بوم‌شناسی کاربردی/ سال دوازدهم / شماره اول / بهار ۱۴۰۲/ صفحات ۴۳ تا ۵۶

ارزیابی و پیش‌بینی روند تغییرات کاربری و پوشش اراضی با استفاده از ابزار مدلساز تغییر سرزمین

سید محمدرضا ابوالمعالی[۱]، مصطفی ترکش اصفهانی[۱*]، سید علیرضا موسوی[۱]، حمیدرضا کریم زاده[۱]، سعید پورمنافی[۲] و سیما فاخران[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۲۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۱۶)

چکیده

به منظور تصمیم‌گیری برای برنامه‌ریزی منطقه‌ای و دست‌یابی به توسعه پایدار، کمّی‌سازی تغییرات کاربری و پوشش اراضی ضروری است. در پژوهش حاضر، نقشه کاربری و پوشش اراضی حوضه آبخیز سد زاینده رود، برای سال‌های ۱۹۹۱ و ۲۰۲۱ با کمک تصاویر ماهوارهای لندست تهیه و تغییرات رخ داده در این بازه زمانی آشکارسازی شد. سپس با استفاده از ابزار مدلساز تغییر سرزمین، کاربری و پوشش اراضی و تغییرات آن در آینده برای سال ۲۰۵۱ مدلسازی و پیش‌بینی شد. نتایج نشان داد که در بازه زمانی سال های ۱۹۹۱ تا ۲۰۲۱، سطح مراتع فقیر با ۵۱۸۷۱ هکتار تغییر، بیشترین روند روبه کاهش را به خود اختصاص داده است و اراضی کشاورزی با ۷۱۴۷۸ هکتار تغییر، بیشترین روند افزایشی را داشته است. بیشترین کاهش احتمالی در بازه زمانی ۲۰۲۱ تا ۲۰۵۱ مربوط به مراتع متوسط با ۶۶۱۹۲ هکتار بوده و طبقه کشاورزی با ۷۰۳۲۸ هکتار تغییر در وسعت، بیشترین روند افزایشی احتمالی را خواهد داشت. یافته‌های پژوهش حاضر برای سیاست‌گذاران، تصمیم‌گیران و برنامه‌ریزان مفید خواهد بود؛ بطوریکه آنان می توانند برای برنامه‌ریزی مکانی در منطقه به‌منظور روندیابی تغییرات کاربری و پوشش اراضی در راستای توسعه پایدار زیست محیطی استفاده کنند.

واژه‌های کلیدی: تغییر کاربری و پوشش اراضی، شبکه عصبی مصنوعی، سنجش از دور، مدلساز تغییر سرزمین، حوضه آبخیز سد زاینده رود

۱. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

۲. گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: m_tarkesh@iut.ac.ir

مقدمه

تغییرات در پوشش گیاهی و کاربری اراضی از مخاطرات محیط زیستی و بحران‌های اکولوژیکی است که امروزه جهان با آن روبرو است. کاربری اراضی نحوه استفاده از زمین برحسب نیازهای انسانی است که این استفاده، ممکن است منطبق بر استعداد اراضی و به شیوه‌های علمی بوده یا به روش سنتی و اغلب تخریب کننده اراضی باشد و ممکن است ساختارها و عملکردهای موجود در محیط طبیعی را تغییر دهد (۱۷). مدل‌سازی تغییرات کاربری و پوشش زمین چشم‌انداز موثری برای برنامه‌ریزی کاربردی در واحدهای سرزمین مانند حوضه‌های آبخیز ایجاد و آن را به ابزاری مؤثر برای تجزیه و تحلیل و پایش پویایی چشم‌انداز آینده تحت سناریوهای محتمل تبدیل می‌کند (۲۲).

تأثیرات تغییر کاربری و پوشش اراضی ناشی از توسعه مناطق شهری و افزایش زمین‌های زیر کشت، پایداری اکوسیستم را مختل می‌کند رشد جمعیت و توسعه کشاورزی و صنعتی، عامل محرک تغییرات در کاربری و پوشش‌های مختلف زمین است. تغییرات کاربری و پوشش اراضی باعث تخریب محیط زیست می‌شود، شدت این تحولات در پاسخ به رشد جمعیت و توسعه مناطق انسان ساخت و همچنین پیامدهای آن بر محیط زیست، ضرورت انجام مطالعات دقیق درباره چنین موضوعاتی را دوچندان می‌کند. تجزیه و تحلیل پویایی تغییرات کاربری و پوشش اراضی در دراز مدت برای درک تغییرات اکوسیستم مهم است که به دستیابی به اهداف توسعه پایدار کمک می‌کند (۱۸ و ۲۲). بنابراین به منظور تصمیمات منطقی، برنامه‌ریزی منطقه‌ای و تحقق توسعه پایدار می‌توان از مدل‌های پیش‌بینی الگوهای کاربری و پوشش اراضی براساس اطلاعات گذشته برای ساخت سناریوهای آینده تغییرات کاربری و پوشش سرزمین استفاده کرد.

در سال‌های اخیر مطالعاتی در خصوص پیش‌بینی و مدل‌سازی تغییرات کاربری و پوشش سرزمین در ایران صورت گرفته که در این میان می‌توان به مطالعه نصیری و همکاران (۱۸) اشاره کرد که در آن از پرسپترون چندلایه شبکه عصبی مصنوعی و زنجیره مارکوف برای مدل‌سازی تغییرات کاربری و پوشش اراضی به صورت هم زمان، در ناحیه ارسباران استفاده شده است. آرخی (۴) در سال ۱۳۹۳ با هدف پیش بینی تغییرات کاربری منطقه سرابله استان ایلام برای سال۱۴۰۰، با استفاده از رویکرد پرسپترون (Perceptron) چند لایه شبکه عصبی مصنوعی و مدلساز تغییر سرزمین (Land Change Modeler, LCM) پژوهشی انجام داد. ویاستفاده از رویکرد پرسپترون چندلایه شبکه عصبی مصنوعی در پیش بینی تغییرات و یکپارچه سازی آنها را کارآمد ترین روش بررسی کاربری و پوشش اراضی معرفی نمود. نتایج مدلسازی نیروی انتقال با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی در اکثر زیر مدل‌ها صحت بالایی را (۶۰ تا ۸۶ درصد) نشان داد و همچنین، نتایج پیش-بینی نشان داد که مساحت اراضی جنگلی در سال ۱۴۰۰ در مقایسه با ۱۳۹۰ کاهش و اراضی بایر افزایش خواهند یافت. آناند و همکاران (۲) در سال ۲۰۱۸ از مدلساز تغییر سرزمین (LCM) برای مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری و پوشش اراضی حوضه آبخیز گانگا در کشور چین در سال‌های ۲۰۳۰، ۲۰۶۰ و ۲۰۹۰ استفاده کردند. برای این منظور از تصاویر ماهواره لندست در سال‌های ۱۹۸۵، ۱۹۹۵ و ۲۰۰۵ استفاده گردید و از شبکه عصبی مصنوعی برای تولید نقشه های پتانسیل انتقال استفاده شد. به منظور صحت سنجی مدل، از نقشه واقعیت زمینی سال ۲۰۰۵ و نقشه پیش‌بینی شده همان سال استفاده شد. نتایج نشان داد مدل LCM در پیش بینی تغییرات کاربری و پوشش اراضی کارایی بالایی دارد. وانگ و همکاران (۲۳) با استفاده از مدل زنجیره مارکوف و مدلساز تغییر سرزمین برای ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات کاربری و پوشش اراضی شهر تیانجین در کشور چین در سال های ۱۹۹۵، ۲۰۱۵، ۲۰۲۵ و ۲۰۳۵ استفاده کردند. نتایج نشان داد که تجزیه و تحلیل نقشه‌های پیش‌بینی شده کاربری و پوشش اراضی به درک فرآیند توسعه در منطقه تیانجین کمک می کند، برنامه‌ریزی برای آینده را تسهیل و پیامدهای منفی بالقوه ناشی

از تغییرات کاربری و پوشش اراضی در آینده را محدود می‌کند.

محققان در سراسر جهان روش‌های مختلفی را به منظور پیش‌بینی الگوی تغییرات کاربری و پوشش اراضی استفاده کردند. بعضی از مدل‌های پیش‌بینی برای پیش‌بینی تغییرات کاربری و پوشش اراضی استفاده شده است (۳، ۴، ۵، ۶، ۱۰ و ۱۱). در سال‌های اخیر، نقطه مشترک مطالعات انجام شده، استفاده از مدلساز تغییر سرزمین به منظور پیش‌بینی تغییرات کاربری و پوشش اراضی است. نتایج در این مطالعات نشان داد که پیش‌بینی کاربری و پوشش آینده با کمک تکنیک‌های سنجش از دور و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، می‌تواند با صحت بالا، نتایج مطلوبی را در کوتاهترین زمان ارائه دهد (۸).

مدلساز تغییر سرزمین (LCM) الگوریتمی برای آشکارسازی و پایش تغییرات سرزمین ارائه می‌کند. این ابزار به صورت پیش فرض درون سامانه نرم افزاری IDRISI-TerrSet وجود دارد. از مزایای این مدل می‌توان به: سادگی، خروجی های متنوع و کاربردی، اجرای آسان در محیط ویندوز و مدلسازی پتانسیل انتقال با سه روش رگرسیون لجستیک، یادگیری بر مبنای نمونه وزنی مشابهت و شبکه عصبی مصنوعی اشاره کرد (۲۴). روش شبکه عصبی مصنوعی به صورت پیش فرض بوده که در واقع کامل‌ترین ابزار توسعه یافته در این زمینه است (۸).

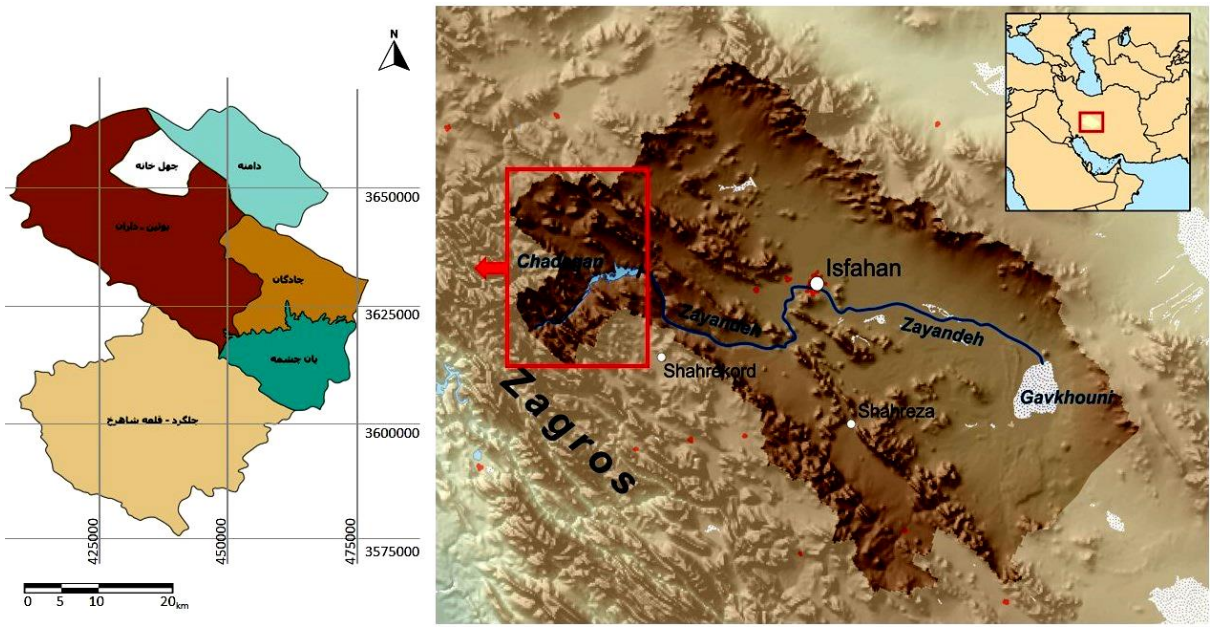
برای برنامه‌ریزی منطقه‌ای و دست‌یابی به توسعه پایدار، کمّی‌سازی تغییرات کاربری و پوشش اراضی لازم است (۲۰). این پژوهش با هدف ارزیابی کاربری و پوشش اراضی در گذشته (سال ۱۹۹۱)، حال حاضر (سال ۲۰۲۱) و پیش بینی کاربری و پوشش اراضی در آینده (سال ۲۰۵۱)، در حوضه آبخیز سد زاینده رود با استفاده از مدلساز تغییر سرزمین (LCM) انجام شده است. حوضه آبخیز سد زاینده رود در حال حاضر با مشکلاتی مانند تخریب جنگل‌های زاگرس و مراتع با ارزش، کمبود منابع آب و رشد جمعیت رو به رو است؛ بنابراین بررسی تغییرات کاربری و پوشش زمین برای منطقه مورد مطالعه ضروری است.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در حوضه آبخیز سد زاینده‌رود، در غرب استان اصفهان با وسعت ۴۱۳۰۰۰ هکتار انجام شد. این زیرحوضه شامل ۵ واحد مطالعاتی، دامنه، چهل خانه، بوئین–داران، چادگان، یان چشمه و چلگرد–قلعه شاهرخ می‌باشد. حداقل ارتفاع منطقه ۱۹۰۰ متر و حداکثر آن ۳۹۶۰ متر از سطح دریا می‌باشد. اقلیم منطقه نیمه سرد و مدیترانه‌ای، و میانگین بلند مدت دما از ۹ درجه سانتی‌گراد در منطقه کوهرنگ تا ۱۲ درجه سانتی‌گراد در منطقه چادگان در نوسان است. آمار بارندگی به طور متوسط از ۳۲۴ میلی‌متر در شهرستان چادگان تا حدود ۱۴۰۰ میلی‌متر در کوهرنگ متفاوت است. این منطقه به دلیل داشتن بیشترین میزان بارش، منبع آب حوضه آبخیز گاوخونی محسوب می شود. به دلیل اقلیم و خاک مناسب، منطقه توان بالایی برای مرتعداری دارد و گونه های با ارزش علوفه‌ای، غذایی و حفاظتی مانند بلوط ایرانی *Quercus brantii*، کرفس کوهی *Kelussia odoratissima*، گون مرتعی *Astragalus cyclophyllon* ، ریواس *Rheum ribes* در این منطقه رشد می‌کند. از طرفی چرای شدید و تغییر کاربری مراتع به اراضی کشاورزی آبی و دیم و همچنین گسترش مناطق مسکونی، باعث ایجاد روندهای نزولی در وسعت و وضعیت مراتع شده است. موقعیت منطقه مورد مطالعه در حوضه آبخیز گاوخونی و ایران در شکل ۱ نشان داده شده است.

تهیه نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی

برای بررسی تغییرات کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه از لایه‌های مکانی کاربری در دو دوره زمانی سال های ۱۹۹۱ و ۲۰۲۱ به عنوان مبنای مطالعه استفاده شد که برای تهیه آن ها به ترتیب از تصاویر سنجنده (Thematic Mapper, TM) ماهواره لندست ۵ سال ۱۹۹۱ و تصویر سنجنده (Operational Land Imager , OLI) ماهواره لندست ۸ سال ۲۰۲۱ استفاده شد.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در حوضه آبخیز گاوخونی

این تصاویر دارای اندازه پیکسل ۳۰ متر هستند. برای بهبود دقت در تفسیر، تصاویر عمدتا براساس داده‌های ماهواره لندست از ماه مه تا ژوئن (برای تفکیک بهتر کاربری کشاورزی با سایر طبقات) انتخاب شده‌اند و پدیده ابر در تصاویر کمتر از ۱۰ ٪ است. با انجام پیش پردازش‌های اولیه (تصحیح اتمسفری و هندسی)، طبقه‌بندی و تعیین صحت طبقه‌بندی آن‌ها، نقشه کاربری‌ها برای سال‌های هدف تهیه گردید. طبقه‌بندی تصاویر می‌تواند به شکل نظارت شده (مانند روش های حداکثر احتمال و کمترین فاصله) و یا نظارت نشده (مانند روش های Iso data , K-means) انجام بگیرد که در این مطالعه از روش نظارت شده و الگوریتم حداکثر احتمال استفاده شد (۷ و ۱۳). مهم‌ترین کار در این مرحله مشخص نمودن نواحی تحت عنوان مناطق تعلیمی بوده که مکان دقیق طبقات کاربری‌های مورد نظر را بر روی زمین مشخص می‌کنند. روش‌های مختلفی برای شناسایی این نواحی وجود دارد که متداول‌ترین آن‌ها بازدید میدانی و مشخص کردن پلی‌گون طبقات کاربری و پوشش اراضی از روی نقشه یا عکس هوایی می‌باشد. در این مطالعه از نقاط تعلیمی ثبت شده در بازدیدهای صحرایی در فصل بهار و تابستان سال ۱۴۰۰ استفاده شد (شکل ۲). برای برداشت نقاط تعلیمی با استفاده از دستگاه GPSو پیمایش صحرایی در تمام کاربری/پوشش‌های اراضی که حداقل وسعتی معادل ۱ هکتار داشت، استفاده شد (۵ و ۷).

برای طبقه‌بندی مراتع به سه طبقه وضعیت خوب، متوسط و فقیر از آستانه شاخص پوشش گیاهی NDVI استفاده شد. آستانه‌های تفکیک طبقات وضعیت مرتع به وسیله مرور منابع تعیین شد. جعفری و همکاران (۱۲) با استفاده از NDVI تولید شده از تصاویر مودیس در استان اصفهان، و فرامرزی و همکاران (۹) با استفاده از NDVI تولید شده از تصاویر لندست در استان ایلام، وضعیت مراتع خشک و نیمه خشک را تعیین نمودند. با توجه به منطقه مورد مطالعه و منابع موجود، آستانه طبقه‌بندی مراتع برای وضعیت خوب (>۰/۱۷)، متوسط (۰/۱۲–۰/۰) و فقیر (۰/۱۲–۰/۰) در نظر گرفته شد (۱۲)

به منظور تعیین دقت و صحت نقشه‌های کاربری/پوشش اراضی (سال ۲۰۲۱)، با انجام عملیات میدانی به محل هر کاربری (به صورت تصادفی) مراجعه و واقعیت زمینی مشخص شد. در فرآیند صحت سنجی، از ۶۰ نقطه تعلیمی برای هر کاربری و پوشش اراضی و مجموعا ۴۲۰ نقطه تعلیمی استفاده شد. با توجه به در دسترس نبودن اطلاعات کافی از وضعیت گذشته منطقه، برای ارزیابی دقت نقشه‌های تولید شده (سال

۱۹۹۱) از عکس‌های هوایی، نقشه توپوگرافی و اطلاعات افراد بومی منطقه استفاده شد (۱۴ و ۱۹). در تحقیق حاضر از نقشه توپوگرافی مربوط به سال ۱۳۷۶، و عکس‌های هوایی مربوط به سال ۱۳۷۲، تهیه شده توسط سازمان نقشه‌برداری کشور، استفاده شد. بعد از معرفی نقاط تعلیمی به نرم افزار IDRISI، ماتریس خطا تهیه شد و صحت کاربر، صحت تولید کننده، خطاهای Commission و Omission، صحت کلی طبقه‌بندی و ضریب کاپا محاسبه گردید

بررسی تغییرات با استفاده از مدلساز تغییر سرزمین

مطابق فلوچارت پژوهش (شکل ۳) پس از تهیه لایه های کاربری و پوشش اراضی مربوط دو زمان گذشته (۱۹۹۱) و حال حاضر (۲۰۲۱) ، پیش‌بینی توزیع مکانی طبقات آنها در سال ۲۰۵۱ انجام گرفت. بدین منظور از نرم‌افزار IDRISI-TerrSet و دستور Land Change Modeler استفاده شد. در این حالت با استفاده از مدل‌سازی تغییر کاربری و پوشش سرزمین می‌توان اطلاعات و داده‌های مربوط به پوشش گذشته زمین را برای ارزیابی، مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات پوشش آینده مورد آنالیز قرار داد که شامل چهار مرحله زیر است (۸).

۱–تجزیه و تحلیل و آشکارسازی تغییرات ۲–مدلسازی پتانسیل انتقال ۳–پیش‌بینی و مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی ۴–ارزیابی صحت مدل‌سازی

در مرحله اول، تغییرات کمی رخ داده در هر طبقه کاربری در فاصله زمانی در نظر گرفته شده مشخص شد. مرحله دوم؛ پتانسیل انتقال تمایل هر یک از سلول های تصویر برای دریافت تغییر از یک نوع کاربری به کاربری دیگر مشخص گردید. تغییر از هر کاربری به کاربری دیگر در قالب زیرمدل‌هایی تحت عنوان زیرمدل‌های انتقال، برآورد شدند. فرآیند انتخاب زیرمدل ها بر اساس چیرگی تغییرات اتفاق افتاده در منطقه است. زیرمدل‌ها برای مدلسازی نیروی انتقال با استفاده از پرسپترون چند لایه شبکه عصبی مصنوعی تعیین شدند. در تحقیق حاضر، از متغیرهای ارتفاع، شیب، فاصله از منابع آب، فاصله از مناطق انسان ساخت و فاصله از اراضی کشاورزی به عنوان متغیرهای کمکی استفاده شدند. متغیرهای کمکی قابلیت شناسایی و توصیف تغییرات اتفاق افتاده در منطقه را دارند. انتخاب متغیرهای کمکی با توجه به مرور منابع و ضریب همبستگی کرامر تعیین شد. ضریب همبستگی کرامر، میزان اثرگذاری متغیرهای کمکی بر پیکسل‌هایی که در آن‌ها تغییرات کاربری رخ داده است را نمایش می‌دهد (۷).

در مرحله سوم، از زنجیره مارکوف برای پیش‌بینی و مدل‌سازی تغییرات کاربری و پوشش اراضی استفاده شد. در مدل مارکوف حالت سیستم در زمان دوم (t_2) می‌تواند بر اساس حالت سیستم در زمان اول (t_1) پیش بینی شود و ماتریس احتمالات انتقال به منظور پیش بینی تغییر کاربری و پوشش زمین محاسبه شود (۷ و ۲۲).

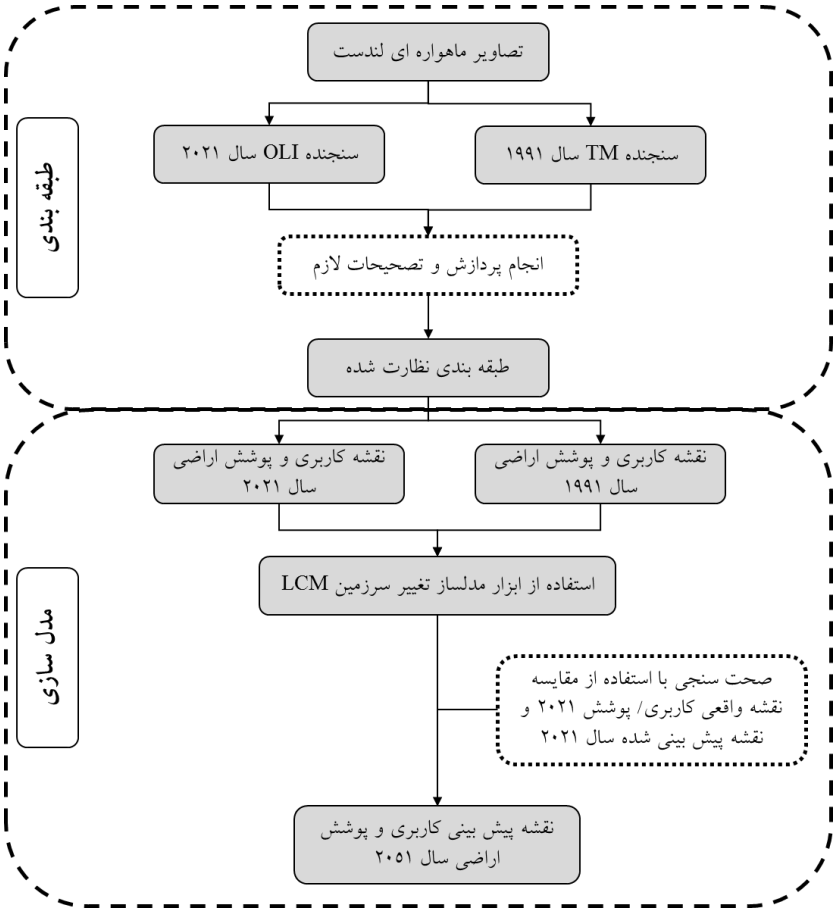
در مرحله چهارم، برای تعیین صحت مدل پیش‌بینی کاربری اراضی، ابتدا با استفاده از نقشه کاربری اراضی سال های ۱۹۹۱ و ۲۰۰۶ به پیش بینی گسترش کاربری‌ها در سال ۲۰۲۱ اقدام شد. سپس نقشه پیش بینی شده کاربری در سال ۲۰۲۱ با استفاده از روش ماتریس خطا، صحت‌سنجی گردید. در صورتی که مقدار ضریب محاسبه شده کاپا از ۰/۸ بالاتر باشد، نقشه کاربری پیش‌بینی شده از صحت کافی برخوردار می‌باشد.

نتایج

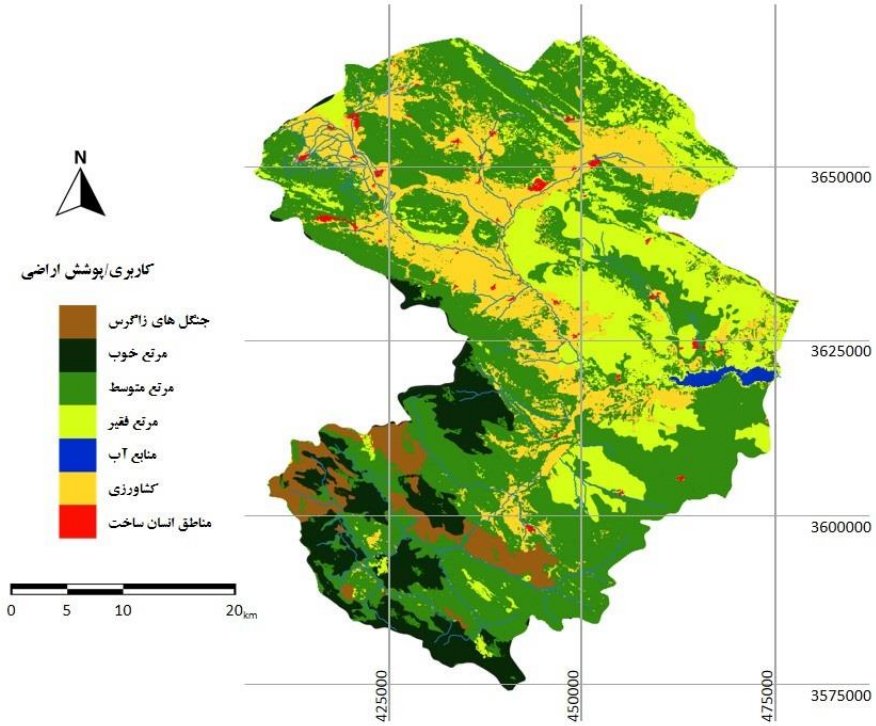
آشکارسازی تغییرات

مقایسه نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی مربوط به سال‌های ۱۹۹۱ و ۲۰۲۱ (شکل ۴ و ۵) و بررسی تغییرات در بازه زمانی ۳۰ ساله نشان می‌دهد مراتع متوسط بیشترین مساحت منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده‌اند درحالیکه با گذشت زمان از وسعت آنها کاسته شده و بر وسعت سایر کاربری‌ها، مخصوصا کشاورزی، افزوده شده است. در سال ۲۰۲۱ اراضی کشاورزی بیشتر از ۳۰ درصد منطقه را به خود اختصاص داده‌اند. جدول ۱ و شکل ۶ مساحت طبقات مختلف کاربری و

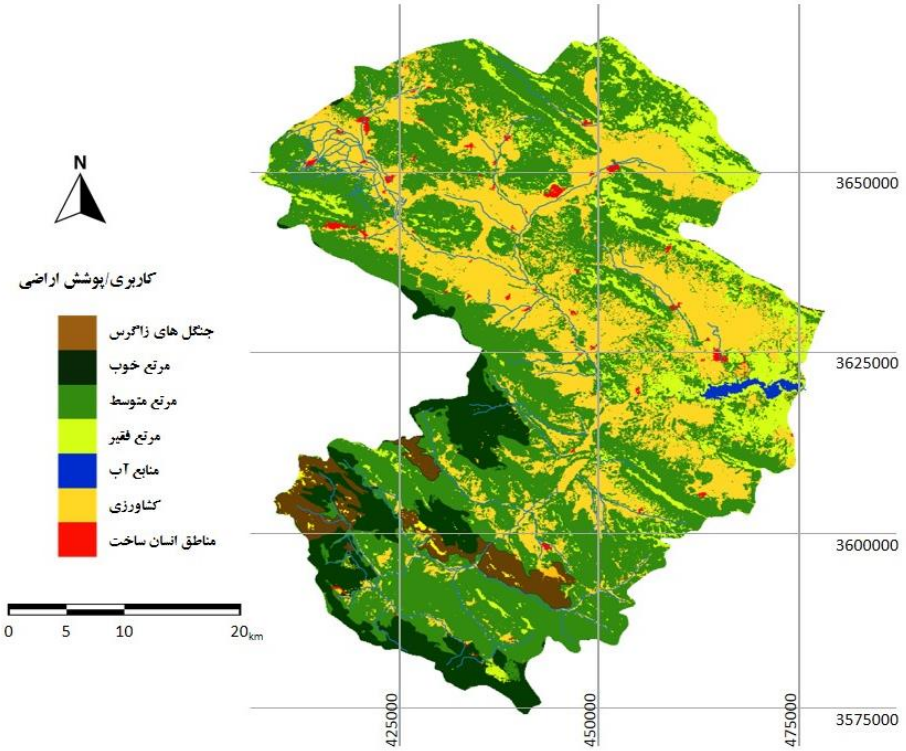
شکل ۲. انواع کاربری و پوشش اراضی در منطقه مورد مطالعه – الف: مرتع متوسط-چهل خانه ۱۴۰۰/۳/۳۰
ب: مرتع خوب-چلگرد ۱۴۰۰/۴/۲ ج: جنگل زاگرس-مرغملک ۱۴۰۰/۴/۲ د: کشاورزی-دامنه۱۴۰۰/۳/۳۰



شکل ۳. . فلوچارت مراحل انجام پژوهش



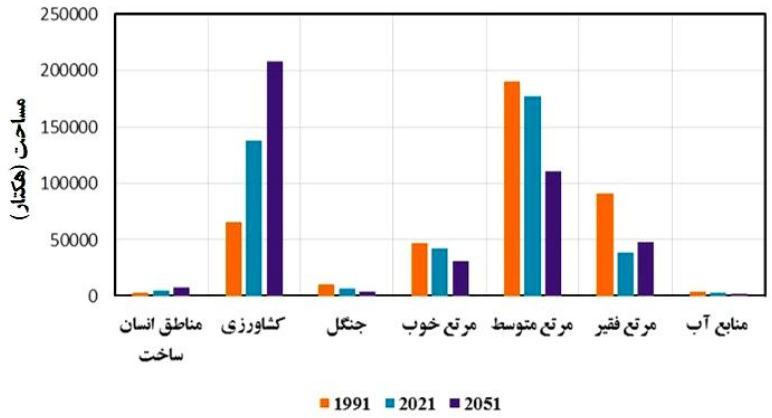
شکل ۴. نقشه کاربری/پوشش اراضی سال ۱۹۹۱



شکل ۵. نقشه کاربری/پوشش اراضی سال ۲۰۲۱

جدول ۱. مساحت کاربری/پوشش اراضی در سال های ۱۹۹۱، ۲۰۲۱ و ۲۰۵۱ (هکتار)

کاربری و پوشش اراضی	سال ۱۹۹۱	سال ۲۰۲۱	سال ۲۰۵۱
مناطق انسان ساخت	۳۴۶۸	۵۴۹۰	**۷۹۸۰**
کشاورزی	۶۵۶۹۴	۱۳۷۱۷۲	**۲۰۸۵۰۰**
جنگل‌های زاگرس	۱۰۹۵۴	۷۴۲۰	**۳۸۵۰**
مرتع خوب	۴۷۰۵۱	۴۲۵۵۸	**۳۰۸۵۲**
مرتع متوسط	۱۹۰۵۲۰	۱۷۷۴۵۰	**۱۱۱۲۵۸**
مرتع فقیر	۹۰۸۲۲	۳۸۹۵۱	**۴۷۸۵۵**
منابع آب	۴۴۹۱	۳۹۵۹	**۲۷۰۵**
مجموع		**۴۱۳۰۰۰**	



شکل ۶. نمودار مقایسه مساحت کاربری/پوشش اراضی در سال‌های ۱۹۹۱،۲۰۲۱ و۲۰۵۱

پوشش اراضی در حوضه آبخیز سد زاینده رود را ارائه می‌کند.

بررسی دقت و صحت نقشه‌های کاربری/پوشش اراضی، با استفاده از واقعیت زمینی مشخص شد. بعد از معرفی مناطق نمونه‌برداری شده به نرم افزار IDRISI ، صحت کاربر، صحت تولید کننده، خطاهای Commission و Omission، صحت کلی طبقه‌بندی و ضریب کاپا محاسبه گردید (جدول ۲).

مدلسازی پتانسیل انتقال

نتایج ضرایب کرامر برای متغیرهای کمکی در جدول ۳ آورده شده است. متغیر فاصله از اراضی کشاورزی، بیشترین مقدار و متغیر فاصله از مناطق انسان ساخت، کمترین مقدار را نشان دادند. نتایج ارزیابی صحت مدلسازی پتانسیل انتقال از یک کاربری به نوع دیگر، به روش پرسپترون چندلایه شبکه عصبی مصنوعی برای ۱۱ زیر مدل در جدول ۴ نشان داده شده است.

صحت پیش بینی مدل بر اساس برآورد ضریب کاپا انجام گرفت. این ضریب بر اساس نقشه واقعیت زمینی کاربری/پوشش اراضی سال ۲۰۲۱ و نقشه پیش بینی کاربری/پوشش اراضی سال ۲۰۲۱ محاسبه می شود. مطابق جدول ۵، آماره های کاپای کلی، کاپای مطابق با مکان و کاپای استاندارد به منظور ارزیابی صحت مدل استفاده شدند (۱).

در نهایت نقشه پیش‌بینی کاربری و پوشش اراضی برای سال ۲۰۵۱ مطابق شکل ۷ تهیه گردید. چنانچه در جدول ۶

جدول ۲. ضرایب صحت، خطا و کاپا طبقه‌بندی نظارت شده در سال‌های ۱۹۹۱ و ۲۰۲۱

	کاربری/پوشش اراضی	صحت کاربر	صحت تولید کننده	خطای Commission	خطای Omission	ضریب کاپا	صحت کلی طبقه بندی
سنجنده TM سال ۱۹۹۱	مناطق انسان ساخت	٪ ۹۰/۱۸	٪ ۷۸/۰۴	۰/۰۹۸۲	۰/۲۱۹۶	۰/۸۱۳	٪ ۸۵/۲۲
	کشاورزی	٪ ۸۶/۴۰	٪ ۸۸/۹۸	۰/۱۳۶۰	۰/۱۱۰۲		
	جنگل‌های زاگرس	٪ ۸۹/۵۰	٪ ۶۹/۳۳	۰/۱۰۵۰	۰/۳۰۶۷		
	مرتع خوب	٪ ۸۳/۱۱	٪ ۷۶/۱۶	۰/۱۶۸۹	۰/۲۳۸۴		
	مرتع متوسط	٪ ۸۷/۰۹	٪ ۸۸/۳۸	۰/۱۲۹۱	۰/۱۱۶۲		
	مرتع فقیر	٪ ۶۸/۷۶	٪ ۶۱/۶۱	۰/۳۱۲۴	۰/۳۸۳۹		
	منابع آب	۱۰۰	۱۰۰	۰	۰		
سنجنده OLI سال ۲۰۲۱	مناطق انسان ساخت	٪ ۹۰/۴۳	٪ ۹۲/۴۰	۰/۰۹۵۷	۰/۰۷۶۰	۰/۸۷۵	٪ ۹۰/۰۸
	کشاورزی	٪ ۶۹/۸۷	٪ ۷۹/۷۹	۰/۳۰۱۳	۰/۲۰۲۱		
	جنگل‌های زاگرس	٪ ۸۸/۲۹	٪ ۸۳/۶۸	۰/۱۱۷۱	۰/۱۶۳۲		
	مرتع خوب	٪ ۹۳/۰۹	٪ ۸۱/۱۲	۰/۰۶۹۱	۰/۱۸۸۸		
	مرتع متوسط	٪ ۸۸/۰۵	٪ ۹۸/۸۵	۰/۱۱۹۵	۰/۰۱۱۵		
	مرتع فقیر	٪ ۹۳/۱۳	٪ ۹۳/۵۵	۰/۰۶۸۷	۰/۰۶۴۵		
	منابع آب	۱۰۰	۱۰۰	۰	۰		

جدول ۳. ضریب همبستگی کرامر متغیرهای کمکی (پیشگویی کننده) در پیش بینی تغییرات کاربری و پوشش اراضی

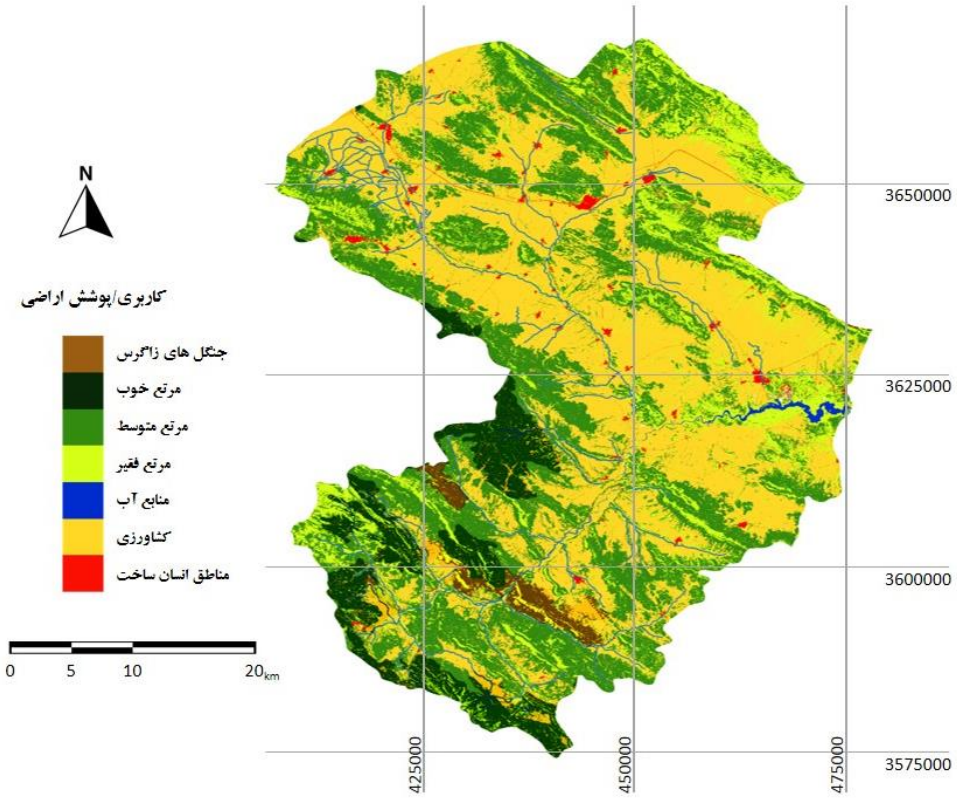
متغیر کمکی	**ضریب** همبستگی کرامر
ارتفاع	۰/۴۳۴۰
شیب	۰/۲۵۸۰
فاصله از منابع آب	۰/۳۵۸۷
فاصله از مناطق انسان ساخت	۰/۲۲۵۸۷
فاصله از کشاورزی	۰/۵۱۲۱

جدول ۴. ارزیابی صحت شبکه عصبی مصنوعی در پیش بینی تغییرات کاربری/پوشش اراضی

زیر مدل	ارزیابی صحت	خطای آموزش	خطای تست
مرتع خوب به متوسط	۸۹/۱۹	۰/۲۷۰۴	۰/۲۶۸
مرتع خوب به فقیر	۸۸/۲۵	۰/۲۸۳۹	۰/۲۷۷
مرتع خوب به کشاورزی	۸۷/۹۵	۰/۲۹۱۸	۰/۲۸۱
مرتع متوسط به کشاورزی	۹۱/۸۰	۰/۲۲۵۸	۰/۲۳۶
مرتع متوسط به فقیر	۹۱/۱۲	۰/۲۳۱۱	۰/۲۳۹
مرتع فقیر به کشاورزی	۹۵/۵۵	۰/۱۵۸۸	۰/۱۹۸
کشاورزی به مرتع فقیر	۹۱/۹۰	۰/۲۲۱۴	۰/۲۲۹
جنگل به مرتع متوسط	۸۲/۱۴	۰/۳۲۷۷	۰/۳۱۷
جنگل به مرتع فقیر	۸۳/۱۹	۰/۳۳۵۲	۰/۳۱۰
جنگل به کشاورزی	۸۵/۵۸	۰/۲۸۸۸	۰/۳۰۱
مرتع فقیر به اراضی انسان ساخت	۸۰/۳۶	۰/۳۹۲۶	۰/۳۲۵

جدول ۵. ارزیابی نقشه پیش بینی شده توسط LCM (مقادیر شاخص کاپا)

کاپا	مقادیر K
K no (کاپای کلی)	۰/۸۸۱
K location (کاپای مطابق با مکان)	۰/۸۶۴
K standard (کاپای استاندارد)	۰/۸۳۷



شکل ۷. نقشه پیش بینی کاربری و پوشش اراضی سال ۲۰۵۱

جدول ۶. مقدار و روند تغییرات کاربری/پوشش اراضی در دوره‌های زمانی مطالعه شده (هکتار)

	دوره زمانی ۱۹۹۱ – ۲۰۲۱		دوره زمانی ۲۰۲۱–۲۰۵۱	
کاربری و پوشش اراضی	مساحت تغییرات	روند تغییرات	مساحت تغییرات	روند تغییرات
مناطق انسان ساخت	۲۰۲۲	افزایشی	۲۴۹۰	افزایشی
کشاورزی	۷۱۴۷۸	افزایشی	۷۰۳۲۸	افزایشی
جنگل‌های زاگرس	۳۵۳۴	کاهشی	۳۵۷۰	کاهشی
مرتع خوب	۴۴۹۳	کاهشی	۱۱۷۰۶	کاهشی
مرتع متوسط	۱۳۰۷۰	کاهشی	۶۶۱۹۲	کاهشی
مرتع فقیر	۵۱۸۷۱	کاهشی	۸۹۰۴	افزایشی
منابع آب	۵۳۲	کاهشی	۱۲۵۴	کاهشی

مشاهده می‌شود، در بازه زمانی سال های ۱۹۹۱ تا ۲۰۲۱ پوشش مراتع فقیر با ۵۱۸۷۱ هکتار تغییر، بیشترین روند روبه کاهش را به خود اختصاص داده است و طبقه کشاورزی با ۷۱۴۷۸ هکتار تغییر، بیشترین روند افزایشی را داشته است. بیشترین تغییر احتمالی کاهشی در بازه زمانی ۲۰۲۱ تا ۲۰۵۱ مربوط به پوشش مراتع متوسط با ۶۶۱۹۲ هکتار بوده و طبقه کشاورزی با ۷۰۳۲۸ هکتار تغییر، بیشترین روند افزایشی احتمالی را خواهد داشت.

بحث و نتیجه‌گیری

مطابق جدول ۱ طبقات عمده کاربری و پوشش اراضی تعیین شده در حوضه آبخیز سد زاینده‌رود شامل جنگل، مرتع (سه طبقه خوب، متوسط و فقیر)، کشاورزی، مناطق انسان ساخت (شهرها، روستاها، راه‌ها، صنایع و معادن) و منابع آب تعیین شد. طی دوره ۳۰ ساله (۱۹۹۱ –۲۰۲۱)، مساحت پوشش جنگلی تقریبا به میزان ۳۰ درصد مساحت اصلی آن در سال ۱۹۹۱ کاهش یافته است و جنگل‌زدایی شدیدی در نتیجه توسعه اراضی کشاورزی اتفاق افتاده است. همچنین در این دوره مساحت کل مراتع ۲۵ درصد کاهش یافته است. مساحت طبقه کشاورزی به بیش از دو برابر افزایش یافته و تغییر جنگل و مرتع به کشاورزی در این منطقه کاملاً مشهود است. نتایج مطالعه نصیری و همکاران (۱۸) و همچنین پرما و همکاران (۲۱) نیز نشان دهنده بیشترین افزایش سطح برای طبقه اراضی کشاورزی است. آنچه در این میان اهمیت دارد علیرغم توان اکولوژیک و استعداد طبیعی منطقه مورد مطالعه برای پوشش جنگل و مرتع، نیاز اقتصادی–اجتماعی و ترجیح افراد، اراضی کشاورزی را به عنوان کاربری غالب از نظر مساحت بر این منطقه تحمیل نموده است. استفاده نادرست انسان از سرزمین از دو جنبه قابل بحث است؛ یک جنبه به عدم مدیریت در رابطه با نحوه بهره‌برداری و جنبه دیگر در رابطه با نادرستی نوع استفاده از سرزمین است که در این مطالعه جنبه دوم بیشتر مورد توجه قرار گرفته است (۲۴).

راهداری و همکاران (۲۰) با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی نشان دادند که ۲۳ درصد از منطقه حوضه آبخیز سد زاینده رود در سال ۱۳۹۷، قابلیت زیاد تا خیلی زیاد برای جنگل‌داری دارند. نتایج این مطالعه با مطالعه حاضر مطابقت دارد. نادرستی نوع استفاده از سرزمین در سایر مناطق جنگلی ایران نیز قابل مشاهده است. بعنوان نمونه کلارستاقی و همکاران (۱۶) اظهار داشتند که در فاصله سال‌های ۱۹۶۷ تا ۲۰۰۲ مساحت پوشش جنگلی در استان مازندران ۲۳ درصد کاهش یافته و به طور همزمان اراضی قابل کشت ۳۶/۹ درصد افزایش یافته است.

آشکارسازی تغییرات کاربری و پوشش و بالطبع جلوگیری از تخریب و تغییر جنگل‌ها و مراتع از اولویت‌های اصلی در برنامه ریزی مکانی در حوضه آبخیز سد زاینده‌رود است. در برنامه ریزی تغییر کاربری و پوشش زمین باید بین گسترش کشاورزی و مناطق انسان ساخت و تخریب مناطق طبیعی تعادل ایجاد شود. ارزیابی گسترش کاربری کشاورزی و مناطق انسان ساخت در این مطالعه براساس روند گذشته تعیین شده است. افزایش تخریب جنگل‌ها و مراتع در نتیجه رشد سریع جمعیت رخ می‌دهد؛ شناخت بیشتر هزینه‌های محیط زیستی مربوط به تبدیل اراضی طبیعی به توسعه کشاورزی، شـهری و صنعتی می‌تواند میل به جلوگیری از تغییر و تخریب جنگل‌ها و مراتع را در برنامه‌ریزان، تقویت کند (۱۰). سناریوهای آینده براساس مدلساز تغییر سرزمین، اطلاعات سودمندی درباره تغییرات آینده کاربری و پوشش سرزمین در منطقه حوضه آبخیز سد زاینده‌رود ارائه می‌دهد. این مطالعه قادر به شناسایی تغییرات کاربری و پوشش زمین در دوره‌های مختلف و به تصویر کشیدن روند کاهشی یا افزایشی کاربری‌های اراضی مهم در منطقه است. در پژوهش حاضر تغییر کاربری و پوشش زمین براساس سناریوی "ادامه روند فعلی" بررسی شد. این سناریو برای سال ۲۰۵۱ پیش بینی می‌کند که کاهش چشمگیری در پوشش گیاهی طبیعی، مراتع و جنگل‌های زاگرس رخ می‌دهد و ادامه توسعه کشاورزی و مناطق انسان ساخت در حوضه آبخیز

سد زاینده رود مشاهده می‌شود. کریم‌زاده مطلق و همکاران (۱۵) با استفاده از سناریوهای آینده براساس مدل زنجیره مارکوف نقشه کاربری و پوشش آینده را مدلسازی کردند. سناریوهای آینده برای سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰ تخمین می‌زند که کاهش قابل توجهی در پوشش گیاهی و ادامه توسعه شهری و صنعتی در حوضه رودخانه زاینده‌رود (پایین دست سد زاینده‌رود) مشاهده می شود. نتایج این تحقیق با مطالعه حاضر همخوانی دارد.

در سال‌های گذشته توسعه مناطق انسان ساخت شدت یافته است. مناطق انسان ساخت که شامل مناطق مسکونی، معدن و مناطق صنعتی است در بازه سال های ۱۹۹۱ تا ۲۰۲۱ افزایشی در حدود ۳۵ درصد داشته‌اند. این نتایج تایید کننده پژوهش اصغری و همکاران (۵) است. ساخت و سازهای انسانی، و همچنین گسترش اراضی کشاورزی سبب تکه تکه شدن زیستگاه‌ها می‌شود. تکه تکه شدن به معنای جدایی جغرافیایی است و این عدم پیوستگی معمولا روی کیفیت زیستگاه گونه‌های گیاهی و جانوری، خدمات اکوسیستم و فرآیندهای بوم شناختی اثر بشدت منفی دارد (۱۱). این نتایج تایید کننده مطالعه غفور و همکارن (۱۰) است. آن‌ها بیان کردند که تغییرات در سیمای سرزمین و جدایی زیستگاه‌ها در اثر تغییر کاربری و پوشش اراضی، اثر معناداری روی خدمات اکوسیستم در بوته‌زارها دارد.

حوضه آبخیز سد زاینده رود یکی از مهمترین اکوسیستم‌های طبیعی کشور محسوب می‌شود و از آنجا که نقش اساسی در تولید آب برای حوضه آبریز گاوخونی دارد، حفاظت و نگهداری آن برای یکپارچگی اکولوژیکی تولید آب بسیار مهم است. بررسی تغییرات کاربری و پوشش اراضی برای حفظ خدمات اکوسیستمی (مانند تولید آب و حفظ خاک) در منطقه ضروری است؛ بنابراین نتایج به دست آمده در این مطالعه می‌تواند ابزاری مفید در برنامه‌ریزی و ایجاد سیاست‌های محلی برای توسعه پایدار در منطقه باشد این نتایج همچنین می‌تواند به بحث در زمینه آثار مخرب توسعه کشاورزی کمک و توجهات را به کنترل بیشتر حفظ پوشش گیاهی طبیعی جلب کند.

پژوهش حاضر نشان داد که چگونه مدلساز تغییر سرزمین برای شبیه‌سازی بهتر تغییرات کاربری و پوشش اراضی در طول زمان به کار می‌رود. در میان تمام تغییرات کاربری و پوشش زمین، نگران کننده ترین آن ها در حوضه آبخیز سد زاینده رود، توسعه بی‌رویه اراضی کشاورزی (مخصوصاً دیم‌زارها) است. اگر روند فعلی استفاده از زمین ادامه یابد، پیش‌بینی می‌شود با توجه به احتمال وقوع خشکسالی، زمین‌های کشاورزی رها شده در منطقه افزایش چشم‌گیری پیدا کند و گسترش بی‌برنامه کشاورزی و توسعه مناطق انسان ساخت به تهدیدی جدی برای پوشش جنگلی و مرتعی منطقه بدل شود. بنابراین مدیریت و برنامه‌ریزی برای حفظ اکوسیستم و همچنین حفاظت از پوشش گیاهی طبیعی در منطقه بسیار توصیه می‌شود. روش‌ها و یافته‌های این پژوهش برای سیاست‌گذاران، تصمیم‌گیران و برنامه‌ریزان مفید خواهد بود آنها می‌توانند از یافته های این مطالعه برای برنامه‌ریزی مکانی در منطقه استفاده کنند تا بتوانند روند تغییرات کاربری و پوشش اراضی را در راستای توسعه پایدار زیست محیطی تغییر دهند.

تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت مادی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (INSF) انجام شده و برگرفته از طرح شماره "۴۰۰۳۲۲۸" این صندوق می باشد.

منابع مورد استفاده

1. Afifi, M.E. 2020. Modeling land use changes using Markov chain model and LCM model. *Journal of Geograohical Siences* 20(56): 141–158.
2. Anand, J., A. K. Gosain and R. Khosa. 2018. Prediction of land use changes based on Land Change Modeler and

attribution of changes in the water balance of Ganga basin to land use change using the SWAT model. *Science of the total environment* 644: 503–519.
3. Ansari, A and M. H. Golabi. 2019. Prediction of spatial land use changes based on LCM in a GIS environment for Desert Wetlands--A case study: Meighan Wetland, Iran. *International soil and water conservation research* 7(1): 64–70.
4. Arekhi, S. 2014. Prediction of spatial land use changes based on LCM in a GIS environment (A case study of Sarabeleh (Ilam), Iran. *Iranian Journal of Forest and Range Protection Research* 12(1): 1–19. (In Persian)
5. Asghari poudeh, Z., O. Ghadirian Baharanchi, SH. Nematallahi, S. fakheran and S. pourmanafi. 2019. Monitoring and Prediction of Land Use/Cover Changes in Shadegan International Wetland, Iran. *Iranian Journal of Applied Ecology* 8(3):63-76. (In Persian)
6. Assaf, C., C. Adams, F.F. Ferreira, and H. França. 2021. Land use and cover modeling as a tool for analyzing nature conservation policies--A case study of Juréia-Itatins. *Land use policy* 100: 104895.
7. Eastman, J.R. 2006. IDRISI Andes Tutorial. Clark Labs., Clark University, Worcester, MA .
8. Eastman, J.R. and J. Toledano. 2018. A Short presentation of the land change modeler (LCM). PP. 499–505, In: M.T. Camacho Olmedo, M. Paegelow, J. Mas, and F. Escobar, Geomatic Approaches for Modeling Land Change Scenarios, Springer International Publishing, Cham.
9. Faramarzi, M., Z. Heidarizadi, A. Mohamadi and M. Heydari. 2018. Detection of vegetation changes in relation to normalized difference vegetation index (NDVI) in semi-arid rangeland in western Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 20: 51-60
10. Ghafoor, G.Z., F. Sharif, M.G. Shahid, and L. Shahzad. 2022. Assessing the impact of land use land cover change on regulatory ecosystem services of subtropical scrub forest , Soan Valley Pakistan. *Scientific Reports* 12(1):10052.
11.Gharaibeh, A., A. Shaamala, R. Obeidat, and S. Al-Kofahi. 2020. Improving land-use change modeling by integrating ANN with Cellular Automata-Markov Chain model. *Heliyon* 6(9): e05092.
12. Jafari, R., H. Bashari, and M. Tarkesh. 2016. Discriminating and monitoring rangeland condition classes with MODIS NDVI and EVI indices in Iranian arid and semi-arid lands. *Arid land research and managment* 31(1):94-110.
13. Joorabian Shooshtari, S., A. Esmaili-Sari, S.M. Hosseini, and M. Gholamalifard. 2019. Application of multilayer perceptron neural network method in land use change modeling in the east of mzandaran province. *Geography and Environmental Planning* 29(4): 125–144. (In Persian)
14. Kantakumar, L.N., and P. Neelamsetti. 2015. Multi-temporal land use classification using hybrid approach. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science* 18(2): 289–295.
15. Karimzadeh Motlagh, Z., A. Lotfi, S. Pourmanafi and S. Ahmadizadeh. 2022. Evaluation and prediction of land-use changes using the CA_Markov model. *Geography and Environmental Planning* 33(2): 63–80. (In Persian)
16. Kelarestaghi, A and Z. Jafarian Jeloudar. 2011. Land use / cover change and driving force analyses in parts of northern Iran using RS and GIS techniques. *Arabian Journal of Geosciences* 4: 401–411.
17. Lu, D., and Q. Weng. 2007. A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. *International Journal of Remote Sensing* 28(5): 823–870.
18. Nasiri, V., A. A. Darvishsefat, R. Rafiee, A. Shirvany and M. A. Hemat. 2019. Land use change modeling through an integrated multi-layer perceptron neural network and Markov chain analysis (case study: Arasbaran region, Iran). *Journal of Forestry Research* 30: 943–957.
19. Rahdari, V. A. Soffianian, S. Pormanafi and S. Maleki. 2019. Assessment of land forestry capability using multi criteria evaluation and fuzzy analytical hierarchy process method. *Iranian Journal of Forest and Range Protection Research* 17(1):39-51. (In Persian)
20. Rahdari, V., A. Soffianian, S. Pourmanafi, R. Mosadeghi and H.G. Mohammadi. 2018. A hierarchical approach of hybrid image classification for land use and land cover mapping. *Geographica pannonica* 22(1): 30-39.
21. Parma, R., R. Maleknia, S. Shataee and H. Naghavi. 2017. Land cover change modeling based on artificial neural networks and transmission potential method in LCM (Case Study: Forests Gilan-e Gharb, Kermanshah Province). *Town and Country Planning*, *9*(1): 129-151. (In Persian)
22. Wang, S.W., L. Munkhnasan and W. Lee. 2021. Land use and land cover change detection and prediction in Bhutan's high altitude city of Thimphu, using cellular automata and Markov chain. *Environmental Challenges* 2: 100017.
23. Wang, R and Y. Murayama. 2017. Change of land use/cover in Tianjin city based on the markov and cellular automata models. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 6(5): 150.
24. Wilson, C.O and Q. Weng. 2011. Simulating the impacts of future land use and climate changes on surface water quality in the Des Plaines River watershed, Chicago Metropolitan Statistical Area, Illinois. *Science of The Total Environment* 409(20): 4387–4405.

Evaluation and Prediction of Land Use/Land Cover Changes Using the Land Change Modeler

S. M. R. Abolmaali[1], M. Tarkesh[1*], S. A. Mousavi[1], H. Karimzadeh[1], S. Pourmanafi[1] and S. Fakheran[1]

(Received: February 14-2023; Accepted: August 05-2023)

Abstract

In order to make decisions for regional planning and achieve sustainable development, it is necessary to quantify land use and land cover changes. In this study, the land use and land cover maps of the Zayandehrood Dam watershed were prepared for the period of 1991 to 2021, using Landsat satellite images, and the changes that occurred in this period were revealed. Using the land change modeler (LCM), land use and land cover and their future changes for 2051 were modeled and predicted. The results showed that in the period between 1991 and 2021, the coverage of poor rangelands with 51,871 hectares of change had the largest decreasing trend, and the agricultural class had the largest increasing trend with 71,478 hectares of change. The largest decline in the period from 2021 to 2051 is related in the coverage of the fair rangelands class with 66192 hectares, and the agricultural class potentially has the largest increasing trend with 70328 hectares of change. The findings of this research will be useful for policymakers and planners. They can use the findings of this study for spatial planning in the region, managing the process of land use and land cover changes for sustainable development.

Keywords: Land use/land cover change, Artificial neural network, Remote sensing, Land change modeler, Zayandehrood Dam watershed

1. Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
*: Corresponding Author, Email: m_tarkesh@iut.ac.ir