم رواناب در رودخانه به طور مستقیم بر کاربری زمین تأثیر خواهند گذاشت (۱۹). آگاهی از تغییر کاربری زمین یکی از مهم‌ترین پارامترهای تصمیم‌گیری برای برنامه‌ریزی زمین در مقیاس جهانی و ناحیه‌یی می‌باشد. پیشرفت در درک حالت‌های ممکن تغییر کاربری زمین می‌تواند در شناسایی و تشخیص فرآیندهای زمین، سیلاب و... در آینده مناسب باشد (۴). بررسی تغییرات می‌تواند به درک فرآیندهای انسانی کمک کرده تا بتوان از میزان تخریب ایجاد شده جلوگیری کرد (۷). تهیه نقشه تغییرات کاربری اراضی، بخش زیادی از اطلاعات مورد نیاز متخصصان و برنامه‌ریزان توسعه شهری و روستایی را فراهم می‌کند. تهیه این اطلاعات در سطح وسیع و با دقت بالا از طریق انجام عملیات زمینی امری هزینه‌بر، زمان‌بر و در مواردی غیرممکن می‌باشد. امروزه فناوری سنجش از راه دور راهکاری ارزشمند در جهت شناسایی، تشخیص، پایش، و پهنه‌بندی منابع طبیعی به‌ویژه در مورد روند تهیه نقشه‌های کاربری اراضی، در مناطق مختلف جهان به صورت علمی مورد استناد قرار خواهد گرفت (۲۳).

مناطق وسیع حوزه‌های آبخیز توسط داده‌های سنجش از دور پوشش داده می‌شوند و همچنین پوشش زمانی زیاد این داده‌ها اطلاعات باارزشی از مکان، فرآیند، نسبت، روند طبیعی و الگوی تغییر پوشش کاربری زمین فراهم خواهد کرد (۲۱). برای شناخت الگوی کاربری زمین و مکانیزم‌های پیچیده مدل‌ها و تحلیل حالت‌های ممکن ابزاری توانا است. برخی از این مدل‌های شبیه‌سازی ممکن است به تصمیم‌گیری در مورد پیش‌بینی حالت‌های که در آینده اتفاق می‌افتد کمک کند. از جمله‌ی مدل‌های که می‌توان نام برد، مدل‌ها اتوماتای سلولی و زنجیره‌ی مارکوف است (۲۷). مدل‌سازی مکانی تغییر کاربری زمین، نیازمند اطلاعاتی در مورد میزان و مکان تغییر

است. مدل زنجیره‌ی مارکوف اطلاعاتی از مکان نمی‌دهد و تنها پویایی زمانی را به‌دست می‌آورد. در مقایسه با مدل زنجیره‌ی مارکوف، مدل خودکار سلولی مارکوف (Cellular Automata Markov) دارای مولفه مکانی می‌باشد، که با قانون‌های خاصی از سلول‌های همسایه تغییر در آینده به‌دست می‌آورد. خروجی مدل مارکوف از نظر ماهیت، مکانی نیست؛ یعنی در آن از موقعیت جغرافیایی کاربری‌های زمین هیچ دانش و آگاهی وجود ندارد. بنابراین برای پیش‌بینی موقعیت کاربری‌ها، به‌همراه مدل مارکوف روش سلول‌های خودکار (CA مارکوف) به‌کار گرفته می‌شود. مدل CA مارکوف دانش کاربری و مولفه‌های مجاورت مکانی را به توزیع مکانی و به مدل زنجیره‌ی مارکوف احتمال تبدیل کاربری‌ها را اضافه می‌کند (۱۷). مدل CA مارکوف در پیش‌بینی مکانی-زمانی بسیار مفید است چون روند تغییر کاربری زمین و حالت ممکن در نظر می‌گیرد (۲۱)، به‌طور کلی توانایی شبیه‌سازی و مدل‌سازی حالت‌های ممکن مختلف با به‌کاربردن روش‌های نوین در پردازش تصویرهای ماهواره‌ای و مدل‌های کارآمد در تحلیل‌های مکانی، امکان پیش‌بینی و بررسی تغییر زمانی - مکانی کاربری زمین را می‌دهد (۸). برای استخراج اطلاعات کاربردی طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای یکی از مهمترین روش‌ها محسوب می‌شود (۶). در حال حاضر طبقه‌بندی تصاویر رقومی ماهواره‌ای با سه روش کلی پردازش پیکسل پایه، شیء‌گرا، و آموزش‌گرای انجام می‌شود (۱۲). اخیراً روش جدید شیء‌گرا برای تجزیه و تحلیل تصویر استفاده می‌شود که قطعه‌بندی سطح پایین و بدون دانش را با روش‌های طبقه‌بندی فازی سطح بالا و مبتنی بر دانش ادغام می‌کند. این روش جدید از طریق نرم افزار eCognition، که شامل محیطی شیء‌گرا برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای بود، طراحی شد. در روش طبقه‌بندی شیء‌گرا اطلاعات طیفی، شکل و بافت‌ها را به طور همزمان در نظر می‌گیرد. معمولاً خطاهای متعددی در روش‌های طبقه‌بندی مبتنی بر پیکسل قابل انتظار است که با توجه به

کاربری اراضی استفاده کردند. نتایج حاصل رشد ۳۳٪ اراضی ساخته شده و کاهش ۷۰۴ هکتار اراضی زراعی برای سال ۱۴۱۹ نسبت به سال ۱۳۹۴ قابل پیش‌بینی است (۱۴). عیبات و همکاران، در پیش‌بینی تغییرات پوشش گیاهی در ارتباط با تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل (Land Change Modeler, LCM) و زنجیره CA مارکوف در شهر اهواز از طبقه‌بندی شیء‌گرا استفاده کردند و نتایج نشان داد که پوشش گیاهی روند کاهشی، و بیشترین تغییرات مربوط به تبدیل پوشش گیاهی به نواحی ساخته شده است و کمترین تغییرات مربوط به تبدیل پوشش گیاهی به پهنه‌آبی است و نتایج پیش‌بینی تغییرات تا سال ۲۰۲۹ نشان دهنده کاهش سطح پوشش گیاهی می‌باشد (۲). غفاری و همکاران، با استفاده از تصاویر لندست TM سال ۱۹۸۵ و OLI سال ۲۰۱۵ به مقایسه روش‌های طبقه‌بندی شیء‌گرا و پیکسل پایه، در دشت‌های اصفهان-برخوار، نجف‌آباد و چادگان و بررسی تغییر کاربری اراضی در طول دوره آماری پرداخته‌اند. طبقه‌بندی کاربری اراضی شامل قطعه‌بندی داده‌های تصویری با استفاده نرم‌افزار eCognition انجام شده بود. بررسی‌ها نشان می‌دهد طبقه‌بندی حاصل از مدل شیء‌گرا با صحت کلی بالای ۹۰٪ نسبت به طبقه‌بندی پیکسل پایه از دقت بالاتری برخوردار بوده است (۱۰). علیرغم ارزشمند بودن تحقیقات انجام شده در مبحث بررسی تغییرات کاربری اراضی، در پژوهش حاضر با دسترسی به داده‌های جدید فناوری سنجنش از دور تصاویر Sentinel2 با تفکیک مکانی ۱۰m و با اعمال روش‌های پردازش تصاویر ماهواره‌ای دانش‌پایه پرداخته است. از اهداف اصلی پژوهش حاضر ارزیابی تغییرات زمانی-مکانی حوزه آبخیز باراندوزچای- دریاچه ارومیه طی دوره ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۲، و پیش‌بینی کاربری اراضی سال ۲۰۲۸ می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز باراندوز چای واقع در استان آذربایجان غربی است.

قدرت تفکیک مکانی سنجنده و سایر عوامل متأثرکننده باید شناسایی شوند. اما، مجموعه‌ای از پیکسل‌های نسبتاً مشابه عارضه مشخصی در روش‌های شیء‌گرا نشان می‌دهند. بنابراین، مجموعه پیکسل‌های مشابه تحت یک عنوان شناسایی و سپس عملیات طبقه‌بندی و فرآیندهای تقسیم‌بندی اعمال می‌گردد (۲۲). منتهلی و همکاران، با استفاده از شبکه سلول خودکار مارکوف به پیش‌بینی پوشش کاربری اراضی مالووی پرداختند. تغییرات کاربری اراضی در بازه‌های زمان ۲۰۲۵ تا ۲۰۳۵ بررسی و از صحت کلی و ضریب کاپا برای ارزیابی دقت نقشه‌ای تولید شده استفاده شد. نتایج نشان داد کاربری‌های مناطق مسکونی، پهنه‌های آبی و زمین‌های بایر افزایش مساحت خواهند داشت و جنگل‌ها و زمین‌های کشاورزی با کاهش مساحت مواجه خواهند بود و همچنین بیشترین میزان تغییر مربوط به مناطق جنگلی به مقدار ۶۴٪ خواهد بود (۲۲). همچنین در تحقیق دیگری رسولی و همکاران، به بررسی تغییرات ۳۰ ساله (Land Use/ Land Cover, LU/LC) در منطقه قره‌باغ با استفاده از روش‌های تحلیل تصاویر ماهواره‌ای مبتنی بر شیء (Object-Based Image Analysis, OBIA) پرداختند. نتایج شاخص آستانه‌گذاری پویا (Dynamic Thresholds Indexing, DTI) نشان داد که از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۱، تغییرات LC کاملاً معنادار است. کاهش پوشش گیاهی ۱۰/۲٪، افزایش سطح بدون پوشش گیاهی ۱۱/۸٪ و بیشترین تغییرات در اراضی تخریب شده با مساحت ۴۵/۱ km²، ۲۶/۱۸٪ مشاهده شد. همچنین مساحت اراضی فرسوده ۳۵٪ و اراضی بایر ۴/۴٪ افزایش یافته است. دقت کلی ۹۵٪ و کاپا ۹۳٪ تغییرات قابل توجهی را در LC/LU تایید کرد (۲۴). همچنین در ایران کریمی فیروزجایی و همکاران، در پژوهشی به پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و گسترش شهر بابل در دوره زمانی ۱۳۶۴-۱۴۱۹ پرداختند. از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ (TM)، لندست ۷ (ETM) و لندست ۸ (OLI) استفاده کردند. برای پیش‌بینی تغییر کاربری اراضی از مدل مارکوف CA، از شاخص آنتروپی شانون برای بررسی گسترش پراکندگی شهر و شناخت تغییرات

متری، شیب، جهت و ارتفاع منطقه مورد مطالعه در شکل ۲ ارائه شده است.

روش تحقیق

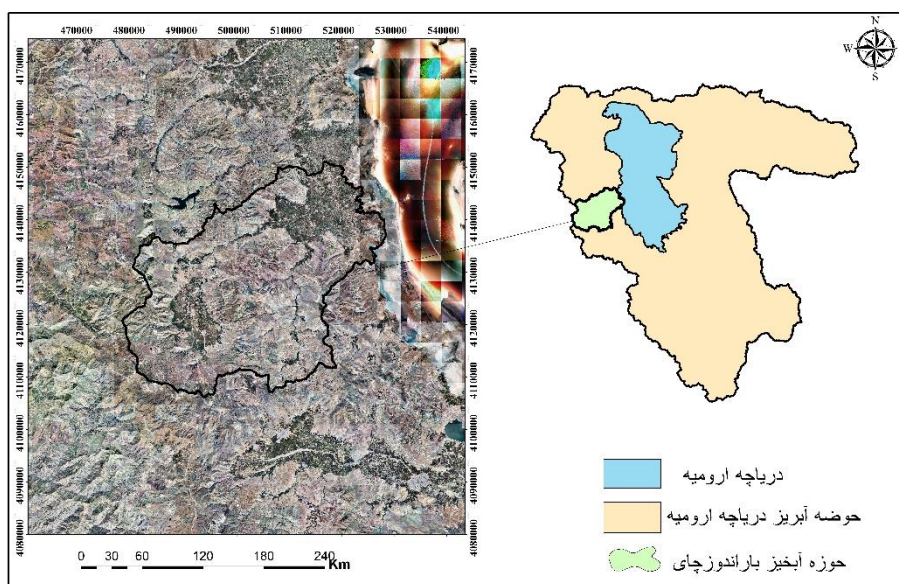
با هدف ارتقاء کمیت و کیفیت نقشه‌های کاربری‌اراضی در تحقیق حاضر از تصاویر ماهواره‌ای Sentinel2، با تفکیک مکانی ۱۰ متری و دارا بودن محدوده طیف‌های متنوع ۱۳ باند برای Sentinel2 استفاده گردید. اطلاعات تصاویر مورد استفاده در پژوهش حاضر در جدول ۱ ارائه شده است.

پیش پردازش تصاویر ماهواره‌ای

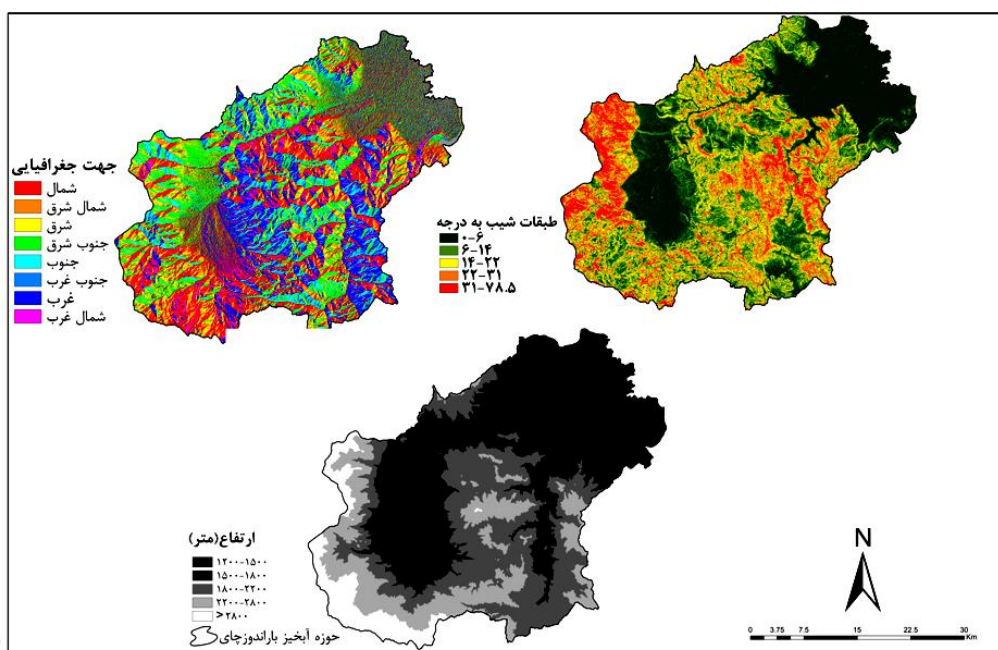
پیش‌پردازش تصاویر شامل مراحل، تبدیل فرمت تصاویر، موزائیک‌سازی و برش تصاویر، در محیط نرم‌افزارهای ArcGIS و ENVI انجام گردید. در مرحله پردازش، پس از ورود داده‌ها و تصاویر، ایجاد ترکیبی بانندی ۲،۳،۴،۸ و ۱۱، تولید شاخص‌های کاربری‌اراضی، قطعه‌بندی چند متغیره، ویراستاری شی‌های تصویری، طبقه‌بندی اراضی‌زمین به روش نزدیک‌ترین همسایگی (Nearest Neighbour Classify, NNC)، تولید نقشه‌های پوشش زمین و کاربری‌اراضی در محیط نرم‌افزار eCognition Developer 9.5 انجام گردید. در این نرم‌افزار هر طبقه‌بندی دارای مراحل مختلف است. این مراحل عموماً به صورت قطعه‌بندی، نمونه‌برداری و طبقه‌بندی انجام می‌شوند. در مرحله قطعه‌بندی، تصویر ورودی به بخش‌های کوچکتر (قطعه) تقسیم می‌شود تا ویژگی‌های مشابه در هر قطعه تجمع یابند. سپس در مرحله نمونه‌برداری، نمونه‌هایی از هر قطعه استخراج می‌شوند که نماینده ویژگی‌های آن قطعه هستند. در نهایت، در مرحله طبقه‌بندی، با استفاده از الگوریتم‌های مختلف، قطعه‌ها بر اساس ویژگی‌های مشترک آن‌ها به دسته‌های مختلفی تقسیم می‌شوند. به همین منظور برای قطعه‌بندی، مقدار ۵۶، ۰/۳ و ۰/۷ بترتیب برای پارامترهای مقیاس، شکل و فشردگی مطلوب بودن در نظر گرفته شد. جهت تفکیک بهتر پوشش گیاهی از شاخص (Normalized Difference Water Index) NDWI و

گسترده‌گی جغرافیایی این حوضه از $37^{\circ}06'$ تا $29^{\circ}37'$ عرض شمالی و $44^{\circ}45'$ تا $14^{\circ}45'$ طول شرقی واقع گردیده است. رودخانه باراندوزچای از دو رشته ارتفاعات مرزی ایران و ترکیه به نام جمال‌الدین، ایران و عراق به نام ارتفاعات ککوداغ و الوق سرچشمه می‌گیرد و در بستر عمیقی با شیب تند حرکت کرده، پس از دریافت شاخه‌هایی چند و طی مسافتی وارد جلگه شده و دشت بیل را آبیاری می‌کند. سپس از آبدی زیوه گذشته به روستای هفتوان باراندوز می‌رسد و از این ناحیه به بعد به نام باراندوزچای نامیده می‌شود. رودخانه باراندوز زمین‌های کشاورزی ۱۰۲ روستا و آبدی رو آبیاری کرده در چندین شاخه که شعبه اصلی آن ببارود است به دریاچه ارومیه می‌ریزد. این حوضه در محدوده شهرستان‌های ارومیه و نقده قرار دارد. مساحت حوضه مذکور، 1170 km^2 است. حداقل و حداکثر ارتفاع حوزه آبخیز باراندوزچای به ترتیب برابر با ۱۲۶۵ و ۳۴۸۳ متر می‌باشد. تغییرات بارندگی سالانه حوزه از ۳۰۰ تا ۷۰۰ میلی‌متر متغیر و میانگین بارش حوضه $436/01 \text{ mm}$ و جمعیت آن ۷۴۶۶ نفر است (۱). آب‌های حاصل از این حوضه با جهت غربی - شرقی، در نهایت وارد دریاچه ارومیه می‌شوند. حوضه مذکور اغلب کوهستانی بوده و تنها بخش‌های شمال شرقی و مرکزی دارای ارتفاع پایین بوده و عمدتاً از دشت‌های حاصلخیز تشکیل شده است. این امر سبب شده تا در این قسمت‌ها، پوشش گیاهی وسیعی شامل باغات و اراضی کشاورزی وجود داشته باشد. این حوضه عمدتاً از سنگ‌های آهکی، دولومیت‌ها، شیل‌ها، کنگلومرها و در دشت‌ها از رسوبات کواترنری تشکیل شده است. شرایط ناهمواری، زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، فعالیت‌های انسانی و پوشش گیاهی شرایط مناسبی را برای وقوع پدیده‌های ژئومورفولوژیکی مختلف ایجاد کرده است. مساحت باغات $144/33 \text{ km}^2$ و مساحت کشاورزی $178/1 \text{ km}^2$ می‌باشد (۱۵). موقعیت محدوده مورد مطالعه در شکل ۱ ارائه شده است.

با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی (Digital Elevation Model, DEM) سنجنده ALOS / PALSAR، با تفکیک مکانی ۱۲/۵



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز باراندوزچای - دریاچه ارومیه



شکل ۲. نقشه شیب، جهت و ارتفاع حوزه آبخیز باراندوزچای - دریاچه ارومیه

جدول ۱. اطلاعات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در مطالعه تغییر و پیش‌بینی کاربری

نام سنجنده	تاریخ کسب داده	قدرت تفکیک مکانی
Sentinel2	۲۰۱۶/۰۷/۱۶ معادل ۱۳۹۵/۰۴/۲۶	چندطیفی ۱۰ m و ۲۰ m و ۶۰
Sentinel2	۲۰۲۰/۰۷/۱۰ معادل ۱۳۹۹/۰۴/۲۰	چندطیفی ۱۰ m و ۲۰ m و ۶۰
Sentinel2	۲۰۲۲/۰۶/۲۰ معادل ۱۴۰۱/۰۳/۳۰	چندطیفی ۱۰ m و ۲۰ m و ۶۰

که در آن، S وضعیت کاربری در زمان t ، سال اول (T_0) و زمان دوم (T_1) را نشان می‌دهد و P_{ij} ماتریس احتمال انتقال می‌باشد (۱۱).

اساس تولید ماتریس احتمال انتقال، استفاده از شرایط کاربری اراضی قبلی برای پیش‌بینی بود که از رابطه ۴ استفاده شد:

$$P_{ij} = \begin{vmatrix} P_{11} & P_{12} \dots P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} \dots P_{2n} \\ \dots & \dots \dots \dots \\ P_{in} & P_{in} \dots P_{nn} \end{vmatrix} \quad (0 \leq P_{ij} \leq 1) \quad (4)$$

که در آن، P_{ij} ضریب احتمال انتقال کاربری‌ها را از اولین سال (i) تا دومین سال (j) نشان می‌دهد (۱۸).

مدل‌سازی تغییر کاربری اراضی با مدل CA مارکوف

از نقشه کاربری اراضی تولید شده ۲۰۱۶ و ۲۰۲۰ در نرم افزار eCognition، جهت تولید نقشه پیش‌بینی کاربری اراضی ۲۰۲۲ استفاده گردید. ابتدا به وسیله مدل مارکوف برای تهیه ماتریس احتمال انتقال و ماتریس مساحت انتقال جهت صحت‌سنجی نقشه پیش‌بینی استفاده شد. تصویر طبقه بندی شده سال ۲۰۱۶ و ۲۰۲۰ ورودی مدل مارکوف بوده، فاصله زمانی بین این دو تصویر ۴ سال، و فاصله زمانی پیش بینی ۲ سال می‌باشد. در نهایت، با استفاده از ابزار Validate نقشه طبقه‌بندی ۲۰۲۲ و نقشه پیش‌بینی ۲۰۲۲ برای سنجیدن مدل CA مارکوف استفاده شد و بعد از اطمینان از دقت بالای مدل پیش‌بینی برای سال ۲۰۲۸ انجام شد.

در مرحله پس‌پردازش ورود لایه‌های رقومی، فرمت‌سازی تصاویر طبقه‌بندی شده، اعمال محاسبه‌گرهای زنجیره مارکوف، ارزش‌گذاری کلاس‌های کاربری اراضی، اجرای توابع ترکیبی زنجیره مارکوف، تولید لایه‌های پیش‌بینی کاربری اراضی، ارزیابی نتایج نهایی و ارسال نتایج به محیط سایر نرم‌افزارها این مراحل در محیط نرم‌افزار TerrSet2020 انجام شد. سپس با ورود لایه‌های رقومی به محیط نرم‌افزاری ArcGIS10.8 ترکیب

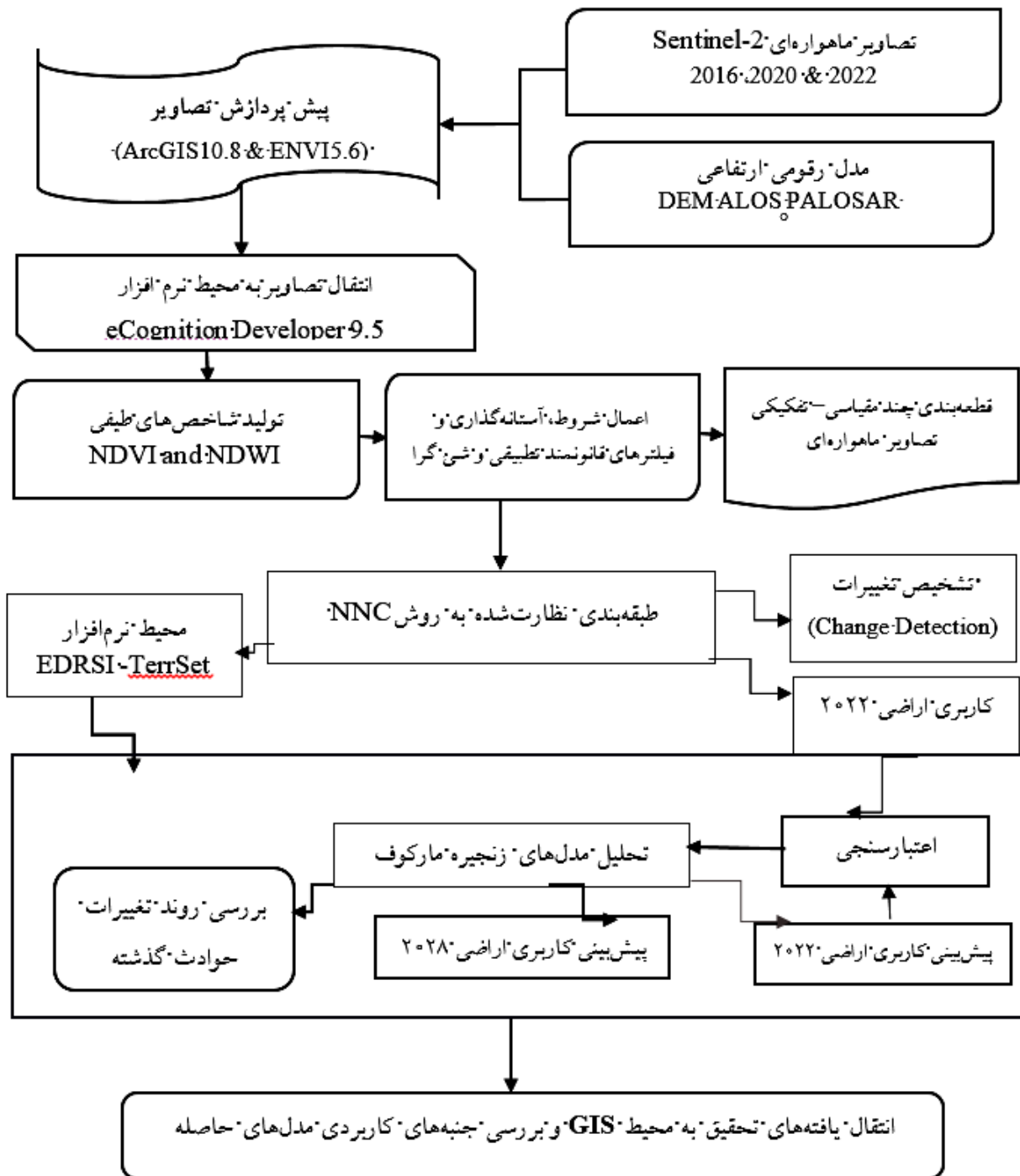
برای پوشش گیاهی از شاخص NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) استفاده شد (۲۰).

پس از ایجاد شاخص‌ها، براساس هدف تحقیق که آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی است، با توجه به شناخت از منطقه مورد مطالعه و تصاویر Google Earth و نقاط تعلیمی برداشته شده بوسیله GPS، طبقات کاربری براساس کاربری پهنه‌آبی، مناطق مسکونی، مرتع، نمک حاشیه دریاچه ارومیه، باغات و اراضی آبی، اراضی دیم و خاک تقسیم‌بندی شد. برای طبقه‌بندی تصویر با روش شی‌اگرا از الگوریتم نزدیکترین همسایه NNC استفاده شد و متناسب با خصوصیات بصری و به کمک شاخص‌ها نمونه برای هر کدام از کلاس‌ها انتخاب، و شرایط طبقه‌بندی برای هر یک از کلاس‌های کاربری اراضی تعریف شد. و نقشه‌های کاربری اراضی برای ۳ دوره با روش شی‌اگرا استخراج گردید. و مساحت کاربری‌ها طبقه‌بندی شده محاسبه گردید. در مرحله بعد پیش‌بینی تغییرات کاربری به کمک مارکوف و CA-مارکوف انجام شد.

پیش‌بینی روند تغییرات با مدل زنجیره مارکوف

براساس توانایی الگوریتم تلفیقی زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار، از این مدل برای پوشش سطح زمین و پیش‌بینی کاربری در آینده استفاده می‌شود. این مدل با تحلیل یک جفت از نقشه‌های کاربری اراضی با استفاده از زنجیره مارکوف، ماتریس احتمال انتقال (Transition Probabilities)، ماتریس مساحت انتقال یافته (Transition Areas) و چند تصویر احتمال شرطی ایجاد گردید. بسته به تعداد کاربری‌ها، ماتریس احتمال انتقال، احتمال انتقال هر کدام از کاربری‌ها به کاربری دیگر را نشان می‌دهد (۱۸)، این مدل پیش‌بینی آینده را با ایجاد یک ماتریس انتقال احتمال تغییرات کاربری بین سال اول و دوم انجام داد. محاسبه پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی از طریق رابطه (۳) بدست آمد:

$$S = (T_0 + T_1) = P_{ij} * S(t) \quad (3)$$

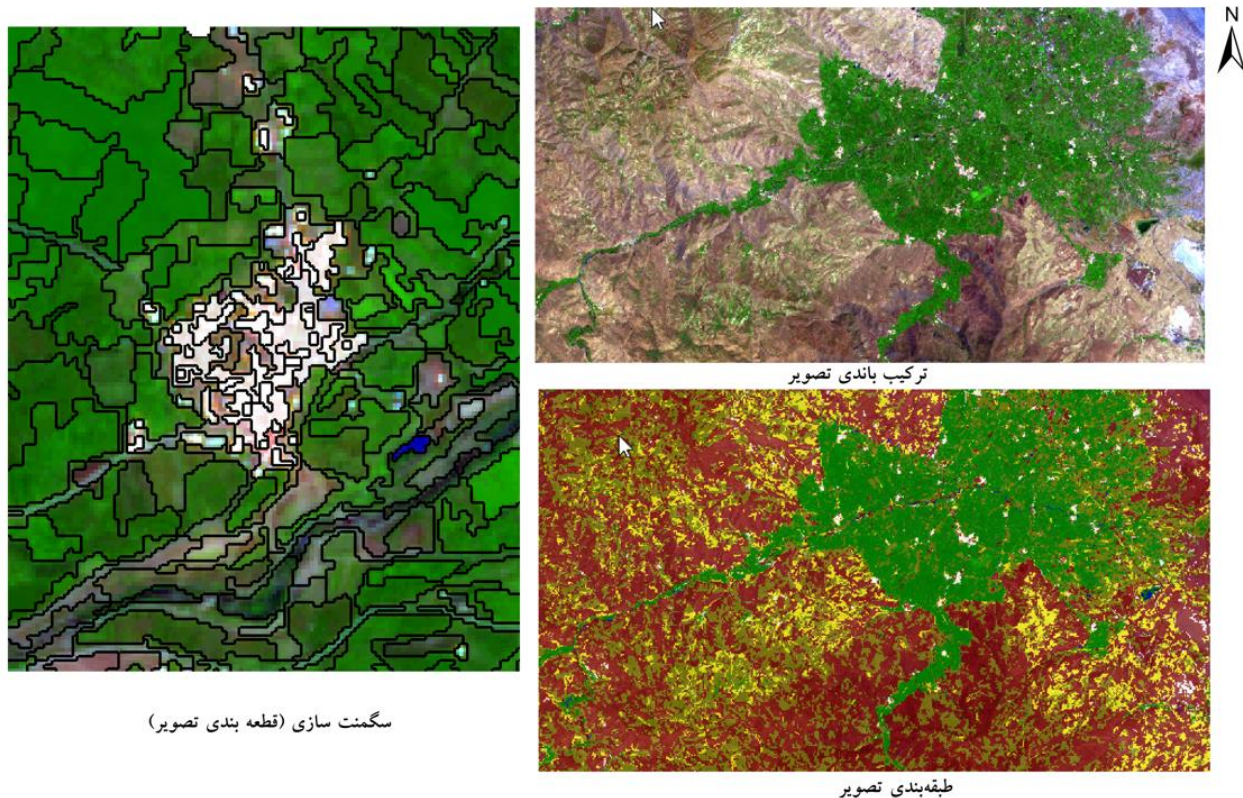


شکل ۳. نمودار جریانی مراحل انجام تحقیق

نتایج و بحث

پردازش تصاویر به روش‌های شیء‌گرا، ابتدا پیکسل‌های تصاویر ماهواره‌ای براساس میزان بازتابش، شکل، تراکم و سایر ارزش‌های

و تحلیل هدفمند لایه‌ها انجام می‌شود و نتایج نهایی استخراج گردید. فرآیند کلی انجام تحقیق در شکل ۳ ارائه شده است.



شکل ۴. ترکیب باندی، قطعه بندی و طبقه بندی تصویر

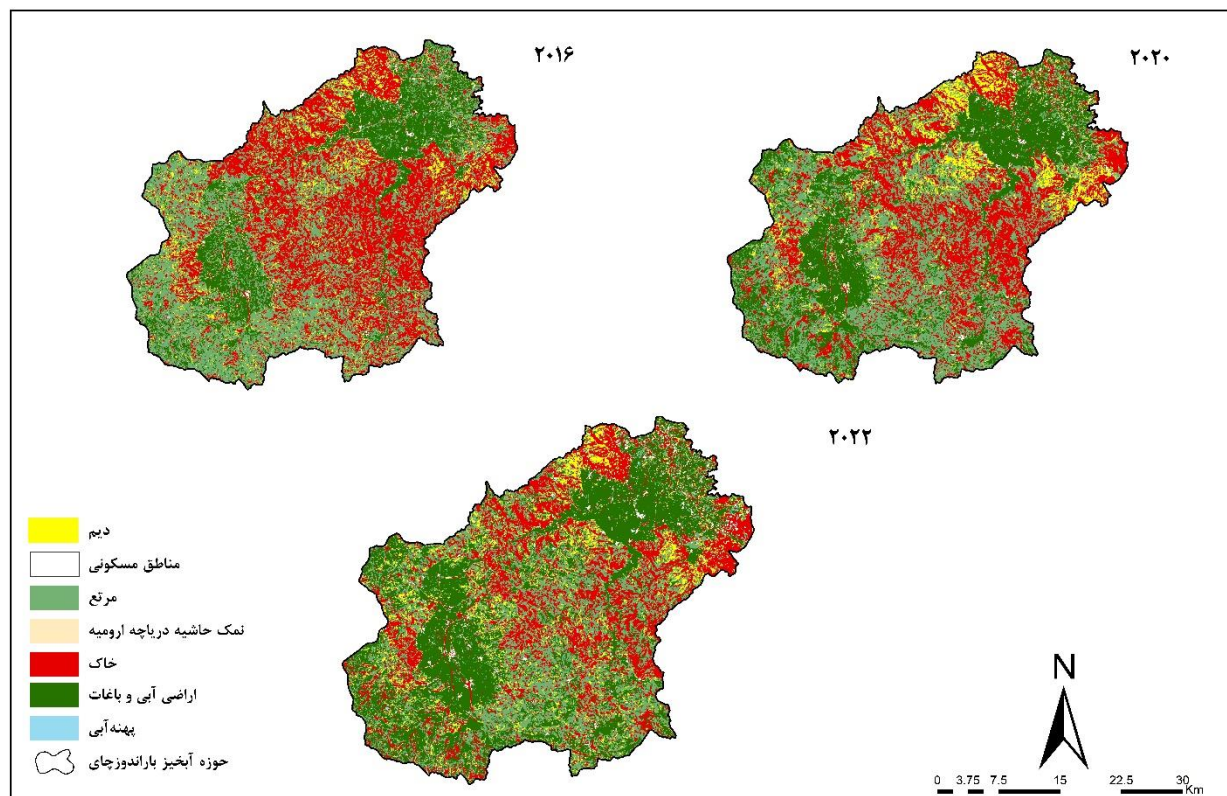
۱/۰۹، ۳۷۷/۰۹، ۳۶۱/۹۶، ۱۰۶/۱۹، ۰/۰۷، ۵۰۱/۳۷ و km^2 ۱۳/۸ و در سال ۲۰۲۲ تغییرات مساحت برای کاربری‌های پهنه‌آبی، خاک، باغات و اراضی آبی، اراضی دیم، نمک حاشیه دریاچه ارومیه، مرتع و مسکونی به ترتیب ۲/۷، ۳۳۸/۷۴، ۴۶۷/۴۸، ۱۱۴/۱۸، ۰/۰۵، ۴۱۲/۹۱ و km^2 ۲۵/۵۰ بدست آمد.

صحت‌سنجی مدل CA مارکوف

برای صحت‌سنجی نقشه طبقه بندی سال ۲۰۲۲ با نقشه پیش‌بینی سال ۲۰۲۲، مقایسه گردید. مقادیر شاخص کاپا برای منطقه Kno، شاخص کاپا برای هرسلول Klocation، شاخص کاپا براساس قطعه همسایه پیش‌بینی شده Klocationstrata، و کاپای استاندارد Kstandard به ترتیب برابر با ۰/۹۵، ۰/۹۷، ۰/۹۷ و ۰/۹۴ بدست آمدند. با توجه به دقت بالای مدل در پیش‌بینی نقشه تغییرات سال ۲۰۲۲، نقشه تغییرات سال ۲۰۲۸ نیز استخراج گردید. جدول ۲ و ۳ ماتریس مساحت انتقال و ماتریس احتمال انتقال با استفاده از نقشه طبقه‌بندی سال ۲۰۱۶

زمین-آماری با اعمال الگوریتم قطعه‌بندی (Segmentation) به قطعه‌های مشابه تبدیل گردید و در ادامه با اعمال روش‌های ایندکس‌سازی، طبقه‌بندی تصاویر انجام شد. ترکیب باندی، قطعه‌بندی و طبقه‌بندی تصویر در شکل ۴ ارائه شده است.

طبقه‌بندی تصاویر با استفاده از روش NNC در هفت کاربری پهنه‌آبی، خاک، باغات و اراضی آبی، اراضی دیم، نمک حاشیه دریاچه ارومیه، مرتع و مسکونی، نقشه کاربری اراضی برای سال‌های ۲۰۱۶، ۲۰۲۰ و ۲۰۲۲ تهیه شد و مساحت هر کاربری محاسبه شد. نقشه کاربری اراضی سال‌های ۲۰۱۶، ۲۰۲۰ و ۲۰۲۲ در شکل ۵ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که در سال ۲۰۱۶، مساحت کاربری‌های پهنه‌آبی، خاک، باغات و اراضی آبی، اراضی دیم، نمک حاشیه دریاچه ارومیه، مرتع و مناطق مسکونی به ترتیب ۱/۳۵، ۴۸۲/۷۴، ۲۲۱/۱۴، ۹۵/۵۱، ۵۵۰/۷۳ و km^2 ۱۰/۰۶ بدست آمد. در سال ۲۰۲۰ مساحت پهنه آبی، خاک، باغات و اراضی آبی، اراضی دیم، نمک حاشیه دریاچه ارومیه، مرتع و مناطق مسکونی به ترتیب



شکل ۵. نقشه کاربری اراضی برای سال‌های مورد بررسی در حوزه آبخیز باراندوزچای-دریاچه ارومیه

جدول ۲. ماتریس مساحت انتقال یافته تغییر کاربری ۲۰۱۶-۲۰۲۰ با استفاده مدل زنجیره‌ی مارکوف بر حسب km^2

کاربری اراضی	پهنه آبی	خاک	باغات و اراضی آبی	مناطق مسکونی	مرتع	دیم	نمک حاشیه دریاچه
پهنه آبی	۱۱/۸۱	۰/۵۲	۰/۱۰	۰	۰/۰۴	۰	۰
خاک	۰/۱۱	۶۱۳/۷۳	۰	۱/۴	۵۹/۱۶	۲۱/۰۳	۰/۱۹
باغات و اراضی آبی	۰/۰۹	۱/۷۱	۵۲۶/۱۵	۰/۹۷	۱۲/۸۶	۰/۹۴	۰
مناطق مسکونی	۰	۱/۵۵	۰/۱۵	۱۹/۲۳	۰/۳۲	۰/۹۹	۰/۰۱
مرتع	۰/۰۴	۴۱/۷۴	۵۳/۹۸	۰/۶۵	۷۱۳/۵۱	۱۲/۲۲	۰/۱۷
دیم	۰	۱۲/۹۵	۳/۷۲	۰/۶۲	۲۰/۹۴	۱۶۱/۰۱	۰
نمک حاشیه دریاچه	۰	۰	۰	۰	۰/۱۲	۰	۲/۹۱

جدول ۳. ماتریس احتمال انتقال پیش‌بینی شده برای ۲۰۲۲ با استفاده از طبقه‌بندی ۲۰۱۶-۲۰۲۰ بر حسب درصد

کاربری اراضی	پهنه آبی	خاک	باغات و اراضی آبی	مناطق مسکونی	مرتع	دیم	نمک حاشیه دریاچه
پهنه آبی	۹۴/۶۲	۴/۲	۰/۸	۰	۰/۳	۰	۰
خاک	۰/۰۲	۸۸/۲	۰	۰/۲	۸/۵	۳	۰
باغات و اراضی آبی	۰/۰۲	۰/۳	۹۷	۰/۲	۲/۴	۰/۲	۰
مناطق مسکونی	۰	۷	۰/۷	۸۶/۵	۱/۴	۴/۴	۰
مرتع	۰	۵/۱	۶/۶	۰/۱	۸۶/۸	۱/۵	۰
دیم	۰	۶/۵	۱/۹	۰/۳	۱۰/۵	۸۰/۸	۰
نمک حاشیه دریاچه	۰	۰	۰	۰	۳/۵	۰	۸۶/۱

انتقال، ابتدا از مدل مارکوف تصاویر طبقه‌بندی سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۲ استفاده شد. تا ماتریس مساحت انتقال ایجاد شده و به‌عنوان ورودی به مدل CA مارکوف برای پیش‌بینی سال ۲۰۲۸ معرفی شود. فاصله زمانی بین دو تصویر ۶ سال و فاصله زمانی برای پیش‌بینی در سال ۲۰۲۸، نیز ۶ سال در نظر گرفته شد. در پژوهش حاضر ماتریس مساحت انتقال ۲۰۲۲-۲۰۱۶، نقشه پایه ۲۰۲۲ و تعداد کل تکرارها به‌عنوان ورودی‌های مدل CA مارکوف بود. تعداد کل تکرارها بر اساس زمان تعیین شده برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی می‌باشد (۲۸). که در این مطالعه تعداد دوره‌ها ۶ سال انتخاب شد. ماتریس مساحت انتقال و ماتریس مساحت احتمال انتقال جدول ۴ و ۵ با استفاده از نقشه طبقه‌بندی سال ۲۰۱۶ و ۲۰۲۲ به‌دست آمد.

بر اساس نتایج حاصل از جدول ۴، $43/27 \text{ km}^2$ از کاربری دیم در سال ۲۰۱۶ در سال ۲۰۲۲ در همان کاربری دیم باقی خواهد ماند. همچنین، $5/39 \text{ km}^2$ از کاربری دیم به مناطق مسکونی، $64/02 \text{ km}^2$ به کاربری مرتع، $52/95 \text{ km}^2$ به کاربری خاک، $39/37 \text{ km}^2$ از کاربری دیم به باغات و اراضی آبی، $0/19 \text{ km}^2$ به پهنه آبی و $0/02 \text{ km}^2$ به نمک حاشیه دریاچه ارومیه در سال ۲۰۲۲ تبدیل خواهد شد.

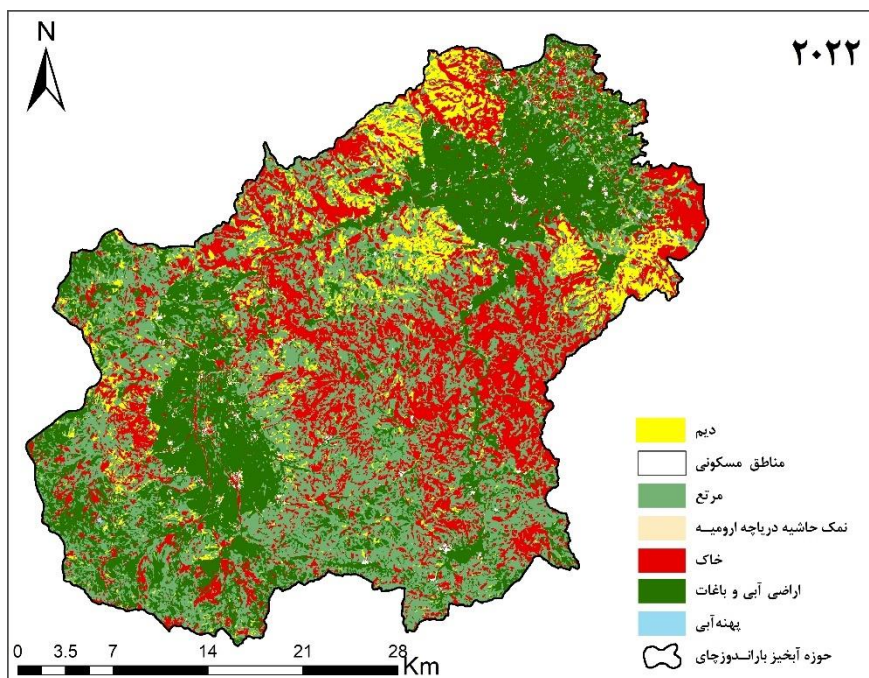
ماتریس احتمال انتقال، احتمال اینکه هر نوع کاربری اراضی در یک دوره زمانی معین در آینده مربوط به هر پیکسل در تصویر باشد را گزارش می‌دهد. براساس نتایج جدول ۵، $21/09\%$ از کاربری دیم در سال ۲۰۱۶ در همان کاربری دیم در سال ۲۰۲۸ باقی خواهد ماند. همچنین، $2/06\%$ ، $31/2\%$ ، $25/8\%$ ، $19/2\%$ و $0/1\%$ از کاربری پهنه آبی در سال ۲۰۱۶ به کاربری‌های مناطق مسکونی، مرتع، خاک، باغات و اراضی آبی و پهنه آبی تبدیل خواهد شد. در این ماتریس ردیف‌ها نشان‌دهنده سال شروع ۲۰۱۶ و ستون‌ها نشان‌دهنده سال پایان ۲۰۲۸ می‌باشد. خروجی مدل مارکوف ماتریس مساحت انتقال به‌عنوان یکی از ورودی‌های مدل CA مارکوف به مدل معرفی شد. علاوه بر ماتریس مساحت انتقال نقشه طبقه‌بندی کاربری اراضی ۲۰۲۲ به‌عنوان تصویر پایه، تعداد دوره ۶ سال به‌عنوان ورودی به مدل

و ۲۰۲۰ به‌دست آمد. ماتریس مساحت انتقال ۲۰۲۰-۲۰۱۶ به‌عنوان ورودی به مدل CA معرفی شد تا نقشه پیش‌بینی سال ۲۰۲۲ به‌دست آید.

براساس نتایج حاصل از جدول ۲، $11/81 \text{ km}^2$ از پهنه آبی در سال ۲۰۱۶ در سال ۲۰۲۰ در همان کاربری پهنه آبی باقی خواهد ماند. همچنین، $0/52 \text{ km}^2$ از پهنه آبی به کاربری خاک، $0/1 \text{ km}^2$ کاربری باغات و اراضی آبی، $0/04 \text{ km}^2$ به کاربری مرتع در سال ۲۰۲۰ تبدیل خواهد شد.

براساس نتایج حاصل از جدول ۳، $94/62\%$ از کاربری پهنه آبی در سال ۲۰۱۶ در همان کاربری پهنه آبی در سال ۲۰۲۲ باقی خواهد ماند. همچنین، $4/2\%$ کاربری خاک، $0/8\%$ باغات و اراضی آبی و $0/3\%$ مرتع، از کاربری پهنه آبی در سال ۲۰۱۶ تبدیل خواهد شد. در این ماتریس ستون‌ها نشان‌دهنده سال پایان ۲۰۲۲ و ردیف‌ها نشان‌دهنده سال شروع ۲۰۱۶ می‌باشد. خروجی مدل مارکوف ماتریس مساحت انتقال به‌عنوان یکی از ورودی‌های مدل CA مارکوف به مدل معرفی شد. علاوه بر ماتریس مساحت انتقال نقشه طبقه‌بندی کاربری اراضی ۲۰۱۶ به‌عنوان تصویر پایه و تعداد دوره چهار سال به‌عنوان ورودی به مدل تعریف شد و نقشه پیش‌بینی ۲۰۲۲ شکل ۶ تهیه شد.

پس از به دست آوردن نقشه‌های کاربری اراضی، انجام کنترل صحت و دقت آن‌ها، از مدل مارکوف و مدل CA مارکوف برای پیش‌بینی تغییرات استفاده شد. در سنجش دقت پیش‌بینی مدل CA مارکوف ضریب کاپا نشان‌دهنده میزان دقت پیش‌بینی مدل می‌باشد مقدار این ضریب بین صفر و ۱ می‌باشد که در پژوهش حاضر دقت $0/93$ به‌دست آمد. که هرچه قدر مقدار آن نزدیک به یک باشد نشان‌دهنده دقت بالای مدل می‌باشد. نتایج پژوهش حاضر با نتایج بیرساو و همکاران در مطالعه‌ای مدل‌سازی تغییر کاربری اراضی و پیش‌بینی تغییرات در منطقه ساحلی سو-شی-چانگ Su-Xi-Chang کشور چین، ضریب کاپا برابر با $0/91$ به‌دست آورد. که بیانگر دقت بالای مدل CA مارکوف در پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در آینده می‌باشد مطابقت دارد (۲۹). برای محاسبه ماتریس مساحت



شکل ۶. نقشه پیش‌بینی کاربری اراضی با استفاده از روش CA مارکوف سال ۲۰۲۲

جدول ۴. ماتریس مساحت انتقال یافته تغییر کاربری ۲۰۱۶-۲۰۲۲ با استفاده مدل زنجیره‌ای مارکوف بر حسب km²

کاربری اراضی	دیم	مناطق مسکونی	مرتع	نمک حاشیه دریاچه	خاک	باغات و اراضی آبی	پهنه آبی
دیم	۴۳/۲۷	۵/۳۹	۶۴/۰۲	۰/۰۲	۵۲/۹۵	۳۹/۳۷	۰/۱۹
مناطق مسکونی	۲/۳۴	۱۹/۶۴	۴/۳۷	۰	۱۲/۹۱	۲/۷۰	۰/۰۸
مرتع	۵۷/۵۲	۸/۰۷	۲۳۰/۵۲	۰/۳	۱۱۳/۳	۲۵۶/۴۶	۰/۹۲
نمک حاشیه دریاچه	۰	۰	۰/۱۳	۲/۲۲	۲/۹۶	۰/۰۱	۰/۰۳
خاک	۶۱/۴۰	۱۱/۳۵	۱۹۷/۹۱	۰/۰۱	۳۱۱/۶	۵۹/۳۹	۱/۸۰
باغات و اراضی آبی	۱۰/۳۲	۷/۲۸	۵۸	۰/۰۴	۲۰/۰۶	۶۲۷/۱۸	۱/۴۱
پهنه آبی	۰/۰۹	۰/۰۶	۰/۴۱	۱/۸۷	۱/۶۵	۰/۷۹	۶/۲۸

جدول ۵. ماتریس احتمال انتقال پیش‌بینی شده برای ۲۰۲۸ با استفاده از طبقه‌بندی ۲۰۱۶-۲۰۲۲ بر حسب درصد

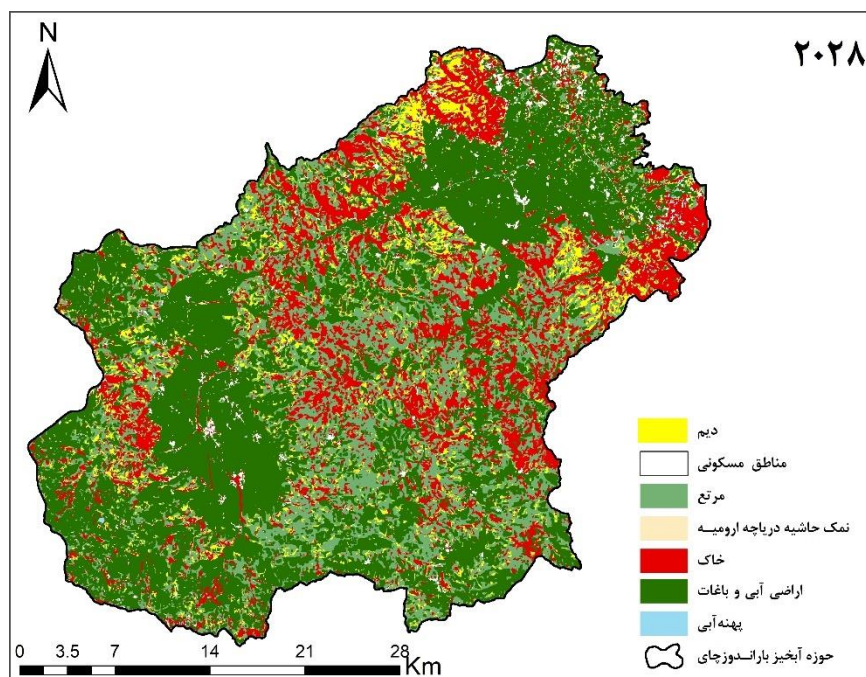
کاربری اراضی	دیم	مناطق مسکونی	مرتع	نمک حاشیه دریاچه	خاک	باغات و اراضی آبی	پهنه آبی
دیم	۲۱/۰۹	۲/۶	۳۱/۲	۰	۲۵/۸	۱۹/۲	۰/۱
مناطق مسکونی	۵/۵۷	۴۶/۷	۱۰/۴	۰	۳۰/۷	۶/۴	۰/۲
مرتع	۸/۶۲	۱/۲	۳۴/۶	۰	۱۷	۳۸/۴	۰/۱
نمک حاشیه دریاچه	۰	۰	۲/۴	۴۱/۵	۵۵/۴	۰/۲	۰/۶
خاک	۹/۵۴	۱/۸	۳۰/۸	۰	۴۸/۴	۹/۲	۰/۳
باغات و اراضی آبی	۱/۴۲	۱	۸	۰	۲/۸	۸۶/۶	۰/۲
پهنه آبی	۰/۷۱	۰/۵	۳/۴	۱۵/۴	۱۳/۶	۶/۵	۵۱/۷

دریاچه ارومیه مقدار افزایشی داشته است. و پیش‌بینی می‌شود در سال ۲۰۲۸ مساحت کاربری خاک و مرتع کاهشی، و مساحت کاربری مسکونی، باغات و اراضی آبی و نمک حاشیه دریاچه ارومیه افزایش یابد. در نهایت کاربری‌های باغات و اراضی آبی، مسکونی و نمک حاشیه دریاچه ارومیه با مساحت ۱۶/۲۴٪، ۷۴/۰٪ و ۰٪ کل مساحت در سال ۲۰۱۶ به ۴۶/۳۲٪، ۲/۲۲٪ و ۰/۰۲٪ کل مساحت در سال ۲۰۲۸ خواهد رسید. فتح‌اللهی‌رودباری و همکاران (۹) در تحقیقی به مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل‌ساز تغییر سرزمین در شهرستان نکا پرداختند. نتایج حاصل از مطالعه این پژوهشگران نشان داد که در طی سال‌های ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۶ اراضی جنگلی ۲۲۹۷ هکتار کاهش داشته و بیش‌ترین تغییرات مربوط به تبدیل اراضی جنگلی به کشاورزی بوده است. هم‌چنین نتایج مدل‌سازی نشان داد که تا سال ۲۰۳۰ مساحت جنگل کاهش می‌یابد و اراضی کشاورزی و مناطق شهری افزایش می‌یابند مطابقت دارد.

بر اساس نتایج افزایش مساحت کاربری‌های کشاورزی در حوزه آبخیز باراندوزچای بخصوص دو کاربری باغات و زمین‌های کشاورزی آبی، باعث افزایش مصرف منابع آب خواهد شد. با نتایج روشنگر و همکاران (۲۶) در تحقیق اثر روند کاربری اراضی بر میزان مصرف آب کشاورزی در حوضه دریاچه ارومیه در ۲۰ سال آتی با استفاده از زنجیره مارکوف پرداختند. از تصاویر ماهواره‌ای لندست در بازه زمانی سال ۲۰۰۰ الی ۲۰۲۰ استفاده کردند و تصاویر به کمک الگوریتم (Support Vector Machine, SVM) طبقه‌بندی شد. در ادامه آمارها و اطلاعات مربوط به تغییر الگوی کشت و منابع آب ورودی به دریاچه ارومیه محاسبه گردید. با استفاده از دو روش LCM و CA مارکوف شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی برای سال ۲۰۳۰ و ۲۰۴۰ انجام شد. نتایج حاصل نشان داد که مساحت کشاورزی آبی و باغ به ترتیب از ۱۴۵۰، ۳۹۵ km² در سال ۲۰۰۰ به بیش از ۳۶۰۰، ۱۶۵۰ km² در سال ۲۰۴۰ افزایش خواهد یافت و همین امر باعث افزایش میزان آب مورد نیاز

تعریف شد و نقشه پیش‌بینی ۲۰۲۸ تهیه شد. در تهیه نقشه پیش‌بینی سال ۲۰۲۸ از ماتریس احتمال انتقال و ماتریس مساحت انتقال به دست آمده سال‌های ۲۰۲۲-۲۰۱۶ استفاده شد. در بازه زمانی سال‌های ۲۰۲۲-۲۰۱۶ بیش‌ترین مساحت انتقال در کاربری‌های ذکر شده به ترتیب مربوط به خاک، باغات و اراضی آبی، دیم، مرتع، مسکونی، پهنه‌آبی و نمک حاشیه دریاچه ارومیه بود. ماتریس مساحت انتقال، میزان تغییر در تعداد پیکسل‌ها را از یک طبقه کاربری به طبقه دیگر در دوره مشخص را نشان می‌دهد. دلیل بالا بودن مساحت انتقال در کاربری مرتع و خاک را می‌توان افزایش اراضی آبی و باغات دانست. نتایج نشان می‌دهد که مساحت کاربری‌های کشاورزی آبی و باغات به سرعت افزایش پیدا کرده است به طوری که مساحت کاربری کشاورزی آبی از ۱۶/۲۴٪ کل مساحت حوضه در سال ۲۰۱۶ به بیش ۴۶/۳۲٪ در سال ۲۰۲۸ افزایش پیدا خواهد کرد. و هم‌چنین مساحت کاربری مرتع و خاک به ترتیب ۴۰/۴۵ و ۳۵/۴۶٪ کل مساحت حوضه در سال ۲۰۱۶ به ۲۵/۲۴٪ و ۱۹/۲۲٪ در سال ۲۰۲۸ کاهش پیدا خواهد کرد که با نتایج کنگابام و همکاران در ارزیابی تغییرات کاربری اراضی و پوشش گیاهی در دلتای نیل مصر طی ۲۸ سال، نشان دادند که گسترش مداوم مناطق کشاورزی و شهری باعث کاهش در پهنه‌آبی و مراتع شده است (۱۳). نقشه کاربری پیش‌بینی شده سال ۲۰۲۸ به روش CA مارکوف با ضریب کاپا ۰/۸۱ تهیه گردید. که در شکل ۷ آمده است.

آشکارسازی تغییرات برای درک تغییرات منطقه، گسترش و کاهش مساحت کلاس‌ها در سال‌های ۲۰۱۶، ۲۰۲۰، ۲۰۲۲ و ۲۰۲۸ به کیلومتر مربع و درصد هر کدام در جدول ۶ ارائه شده است. بر اساس نتایج حاصل از جدول ۶ بیش‌ترین تغییرات از کل مساحت منطقه، مربوط به کلاس اراضی باغات و اراضی آبی می‌باشد به گونه‌ای که مساحت این کلاس از ۲۲۱/۱۴ km² در سال ۲۰۱۶ به ۶۳۰/۶۵ km² در سال ۲۰۲۲ رسیده است به بیان دقیق‌تر مساحت کاربری خاک، دیم و مرتع مقدار کاهشی و کاربری مناطق مسکونی، باغات و اراضی آبی و نمک حاشیه



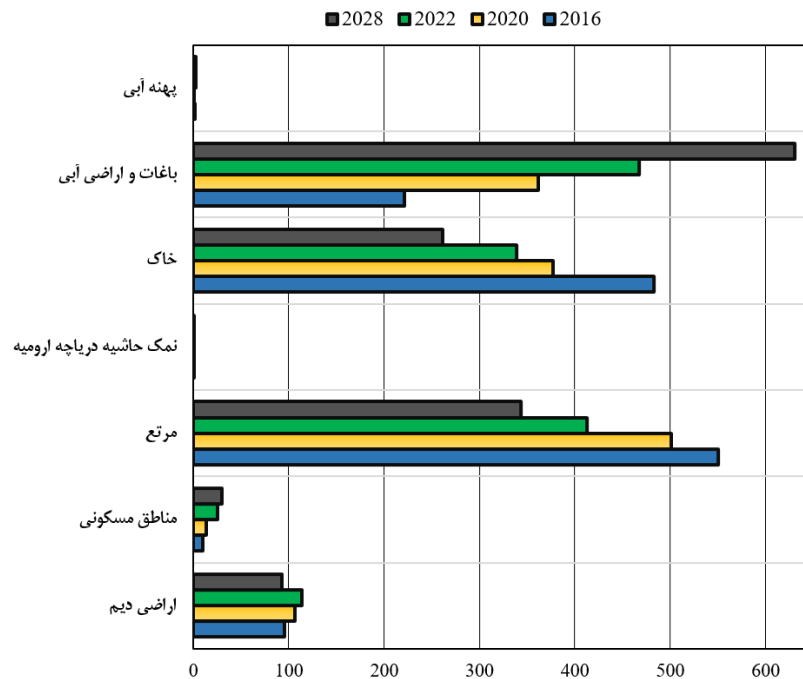
شکل ۷. نقشه پیش‌بینی کاربری اراضی با استفاده از روش CA مارکوف سال ۲۰۲۸

جدول ۶. مساحت کاربری اراضی به کیلومتر مربع و درصد

۲۰۲۸		۲۰۲۲		۲۰۲۰		۲۰۱۶		سال
درصد	کیلومتر مربع	درصد	کیلومتر مربع	درصد	کیلومتر مربع	درصد	کیلومتر مربع	کاربری اراضی
۶/۸۲	۹۲/۸۳	۸/۳۹	۱۱۴/۱۸	۷/۸	۱۰۶/۱۹	۷/۰۲	۹۵/۵۱	دیم
۲/۲۲	۳۰/۲۰	۱/۸۷	۲۵/۵۰	۱/۰۱	۱۳/۸۰	۰/۷۴	۱۰/۰۶	مناطق مسکونی
۲۵/۲۴	۳۴۳/۶۷	۳۰/۳۳	۴۱۲/۹۱	۳۶/۸۲	۵۰۱/۳۷	۴۰/۴۵	۵۵۰/۷۳	مرتع
۰/۰۲	۰/۲۸	۰	۰/۰۵	۰	۰/۰۷	۰	۰/۰۱	نمک حاشیه دریاچه ارومیه
۱۹/۲۲	۲۶۱/۷	۲۴/۸۸	۳۳۸/۷۴	۲۷/۶۹	۳۷۷/۰۹	۳۵/۴۶	۴۸۲/۷۴	خاک
۴۶/۳۲	۶۳۰/۶۵	۳۴/۳۳	۴۶۷/۴۸	۲۶/۵۸	۳۶۱/۹۶	۱۶/۲۴	۲۲۱/۱۴	باغات و اراضی آبی
۰/۱۶	۲/۱۳	۰/۲۰	۲/۷۰	۰/۰۸	۱/۰۹	۰/۱۰	۱/۳۵	پهنه آبی

مجاور منابع آبی و نیز در مجاور اراضی کشاورزی آبی موجود افزایش خواهد یافت. که دلیل آن را می‌توان در با توسعه زراعت آبی و استفاده از روش‌های آبیاری قطره‌ای و غیره توسط کشاورزان مرتبط دانست. علاوه بر این، دلیل افزایش مساحت باغات را می‌توان علاقه مردم به داشتن باغ شخصی و درآمد ناشی از محصولات باغی دانست. نتایج پژوهش حاضر با نتایج

جهت امور کشاورزی از ۱۵۰۰ میلیون مترمکعب در سال ۲۰۰۰ به بیش از ۴۱۰۰ میلیون مترمکعب در سال ۲۰۴۰ خواهد شد مطابقت دارد. دلیل بالا بودن احتمال انتقال کاربری اراضی آبی و باغات را می‌توان گرایش مردم به سمت ایجاد باغ و درآمدهای حاصل از باغداری در منطقه مورد مطالعه دانست. براساس پیش‌بینی مدل CA مارکوف سطح کشاورزی آبی و باغات در



شکل ۸. روند تغییرات کاربری اراضی به روش شیء‌گرا

می‌دهد، که با نتایج بیرهانو و همکاران، در تحقیق روی حوضه آبریز گومارا اتیوپی مشابهت دارد. آنها نشان دادند در مدت ۲۹ سال در اتیوپی مساحت مراتع کاهش یافته و در مقابل مساحت اراضی کشت شده افزایش یافته و این تغییرات باعث کاهش حجم آب‌های جاری حوضه آبریز شده است (۵).

نتیجه‌گیری

کاهش سطح تراز آبی دریاچه ارومیه و اثرات آن بر محیط پیرامون دریاچه از موضوعات و چالش‌های مهم بین‌المللی و ملی در دو دهه اخیر بوده است. براساس تحقیقات انجام شده، یکی از عوامل اصلی تأثیرگذار بر این روند، تغییرات کاربری اراضی، به ویژه در حوزه کشاورزی، بوده است. به همین دلیل، هدف این مطالعه بررسی وضعیت فعلی و پیش‌بینی وضعیت آینده کاربری اراضی در حوزه آبخیز باراندوزچای در استان آذربایجان غربی، یکی از زیرحوضه‌های مهم حوضه آبریز دریاچه ارومیه است. جهت تحلیل و تشخیص تغییرات کاربری اراضی حوزه آبخیز باراندوزچای بین سال ۲۰۱۶ و ۲۰۲۸، از تصاویر سال‌های ۲۰۱۶، ۲۰۲۰ و ۲۰۲۲ استفاده شد. برای

ابوراس و همکاران (۳)، اذعان کردند که ناحیه‌های کشاورزی در ۱۰ سال آینده تحت تاثیر نواحی شهری قرار خواهند گرفت، که این امر ناشی از توسعه اقتصادی خواهد بود. مطابقت دارد. همچنین نتایج پژوهش حاضر با نتایج رسولی و همکاران، در مطالعه‌ای شناسایی و ارزیابی تغییرات LU/LC با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Sentinel2 سال ۲۰۱۶ و ۲۰۲۱، با بکارگیری تکنیک‌های پیشرفته شیء‌گرا انجام گردید. در نهایت، برای پیش‌بینی انواع LU، یک مدل زنجیره مارکوف، خودکار سلولی CA استفاده شد. نتایج نشان داد تغییرات کاهشی در انواع LU، عمدتاً در جنگل‌ها و مراتع، و روند افزایشی چشمگیر در زمین‌های بایر و رها شده رخ می‌دهد. دقت کلی این مدل ۹۵٪ و ضریب کاپا نزدیک به ۹۴٪ بود که تایید کرد تغییرات قابل توجهی بر نقشه‌های LU منطقه مورد مطالعه وجود داشته است مطابق دارد (۲۵). روند تغییرات کاربری اراضی در شکل ۸ ارائه شده است.

بر اساس نتایج حاصل از روند تغییرات در پژوهش حاضر، بیش‌ترین تغییرات کاربری مربوط به تبدیل کاربری مرتع و خاک به کل اراضی آبی و باغات، دیم و مسکونی را نشان

رسوب‌زایی، سیل‌خیزی و اثرات اکولوژیک استفاده شوند. براساس نتایج، می‌توان با استفاده از راهبردها و اقدامات کاربردی، در راستای کنترل تغییر کاربری اراضی و حفظ اراضی طبیعی اقدام کرد. همچنین، لازم به ذکر است که تغییر کاربری اراضی به‌عنوان یک عامل موازنه مولفه‌های اکولوژی، هیدرولوژی و اقتصاد است و تغییرات آن می‌تواند در ارزیابی تأثیرات بر وضعیت اقتصادی و سبک زندگی مردم منطقه مورد استفاده قرار گیرد. یافته‌های حاصل از تحقیق جاری می‌تواند در برنامه‌ریزی محیطی آتی، به‌ویژه در توصیه‌های پایدار و بهره‌برداری اصولی از اراضی مورد استناد قرار بگیرد.

سپاسگزاری

بدین وسیله مولفان بر خود لازم می‌دانند که بابت فراهم شدن امکانات مورد نیاز برای اجرای این پژوهش در پژوهشکده دریاچه ارومیه، دانشگاه ارومیه تشکر و قدردانی نمایند.

اعتبارسنجی مدل، نقشه شبیه‌سازی شده برای سال ۲۰۲۲ با نقشه واقعی حاصل از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای همان سال مقایسه شد. ضریب کاپا استخراج شده نشان‌دهنده قابلیت بالای مدل CA مارکوف در شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی در حوزه آبخیز باراندوزچای است. پس از تولید نقشه‌های کاربری برای سال‌های ۲۰۱۶، ۲۰۲۰ و ۲۰۲۲ و دستیابی به دقت مورد نیاز برای نقشه پیش‌بینی سال ۲۰۲۲، با استفاده از مدل CA مارکوف، پیش‌بینی برای سال ۲۰۲۸ انجام شد. و نقشه تغییرات کاربری اراضی برای سال ۲۰۲۸ تهیه گردید ضریب کاپای ۰/۸۱ نشان می‌دهد که مدل CA مارکوف برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در این منطقه قابلیت بالایی دارد. در مجموع مدل‌های نهایی روش‌های دانش‌پایه، شیء‌گرا و مدل مارکوف در مطالعه تغییرات کاربری اراضی دقت بالا و کارایی مناسبی دارند. بر اساس این نتایج، در آینده افزایش اراضی آبی و باغات، مسکونی و نمک حاشیه دریاچه رخ خواهد داد. این نتایج می‌تواند برای پیش‌بینی تأثیرات تغییر کاربری اراضی بر

منابع مورد استفاده

- Ahmadi, F., F. Radmanesh and R. Mir abbasi najf abadi. 2016. Application of bayesian networks and genetic programming for predicting daily river flow (Case Study: Barandoozchay River). *Irrigation Sciences and Engineering* 39(4): 213-223. doi: 10.22055/jise.2016.12509. (In Persian)
- Abiyat, M., S. Attar Roshan and M. Abiyat. 2020. Evaluating and predicting vegetation changes pertaining to land use changes using LCM model and CA-Markov chain (Case Study: Ahvaz City). *Journal of Geography and Environmental Hazards* 9(3): 183-204. (In Persian).
- Aburas, M. M., S. H. Abdullah, M. F. Ramli, Z. H. Ash'aari and M. S. S. Ahamad. 2018. Simulating and monitoring future land-use trends using CA-Markov and LCM models. *In IOP conference series: Earth and environmental science* 169: 10-1.
- Armenteras, D., U. Murcia. T. M. González, O. J. Barón and J. E. Arias. 2019. Scenarios of land use and land cover change for NW Amazonia: Impact on forest intactness. *Global Ecology and Conservation* 17: 1-13.
- Birhanu, A., I. Masih. P. van der Zaag, J. Nyssen. And X. Cai. 2019. Impacts of land use and land cover changes on hydrology of the Gumara catchment. Ethiopia, 4th International Conference on Ecohydrology. *Soil and Climate Change* 109: 1-78.
- Blaschke, T. 2010. Object based image analysis for remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 65(1): 2-16.
- Donnay, J. P., P. A. Longley and M. J. Barnsley. 2001. Remote sensing and urban analysis: a research agenda. First published 2001 by Taylor and Francis, London.
- Ebrahimi, H., A. A. Rasouli. and A. Ahmad. 2018. Modeling changes in land use dynamics using object-oriented processing of satellite images and CA-Markov model, a case study: Shiraz city. *Geographical Information Scientific-Research Quarterly (Sephehr)* 108(27): 137-149. (In Persian).
- Fatollahi. R. S., M. Khanmohamadi and K. Nasir Ahmadi. 2018. Modelling of land use changes with using of LCM model: Case study, Neka Township. *Natural Ecosystems in Iran* 9(1): 53-69. (In Persian).
- Ghafari, S., H. R., Moradi and R., Modarres. 2018. Comparison of object-oriented and pixel-based classification methods for land use mapping (Case study: Isfahan-Borkhar, Najafabad and Chadegan plains). *Journal of RS and*

- GIS for Natural Resources* 9(1): 40-57. (In Persian).
11. Hamad, R., H. Balzter. and K. Kolo. 2018. Predicting land use/land cover changes using a Ca-Markov model under two different scenarios. *Sustainability* 10(10): 3421.
 12. Joybari Moghadam, Y. M. Akhundzadeh and M. R. Serajian. 2014. Estimation of snow cover level using Landsat-8 satellite images, First International Conference on Environmental Engineering, Tehran, Iran. pp. 1- 7. (In Persian)
 13. Kangabam, R.D., M. Selvaraj. and M. Govindaraju. 2019. Assessment of land use land cover changes in Loktak Lake in Indo-Burma Biodiversity Hotspot using geospatial techniques. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science* 22 (2): 137-143.
 14. Karimi Firozjaei, M., M. Kiavarz and M. Kalantari. 2018, Monitoring and prediction of land use changes and physical expansion of Babol city during 1985-2040 using multi-temporal Landsat imagery, *Physical Development Planning* 3(7): 32-52.
 15. Khaleghi, Sh., M. Mahdavi and B. Thaqfian. 2005. Investigating the effect of land use change on flooding using the NRCS model, a case study in Barandozchai basin in West Azerbaijan. *Journal of Natural Resources of Iran* 58(4): 733-742.
 16. Kumar, K. S., P. U. Bhaskar and K. Padmakumari. 2015. Application of land change modeler for prediction of future land use land cover: a case study of Vijayawada City. *International Journal of Advanced Technology in Engineering and Science* 3(01): 773-783.
 17. Meysaq, N., N. Nissani Samani and A. Tomanian. 2018. Tabriz urban growth simulation using CA-Markov model and multi-criteria decision making. *Human Geography Research* 50(1):217-231. (In Persian).
 18. Mirakhorlo, M., S. and M. Rahimzadegan. 2018. Integration of simweight and markov chain to predict land use of lavasanat basin. *Numerical Methods in Civil Engineering* 2(4): 1-9.
 19. Moe, I. R., S. Kure. N. F. Januriyadi. M. Farid. K. Udo. S. Kazama and S. Koshimura. 2017. Future projection of flood inundation considering land-use changes and land subsidence in Jakarta, Indonesia. *Hydrological Research Letters* 11(2): 99-105.
 20. Moharrami, M., and A. Derafshi. 2015. Signifying of the urmia lake changes using objected-oriented image processing techniques. *Journal of Applied Hydrology* 2(2): 13-23.
 21. Mujiono, T. L., D. Harmantyo. I. P. Rukmana and Z. Nadia. 2017. Simulation of land use change and effect on potential deforestation using Markov Chain-Cellular Automata. *In AIP Conference Proceedings* 1862(1): 1-9.
 22. Munthali, M., J. Botai. N. Davis and A. M., Abiodun. 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.
 23. Rasouli, A. A. 2008. Fundamentals of Applied Remote Sensing with Emphasis on Satellite Image Processing, Publications of Tabriz University. Tabriz, Iran. (In Persian)
 24. Rasouli, A. A., M. M. Asgarova and S. H. Safarov. 2021. Mapping of LC/LU changes inside the Aghdam district of the Karabakh economics region applying object-based satellite image analysis. *Journal of Life Sciences & Biomedicine* 3(76): 54-69.
 25. Rasouli, A.A., S. H. Safarov. M. Asgarova. E. S. Safarov and M. Milani. 2021. Detection and mapping of green-cover and landuse changes by advanced satellite image processing techniques; A case study: Azerbaijan eastern zangezur economic region. *Azerbaijan amea-nın biologiya tibb elmləri bolməsi journal, Zangezur, Azerbaijan*, pp 1-19.
 26. Roushangar, K., M. T., Aalami and H. Golmohammadi. 2022. Effect of land use trends on the amount of agricultural water consumption in urmia lake watershed in the next 20 years using markov chain. *Journal of Water and Soil Resources Conservation* 12(2):115-131.
 27. Samie, A., X. Deng, S. Jia and D. Chen. 2017. Scenario-based simulation on dynamics of land-use-land-cover change in Punjab Province, *Pakistan. Sustainability* 9(8): 1-17.
 28. Sarabuddin Mondal, M., N. Sharma. M. Kappas and P. Garg. 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.
 29. Yirsaw, E. Wu. W., X. Shi. H. Temesgeh and B. Bekele. 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 (7): 1204.

Assessing and Predicting Land Use Changes Using Object-Oriented Processing and Markov Chain Methods (Case Study: Barandozchai Watershed, West Azerbaijan).

T. Irani¹, H. Abghari^{2*} and A. A. Rasouli³

(Received: July 10-2023; Accepted: November 19-2023)

Abstract

One of the main factors in understanding environmental changes on different spatio-temporal scales is examining the prediction of land use changes. This research aimed to investigate the current and predict future land use changes in the Baranduzchai watershed in West Azerbaijan. The Sentinel-2 images were received for 2016, 2020, and 2022, and pre-processing methods were applied to the images, and all processed images were exported to the eCognition software. Based on the object-oriented algorithms, the nearest neighborhood classification was applied, and by operating the CA-Markov method, the land use changes were simulated for 2028. Finally, the accuracy of the final map was validated. The results indicated that it is possible to produce land use maps with a high accuracy (Kappa coefficient 93%) using the nearest neighborhood approach, and the Markov model produced the map of land use changes with an acceptable accuracy (81%). Until 2028, agricultural lands will increase by 30.08%, residential areas by 1.48%, and salt lake areas by 0.02%. Soil class will decrease by 16.24% and pastures by 15.21%. The results of this research can help to evaluate past actions and find solutions to formulate strategies for land management in the Barandozchai watershed.

Keywords: Sentinel2 images, Segmentation, Knowledge-Based, Validation, Predicting future land use

-
1. PhD student in watershed management, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Iran.
 2. Assoc. Prof., Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Iran.
 3. Professor, Department of Environmental Sciences, Macquarie University, Sydney, Australia.
- *: Corresponding Author, Email: h.abghari@urmia.ac.ir