

و زیبایی شناختی بوم‌سازگان‌ها، و نیز برای مدیریت مخاطرات طبیعی ناشی از این تغییرات مورد نیاز است. جدای از ارزیابی تغییرات کاربری اراضی، این تحقیق بینشی از پویایی پوشش جنگل، همراه با علل و پیامدها ارائه می‌دهد و از این طریق نقاط داغ تخریب جنگل را نشان می‌دهد. پایش تغییر پوشش جنگل برای توسعه راهبردهای مدیریت پایدار جنگل که منابع جنگلی و خدمات بوم‌سازگانی را احیا می‌کند، ضروری است.

واژه‌های کلیدی: واژه‌های کلیدی: پویایی جنگل، تغییرات مکانی-زمانی، کاربری اراضی، ماشین بردار پشتیبان.

مقدمه

جنگل‌ها در سرتاسر جهان در مواجهه با تغییرات زیادی هستند و در برخی مناطق تلفات روزافزون و در برخی دیگر افزایش می‌یابند [۲۵]. حفظ جنگل‌ها برای حفاظت از تنوع زیستی و کاهش تغییرات اقلیمی بسیار مهم است. ایجاد مناطق حفاظت‌شده از لحاظ تاریخی ابزار حکمرانی جنگل بوده است که اغلب برای پیگیری اهداف تنوع زیستی اتخاذ شده است. این رویکرد به نتایج مثبتی در زمینه حفاظت از گونه‌ها و ایجاد موانع برای گسترش جنگل‌زدایی رسیده است [۱۳]. ذخیره‌گاه‌های جنگلی بخش‌هایی از مناطق حفاظت‌شده جنگلی هستند که در آن برداشت تجاری محصولات چوبی به‌منظور حفظ تنوع زیستی، ممنوع شده است. ذخایر جنگلی طبیعی در خدمت بررسی توسعه جنگل در شرایطی است که تحت تأثیر دخالت انسان قرار نگرفته و توسعه نوعی مدیریت جنگل نزدیک به طبیعت است [۱۱]. باین وجود، ذخیره‌گاه‌های جنگلی به‌تنهایی برای حفظ تنوع زیستی کافی نیست. آن‌ها معمولاً خیلی کوچک هستند، موانعی برای مهاجرت گونه‌ها ایجاد می‌کنند و در برابر عواملی مانند تغییر اقلیم آسیب‌پذیر هستند. علاوه بر این، مناطق حفاظت‌شده تنها بخشی از تنوع زیستی جنگلی موجود را شامل می‌شود. این بدان معنی است که نیاز به نگاهی فراتر از مناطق حفاظت‌شده و به جریان انداختن حفاظت از تنوع زیستی در شیوه‌های مدیریت جنگل وجود دارد [۱۳].

در ذخیره‌گاه‌های جنگلی مانند سایر بوم‌سازگان‌ها، فرآیندهای اکولوژیکی تحت تأثیر الگوی مکانی یک سیمای سرزمین قرار می‌گیرند [۲۲]. به عبارت دیگر، تغییرات در الگوهای سیمای سرزمین بر ساختار و عملکرد بوم‌سازگان با تأثیر بر انواع، سطوح و توزیع

تشخیص تغییرات مکانی-زمانی و پویایی پوشش جنگل در منطقه فندقلو (شمال غرب ایران) رقیه جهدی^۱

تاریخ دریافت ۱۴۰۲/۰۱/۰۷ تاریخ پذیرش ۱۴۰۲/۰۲/۱۵
DOR: 20.1001.1.26454777.1401.10.39.7.7

چکیده

تشخیص تغییرات مکانی-زمانی کاربری اراضی و به‌ویژه پویایی بوم‌سازگان‌ها برای ارزیابی اثربخشی راهبردهای مدیریت بوم‌سازگان‌ها، توسعه سیستم‌های پایش مبتنی بر ابزارهای کمی و کیفی برای حفاظت، ارزش‌گذاری و احیای آن‌ها و در نهایت تعاملات اجتماعی، محیط‌زیستی و سیاسی یک منطقه ضروری است. در این تحقیق به‌منظور شناسایی تغییرات از تصاویر Landsat-7 ETM⁺ و Landsat-8 OLI/TIRS L1TP به ترتیب برای سال‌های ۱۳۸۲ (مرداد) و ۱۴۰۲ (تیر) تحت طبقه‌بندی نظارت‌شده با استفاده از الگوریتم طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان (SVM) استفاده شد. پنج طبقه کاربری اصلی شامل کشاورزی، جنگل، مرتع، مناطق انسان‌ساز و آبی استخراج شد. نتایج ارزیابی صحت برای تصاویر طبقه‌بندی‌شده، دقت کلی بیش از ۹۲ درصد و ضریب کاپا بیش از ۰/۸۹ را برای هر دو سال نشان داد. در دوره مورد مطالعه، مناطق کشاورزی و انسان‌ساز افزایش یافت، در حالی که جنگل، مرتع و مناطق آبی کاهش یافت. بیش‌ترین میزان تغییر (۶۲/۳ هکتار در سال) در مراتع مشاهده شد. نتایج حاصل از نقشه‌های تغییر پوشش جنگلی پس از طبقه‌بندی، کاهش قابل‌توجه ۸/۵ درصدی پوشش جنگلی را طی دوره زمانی ۲۰ ساله نشان می‌دهد. دلیل اصلی این تغییر، جایگزینی مشاهده‌شده پوشش جنگلی بومی با مراتع (۱۶/۹ درصد)، مناطق انسان‌ساز (۴/۳ درصد) و مناطق کشاورزی (۰/۸ درصد) است. بیش‌تر این تغییرات کاربری اراضی برنامه‌ریزی نشده و عمدتاً در نتیجه فعالیت‌های انسانی و با طیف وسیعی از آثار منفی بر بوم‌سازگان‌های طبیعی است. از این رو، سیاست‌های مؤثر و مدیریت کاربری اراضی برای حفاظت از مزایای محیط‌زیستی

۱- استادیار علوم و مهندسی جنگل، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
Email: roghayeh.jahdi@uma.ac.ir

مکانی بوم‌سازگان‌های مختلف تأثیر می‌گذارد که منجر به تغییر در جریان‌های مواد، انرژی و اکولوژیکی در سیمای سرزمین می‌شود و در نهایت بر تأمین و نگهداری خدمات بوم‌سازگان‌ها تأثیر می‌گذارد [۲۶]. از مهم‌ترین تغییرات الگوی مکانی سیمای سرزمین در سراسر دنیا می‌توان به تغییرات کاربری اراضی و به‌ویژه شهری شدن اشاره کرد که به دنبال صنعتی شدن رخ داده است. هم‌چنین، از مشکلات کلیدی برای کشورهای در حال توسعه مانند ایران، توسعه ناپایدار شهری است که عمدتاً بدون رویکردهای برنامه‌ریزی مناسب صورت می‌گیرد. این روند توسعه پرشتاب به شدت بوم‌سازگان‌ها و منابع کمیاب جنگلی در کشور را تحت تأثیر خود قرار داده است. مانند سایر مناطق جنگلی، ذخیره‌گاه‌های محدود جنگلی تحت تأثیر تغییرات ناشی از انسان که منجر به تخریب جنگل شده، مورد تهدید قرار گرفته است. عوامل مسبب این تغییرات عبارت‌اند از گرم شدن کره زمین و کمبودهای غیرطبیعی آب مرتبط با خشک‌سالی و دوره‌های خشک، تغییرات کاربری زمین، تهاجم زیستی، از دست دادن تنوع زیستی، تغییر در انتشار گازها و تغییرات لایه اوزون [۳۵]. با توجه به تغییرات جنگل در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف، نظارت بر تغییرات جنگل بسیار مهم است تا بتوان جنگل‌زدایی و توسعه را برنامه‌ریزی کرد و تعادل بوم‌سازگان هم‌چنان حفظ شود. این مهم است زیرا تعدادی از آثار نامطلوب جنگل‌زدایی وجود دارد که شامل محیطی و اقتصادی مانند فرسایش خاک، از بین رفتن تنوع زیستی و تغییرات اقلیمی می‌شود.

تشخیص تغییرات کاربری اراضی و بررسی پویایی جنگل را می‌توان با استفاده از تصویر ماهواره‌ای سنجنش‌ازدور مطالعه کرد. تجزیه و تحلیل تغییرات پوشش، فرآیندی است که هدف آن شناسایی تفاوت‌ها در طول زمان است. اساساً، مجموعه‌های چند زمانی برای تعیین کمیت تغییرات در پوشش استفاده می‌شوند. فرض اصلی این است که تغییرات پوشش مقادیر تابش را تغییر می‌دهد و بنابراین می‌توان توسط سنجنده‌های نوری از راه دور تشخیص داد [۷]. بنابراین، تکنیک‌های فتوگرامتری و سنجنش‌ازدور ابزارهای مناسبی برای تشخیص این تغییرات در جزئیات، بسته به نوع سنجنده مورد استفاده برای جمع‌آوری داده‌ها هستند. از سوی دیگر، تکنیک‌های یکپارچه مبتنی بر سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای کسب منطقی و تجزیه و تحلیل داده‌های تغییرات جنگل اساسی هستند. GIS ابزار بسیار خوبی برای مدل‌سازی سیمای سرزمین، برای دانستن تغییرات در پوشش گیاهی و برای انجام تحلیل‌های سه‌بعدی هستند [۸]. آن‌ها امکان رقوم‌سازی آسان اطلاعات جغرافیایی و ساختار پوشش زمین را فراهم می‌کنند و نمایش گرافیکی را تسهیل می‌کنند [۱۰]. به‌طور کلی، تکنیک‌های مبتنی بر GIS، پردازش تصویر، سنجنش‌ازدور و سایر فن‌آوری‌های جدید برای نقشه‌برداری، برنامه‌ریزی و مدیریت توسعه زمین، امکان تحلیل دقیق‌تری از سیمای سرزمین و محیط‌زیست را فراهم می‌کنند [۳۶]. علاوه بر پوشش گیاهی، عناصر دیگری نیز در ارتباط با سیمای

سرزمین، مانند روستاها و سایر مناطق انسان‌ساز وجود دارد که باید در پردازش داده‌ها به‌درستی در نظر گرفته شوند [۳۷].

ارزیابی تغییر کاربری/پوشش زمین به‌طور گسترده‌ای بر اساس داده‌های سنجنش‌ازدور چند زمانی برای تعیین تغییرات رایج و نیز تشخیص میزان تأثیر انسان بر محیط طبیعی استفاده شده است [۳۱، ۲۰]. بسیاری از محققان آن را به‌عنوان یک فرآیند مهم در نظر گرفتند که هم بر تنظیمات طبیعی و هم شرایط اجتماعی-اقتصادی در سطوح محلی، منطقه‌ای و جهانی تأثیر می‌گذارد [۴۶]. در بیش‌تر موارد، تغییر کاربری/پوشش زمین نتیجه فعالیت‌های مختلف انسانی است، یعنی قطع درختان و تبدیل زمین‌های جنگلی به زمین‌های کشاورزی یا سکونت‌گاه‌های انسانی که باعث اختلال در تنوع زیستی، بودجه آب و تابش می‌شود، بر انتشار گاز و سایر فرآیندهایی که به‌طور تجمعی بر آب‌وهوا و بیوسفر مؤثر است، تأثیر می‌گذارد [۳۹]. محققان بیش‌تری به‌طور گسترده آثار تغییرات کاربری زمین را بر آب‌وهوای منطقه، هیدرولوژی، مواد مغذی خاک، خدمات بوم‌سازگان و تنوع زیستی مورد مطالعه قرار داده‌اند. در اغلب مطالعات انجام‌شده، توسعه و تکامل کانون‌های تحقیقاتی تغییرات کاربری زمین عمدتاً بر سه جنبه شامل ۱) تأثیر گسترش زمین‌های زیر کشت و جنگل‌زدایی [۲۱، ۲]، تأثیر مدیریت و حفاظت از کاربری اراضی [۲۴] و ۳) تأثیر تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی بر تغییرات کاربری زمین [۱۷] متمرکز بود.

ذخیره‌گاه جنگلی فندقلو با وسعت ۹۱۳ هکتار، بزرگ‌ترین ذخیره‌گاه گونه فندق در کشور محسوب می‌شود که در شرق اردبیل و در محدوده شهرستان نمین قرار دارد. با توجه به موقعیت مکانی، شرایط رویشگاهی و اقلیمی، این جنگل به‌عنوان یک جنگل اکوتون بین جنگل‌های هیرکانی و جنگل‌های ارسبارانی قرار دارد و از این‌رو دارای تنوع و ترکیب پوشش گیاهی بسیار غنی می‌باشد [۴۰]. تاکنون تعدادی از مطالعات بر روی ذخیره‌گاه جنگلی فندقلو در استان اردبیل برای بررسی نقش مدیریت در تنوع زیستی جنگل [۱۹]، بررسی فلور جنگل [۴۲]، ویژگی‌های ساختاری توده‌های جنگلی [۲] و تهیه پوشش اراضی [۳۴] انجام شده است. با این حال، اطلاعات محدودی در مورد روند زمانی تغییرات کاربری اراضی در این منطقه وجود دارد. به‌عنوان مثال، در مطالعه ولیزاده کامران و همکاران [۴۴] تغییرات کاربری جنگل در منطقه فندقلو در دوره ۲۰۱۹-۲۰۱۰ بررسی و مدل‌سازی آن برای سال ۲۰۲۵ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Landsat، Sentinel و Aster انجام شد. نتایج این تحقیق نشانگر روند کاهش پوشش جنگل در دوره مورد مطالعه است.

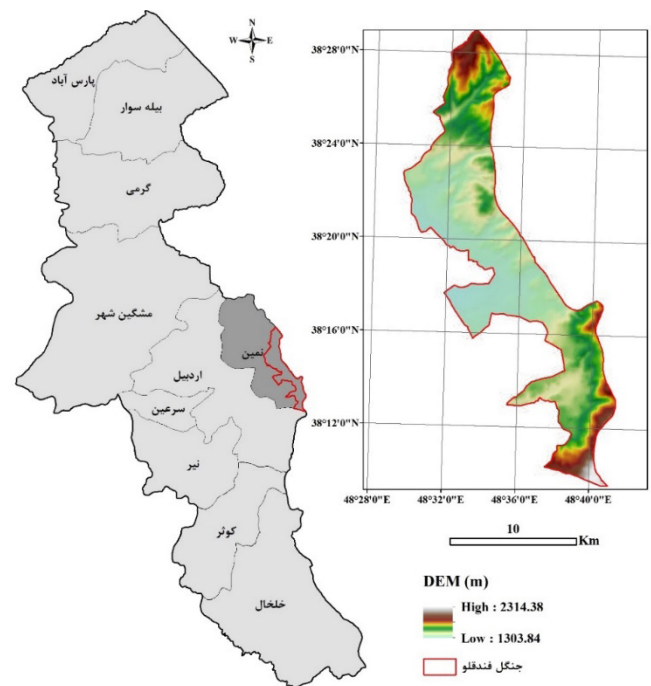
مطالعه حاضر باهدف شناسایی تغییرات مکانی-زمانی کاربری اراضی و پایش تغییر پوشش جنگلی در منطقه فندقلو در استان اردبیل، با استفاده از سنجنش‌ازدور و تکنیک GIS طی دو دهه گذشته انجام شده است. بر اساس سیمای سرزمین این منطقه، در این مطالعه ارزیابی تغییرات کاربری اراضی بر روی پنج طبقه کشاورزی، جنگل،

مرتفع، مناطق انسان ساز و مناطق آبی به همراه بررسی پویایی پوشش جنگل انجام می شود. این مطالعه سال ۱۳۸۲ را به عنوان سال پایه در نظر گرفت و کاربری اراضی را از سال ۱۳۸۲ تا ۱۴۰۲ برای ارزیابی روند تغییرات طی ۲۰ سال گذشته بررسی کرد. تجزیه و تحلیل دقیق تغییرات کاربری اراضی و تحلیل پویایی بوم سازگان جنگل به منظور پیشنهاد سیاست های حفاظت از جنگل مناسب باهدف استفاده مجدد از این منابع در چارچوب رویکرد اقتصاد چرخشی ضروری است.

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه

این مطالعه در منطقه جنگلی فندقلو به وسعت ۱۸۰۵۴/۲۱ هکتار در شهرستان نمین در شمال شرقی اردبیل انجام شده است (شکل ۱). این منطقه دارای دامنه ارتفاعی بین ۱۳۰۳ تا ۲۳۱۴ متر از سطح دریا است. میانگین دمای سالانه حدود ۹ درجه سانتی گراد و میانگین بارش سالانه نیز حدود ۳۸۰ میلی متر است. اقلیم این محدوده بر اساس طبقه بندی اقلیمی آمبرژه، نیمه مرطوب سرد است. این منطقه حفاظت شده بر اساس تراکم و نوع پوشش درختی (خالص، آمیخته)، ارتفاع و کاربری زمین (باز برای گردشگری یا بدون گردشگری (حفاظت شده)) به مناطق مختلف تقسیم شده است. این منطقه حاوی بزرگ ترین ذخیره گاه گونه فندق در ایران است. ذخیره گاه جنگلی فندقلو تقریباً ۹۱۳ هکتار از این منطقه را پوشش می دهد [۴۰].



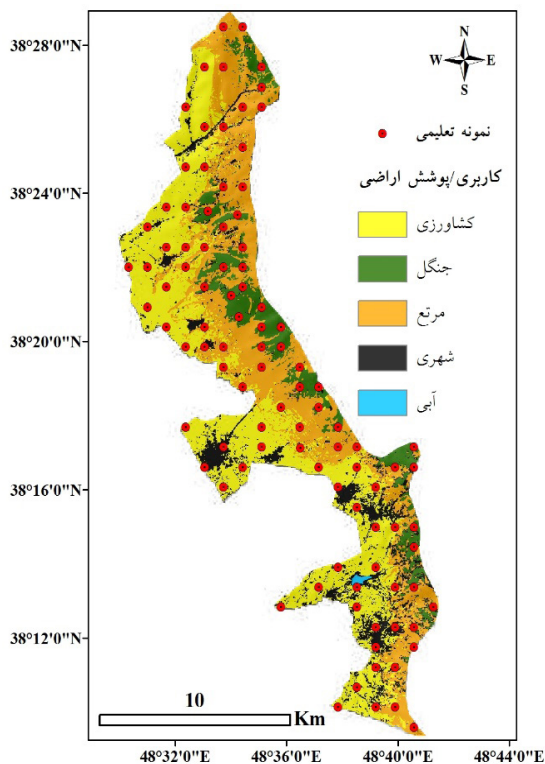
شکل ۱: موقعیت منطقه جنگلی فندقلو در شهرستان نمین در استان اردبیل به همراه مدل رقومی ارتفاع (متر).

روش تحقیق

مراحل اصلی این مطالعه شامل استخراج تصاویر ماهواره ای،

پیش پردازش تصاویر، استخراج منطقه مورد مطالعه، طبقه بندی نظارت شده و تولید نقشه های کاربری اراضی و تشخیص تغییر (پویایی) پوشش جنگلی است. برای دوره مورد مطالعه، به دلیل بارندگی کم تر و در دسترس بودن داده های بدون ابر، داده های فصل تابستان در نظر گرفته شد. در مرحله اول، برای تهیه داده کاربری زمین از تصاویر سنجنش از دور (Level-1) Landsat 8 OLI/TIRS L1TP (Precision Terrain) (ردیف/مسیر: ۳۳/۱۶۷؛ تاریخ: ۲۹ ژوئن ۲۰۲۳/ ۸ تیر ۱۴۰۲) و Landsat-7 ETM+ (ردیف/مسیر: ۳۳/۱۶۷؛ تاریخ: ۱ آگوست ۲۰۰۳/ ۱۰ مرداد ۱۳۸۲) مستخرج از سازمان زمین شناسی ایالات متحده استفاده شد. این تصاویر با اندازه تفکیک ۳۰ متری برای فصل تابستان و با پوشش ابر کم تر از ۱۰ درصد استخراج شدند. در مرحله پیش پردازش، دسته بندی لایه ها، تصحیح خطای نوارشدگی (Gap-Fill)، واسنجی رادیومتری و تصحیح اتمسفری به همراه استخراج منطقه مورد مطالعه در نرم افزار ENVI 5.6 انجام شد. در ادامه طبقه بندی کاربری/پوشش زمین منطقه مورد مطالعه با روش طبقه بندی نظارت شده انجام شد. روش طبقه بندی نظارت شده در مقایسه با طبقه بندی نظارت نشده به دلیل نتیجه کیفی آن توصیه می شود، مشروط بر اینکه داده های آموزشی کافی برای منطقه مورد مطالعه در دسترس باشد [۳۲]. در این مطالعه طبقه بندی نظارت شده با استفاده از الگوریتم طبقه بندی ماشین بردار پشتیبان (SVM) انجام شد. در تحقیقات متعدد پیشین گزارش شده که الگوریتم SVM در مقایسه با سایر الگوریتم ها از جمله شبکه عصبی مصنوعی [۱] و حداکثر احتمال [۶] از دقت بهتری برخوردار است. الگوریتم طبقه بندی نظارت شده SVM به عنوان یک روش آماری غیر پارامتریک، با دیگر الگوریتم های طبقه بندی متفاوت است، زیرا در این روش مرز تصمیم انتخاب می شود که فاصله را از نزدیک ترین نقاط داده همه طبقات به حداکثر می رساند [۴۸]. بدیهی است که برای روش طبقه بندی نظارت شده به داده مرجع (داده واقعیت زمینی) نیاز است که از مزایای الگوریتم SVM، کسب دقت طبقه بندی خوب با استفاده از نمونه های تعلیمی کوچک است که منجر به کاهش هزینه ها و افزایش سرعت کار طبقه بندی می شود [۹، ۱۸]. در این مطالعه برای تهیه نمونه های تعلیمی مرجع برای طبقات مختلف از تصاویر Google Earth برای سال های مورد مطالعه (۱۳۸۲ و ۱۴۰۲) استفاده شد. سپس تفکیک پذیری طیفی نمونه های تعلیمی مرجع مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت که بر اساس معیارهای فاصله جفریز-ماتوسیتا (Jeffries-Matusita)، واگرایی تبدیل یافته (Transformed Divergence) انجام شد.

بعد از انجام طبقه بندی نظارت شده، ارزیابی صحت برای مقایسه تصاویر طبقه بندی شده با داده های واقعیت زمینی انجام شد. بر اساس نتایج ماتریس خطای طبقه بندی کننده، می توان ارزیابی کرد که آیا یک تصویر به درستی طبقه بندی شده است یا خیر. مجموعه داده های مرجع (نمونه های تعلیمی برای اعتبارسنجی) برای هر دوره (۱۳۸۲ و ۱۴۰۲) با استفاده از نقشه Google Earth برای هر



شکل ۲: موقعیت نمونه‌های تعلیمی (داده‌های مرجع) برای اعتبارسنجی تصاویر ماهواره‌ای طبقه‌بندی شده.

جدول ۱: نتایج ارزیابی صحت تصاویر طبقه‌بندی شده در سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۴۰۲

طبقه کاربری اراضی	۱۳۸۲		۱۴۰۲	
	دقت کاربر	دقت تولیدکننده	دقت کاربر	دقت تولیدکننده
کشاورزی	۹۶/۱۴	۹۰/۲۵	۸۷/۴۱	۹۳/۶
جنگل	۹۵/۲۷	۹۴/۸	۹۶/۱۹	۹۸/۲۹
مرتع	۸۵/۳۶	۸۹/۱۳	۹۱/۵	۹۵/۳۲
انسان‌ساز	۹۸/۶۷	۸۶/۲	۸۸/۷۱	۹۰/۲۷
آب	۷۸/۵۵	۸۳/۱۳	۹۱/۲۴	۹۴/۳۴
دقت کلی	۹۲/۱		۹۴/۸	
ضریب کاپا	۰/۸۹		۰/۹۲	

نتایج و بحث

برای ارزیابی صحت برای تصاویر طبقه‌بندی شده، یک ماتریس ابهام تهیه شد و نتایج نشان داد که دقت کلی برای تصاویر طبقه‌بندی شده به ترتیب برای سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۴۰۲ به ترتیب ۹۲/۱ درصد و ۹۴/۸ درصد بود. علاوه بر این، مقادیر ضریب کاپا برای سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۴۰۲ به ترتیب ۰/۸۹ و ۰/۹۲ بود (جدول ۱). با توجه به نتایج به دست آمده، مقادیر دقت کلی بالاتر از ۸۵ درصد (حداقل مقدار مورد نیاز پیشنهاد شده توسط انیولوراند و همکاران [۱۲]) و مقادیر ضریب کاپا بیش از ۰/۸۵ است که تطابق خوب بین تصاویر طبقه‌بندی شده و داده‌های مرجع را نشان می‌دهد. در استفاده

طبقه کاربری زمین جمع‌آوری شد. در مجموع ۱۰۰ داده مرجع با استفاده از روش نمونه‌گیری تصادفی طبقه‌ای برای ارزیابی دقت جمع‌آوری شد (شکل ۲). دقت کلی و مقادیر ضریب کاپا با استفاده از ماتریس خطا با کاربرد ابزار ROIs واقعیت زمین در نرم‌افزار ENVI تجزیه و تحلیل شد. ماتریس خطا و معیارهای دقت کلی، دقت کاربر (خطای کمسیون یا مثبت کاذب) و دقت تولیدکننده (حذف خطا یا منفی کاذب) برای هر طبقه و نیز ضریب کاپا، مبنای ارزیابی صحت تصاویر طبقه‌بندی شده انتخاب شده است [۳۱]. در مطالعه حاضر دقت کلی و ضریب کاپا با استفاده از معادلات (۱) و (۲) تعیین شد.

$$OA = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ii}}{n} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن OA دقت کلی، x_{ii} عناصر قطری در ماتریس خطا است و n تعداد کل نمونه‌ها در ماتریس خطا است.

ضریب کاپا (Cohen Kappa; K) سعی در محاسبه میزان همخوانی بین منطقه طبقه‌بندی شده با منطقه مشاهده شده را ضمن حذف همخوانی‌های با شانس، دارد [۱۶]. K به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^n x_{ii} - \sum_{i=1}^n (x_{i+} x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^n (x_{i+} x_{+i})} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن r تعداد ردیف‌ها در ماتریس خطا، x_{ii} تعداد مشاهدات در ردیف i و ستون i و x_{i+} و x_{+i} مجموع حاشیه‌ای (لبه‌ای) به ترتیب ردیف i و ستون i و N تعداد کل مشاهدات است. ارزش‌های ضریب کاپا معمولاً بین ۰ و ۱ تغییر می‌کند، ارزش ۱ بیانگر همخوانی کامل است.

تشخیص تغییر کاربری اراضی یک فناوری مهم با کاربرد در زمینه‌های مختلف از جمله آشفستگی جنگل، تغییرات اراضی زراعی و گسترش شهری است. تشخیص تغییر، یک تکنیک پس از طبقه‌بندی است که کمک می‌کند تا تبدیل یک طبقه کاربری/پوشش زمین به طبقه دیگر برای تصاویر طبقه‌بندی شده چندزمانی ارزیابی شود [۴]. در این مطالعه، تجزیه و تحلیل ماتریس تغییر برای تصاویر سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۴۰۲ با استفاده از ابزار تشخیص تغییر در نرم‌افزار ENVI 5.6 انجام شد. بر اساس ماتریس تغییر، می‌توان زیان و سود را برای هر طبقه کاربری اراضی برای یک دوره معین تحلیل ارائه کرد. مؤلفه‌های درصد تغییر و میزان تغییر در دوره مورد مطالعه با استفاده از معادلات (۳) و (۴) به صورت زیر محاسبه شد:

$$PC = \frac{A_{t_2} - A_{t_1}}{A_{t_1}} \times 100 \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن PC درصد تغییر، A_{t_1} مساحت در سال نخست، A_{t_2} مساحت در سال آخر و t فاصله بین دو زمان است.

$$RC (ha/year) = \frac{A_{t_2} - A_{t_1}}{t} \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در آن RC میزان تغییر است.

از تصاویر Landsat در آنالیز زمانی-مکانی تغییرات کاربری اراضی، در مطالعات آمینی پارسا و صالحی [۵] و فهد و همکاران [۱۴] نیز ارزیابی صحت طبقه‌بندی بیش از ۸۵ درصد به دست آمد.

در این مطالعه داده‌های Landsat با وضوح مکانی ۳۰ متر برای تعیین طبقات کاربری اراضی و تعیین مساحت، تلفات و سود از سال ۱۳۸۲ تا ۱۴۰۲ بررسی شد. نتایج حاصل از طبقه‌بندی کاربری زمین در جدول ۲ ارائه شده و در شکل ۲ به تصویر کشیده شده است. از نقشه‌های خروجی تصاویر طبقه‌بندی شده، پنج طبقه کاربری زمین، شامل کشاورزی، جنگل، مرتع، مناطق انسان‌ساز و مناطق آبی تولید شد (شکل ۳). مقادیر ارائه شده در جدول ۲ طبقات مختلف کاربری اراضی را برحسب مساحت و درصد پوشش در دوره مورد مطالعه بیان می‌کند. این جدول مقایسه‌ای امکان تجزیه و تحلیل تغییرات کاربری اراضی را از سال ۱۳۸۲ تا ۱۴۰۲ فراهم می‌کند که یک دوره ۲۰ ساله را پوشش می‌دهد و اطلاعاتی در مورد تکامل تاریخی طبقات کاربری زمین همراه با تغییرات آن‌ها در طول زمان ارائه می‌دهد. با ترسیم داده‌های مکانی و نموداری ارائه شده در شکل ۳، می‌توان کاهش را در طول این ۲۰ سال در جنگل، مرتع و پهنه‌های آبی مشاهده کرد که نقش آن‌ها را در تعادل بوم‌سازگان‌های طبیعی کاهش داده است. روند کاهشی بدست آمده در بوم‌سازگان‌های مرتبط در منطقه مورد مطالعه مشابه با نتایج گزارش شده در تحقیق قبلی در منطقه فندقلو توسط ولیزاده کامران و همکاران [۴۴] است. در مقابل، منطقه انسان‌ساز رشد قابل توجهی را تجربه کرده است. همان‌طور که روند گسترده در بخش‌های مختلف منطقه نشان می‌دهد، مقدار زمین اختصاص یافته به کشاورزی نیز به میزان قابل توجهی افزایش یافته است.

جدول ۲: تجزیه و تحلیل کاربری اراضی از ۱۳۸۲ تا ۱۴۰۲

طبقه کاربری اراضی	مساحت (هکتار)			درصد پوشش		
	۱۳۸۲	۱۴۰۲	Δ	۱۳۸۲	۱۴۰۲	Δ
کشاورزی	۶۵۶۴/۴	۷۵۲۹	۹۶۹/۶	۳۶/۴	۴۱/۷	۵/۳
جنگل	۲۳۰۵/۸	۲۱۱۰/۶	-۱۹۵/۲	۱۲/۸	۱۱/۷	-۱/۱
مرتع	۷۵۸۲/۵	۶۳۳۶/۱	-۱۲۴۶/۴	۴۲	۳۵/۱	-۶/۹
مناطق انسان‌ساز	۱۵۶۴/۳	۲۰۴۷/۷	۴۸۳/۴	۸/۷	۱۱/۳	۲/۷
آب	۳۷/۱	۳۰/۷	-۶/۴	۰/۲۱	۰/۱۷	-۰/۰۴

به‌طور کلی، بیش‌ترین نسبت منطقه مورد مطالعه را مرتع و زمین کشاورزی و کم‌ترین نسبت را مناطق آبی در دوره مورد مطالعه (۱۳۸۲-۱۴۰۲) تشکیل می‌دهد. در سال ۱۳۸۲ کاربری مرتع بیش‌ترین سهم (۴۲ درصد) را در بین کاربری‌های موجود در منطقه مورد مطالعه به خود اختصاص داد، درحالی‌که در سال ۱۴۰۲ این

کاربری به رتبه دوم نزول یافته (با ۳۵/۱ درصد پوشش) و رتبه اول را کاربری کشاورزی به خود اختصاص داده است. کاربری کشاورزی ۶۵۶۴/۴۴ هکتار (۳۶/۴ درصد) را در سال ۱۳۸۲ پوشش داد و به‌طور قابل‌توجهی به ۷۵۲۹ هکتار (۴۱/۷ درصد) در سال ۱۴۰۲ رسید. اگرچه مناطق آبی کم‌ترین نسبت (حدود ۰/۲ درصد) را پوشش می‌دهد، اما پس از سال ۱۳۸۲ روند کاهشی دارد. به‌طور کلی، در دوره مورد مطالعه، مناطق کشاورزی و انسان‌ساز افزایش قابل‌توجهی نشان دادند، درحالی‌که جنگل و مرتع به‌طور قابل‌توجهی کاهش یافت (جدول ۲).

بر اساس نتایج، تغییرات کاربری اراضی قابل‌توجهی در منطقه مورد مطالعه طی ۲۰ سال گذشته رخ داده است. مناطق کشاورزی به دلیل نزدیکی و سایر علل ریشه‌ای با تبدیل سایر انواع کاربری‌ها، افزایش یافت. به دلیل افزایش روزافزون جمعیت در این منطقه، تقاضای زیادی برای سکونت‌گاه‌ها، محصولات کشاورزی و چوب سوخت وجود دارد که فشار بیش‌تری را بر منابع طبیعی پایه ایجاد می‌کند. همچنین، مناطق مرتعی در این دوره کاهش یافت، زیرا بخشی از آن بین افراد بدون زمین توزیع شده یا افراد زمین‌دار نیز با تجاوز به مناطق مرتعی اقدام به گسترش اراضی کشاورزی خود نمودند. مناطق جنگلی نیز به‌طور مداوم و غیرقانونی توسط جامعه محلی برای هیزم پاک‌سازی می‌شود. این دخالت‌های انسانی کنترل نشده، تخریب منابع محیط‌زیستی را تشدید می‌کند. یافته‌های مشابهی در افزایش کاربری‌های انسان‌ساخت و کشاورزی و کاهش جنگل‌ها، مراتع و نواحی آبی توسط سزق‌بائی و همکاران [۴۹]، مولائی هاشجین و علی‌نقی‌پور [۳۳] و جهدی [۲۸] گزارش شده است. آمینی پارسا و صالحی [۵] هم‌چنین گزارش دادند که مناطق انسان‌ساز (شهری) در دوره ۲۰۱۴-۱۹۸۹ در شهرستان نقده گسترش یافته است. هم‌چنین، ینگ و همکاران [۴۷] تغییرات سیمای سرزمین (۲۰۱۸-۱۹۸۰) را تجزیه و تحلیل کرده و نشان دادند که مناطق انسان‌ساز به‌طور قابل‌توجهی گسترش یافته که منجر به افزایش تکه‌تکه شدن و پیچیدگی الگوی سیمای سرزمین در منطقه مورد مطالعه شده است. نقشه‌های تغییرات کاربری اراضی تهیه شده در مطالعه چوداری و همکاران [۱۰]، نیز تغییر قابل‌توجهی از پوشش گیاهی (۳۵/۱ درصد) و طبقه آب (۸۵/۵ درصد) به کشاورزی، خاک لخت و سکونتگاه‌ها را نشان می‌دهد.

تغییر و انتقال انواع کاربری زمین قابل‌توجهی از یک طبقه به طبقه دیگر برای دوره مطالعه مشاهده شد. بین سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۴۰۲، زمین کشاورزی و مناطق انسان‌ساز به ترتیب ۹۶۴/۶ هکتار (۱۴/۵ درصد) و ۴۸۳/۴ هکتار (۳۰/۶ درصد) افزایش یافت. در مقابل، جنگل، مرتع و مناطق آبی به ترتیب ۱۹۵/۲ هکتار (۸/۶ درصد)، ۱۲۴۶/۴ هکتار (۱۶/۶ درصد) و ۶/۴ هکتار (۱۷/۴ درصد) کاهش یافت (جدول ۳).

جدول ۳: تغییرات کاربری اراضی برای دوره زمانی مورد مطالعه

طبقه کاربری اراضی	درصد تغییر	میزان تغییر (هکتار در سال)
کشاورزی	۱۴/۶۹	۴۸/۲۳
جنگل	-۸/۴۶	-۹/۷۶
مرتع	-۱۶/۴۴	-۶۲/۳۲
مناطق انسان‌ساز	۳۰/۹	۲۴/۱۷
آب	-۱۷/۲۵	-۰/۳۲

کرده که به‌ویژه در امتداد جاده‌ها و مناطق پیرامونی گسترش می‌یابد. نتایج مشاهده‌شده در این مطالعه از بیش‌ترین گسترش مناطق انسان‌ساز در دو دهه گذشته (۱۴۰۲-۱۳۸۲) در زمین‌های کشاورزی و مرتعی، مشابه با نتیجه مطالعه رحمان و همکاران [۳۸] در بررسی اثر گسترش شهری روی اراضی کشاورزی منطقه مورد مطالعه است. هم‌چنین، در مطالعه ویاتوسکا و همکاران [۴۵]، نقشه‌های تولیدشده از طبقه‌بندی طیفی نظارت‌شده داده‌های سنجنش‌ازدور نشان داد که در ۲۰ سال، مناطق ساخته‌شده حدود ۴۰ درصد افزایش یافته است که عمدتاً با حذف زمین‌های کشاورزی صورت گرفته است.

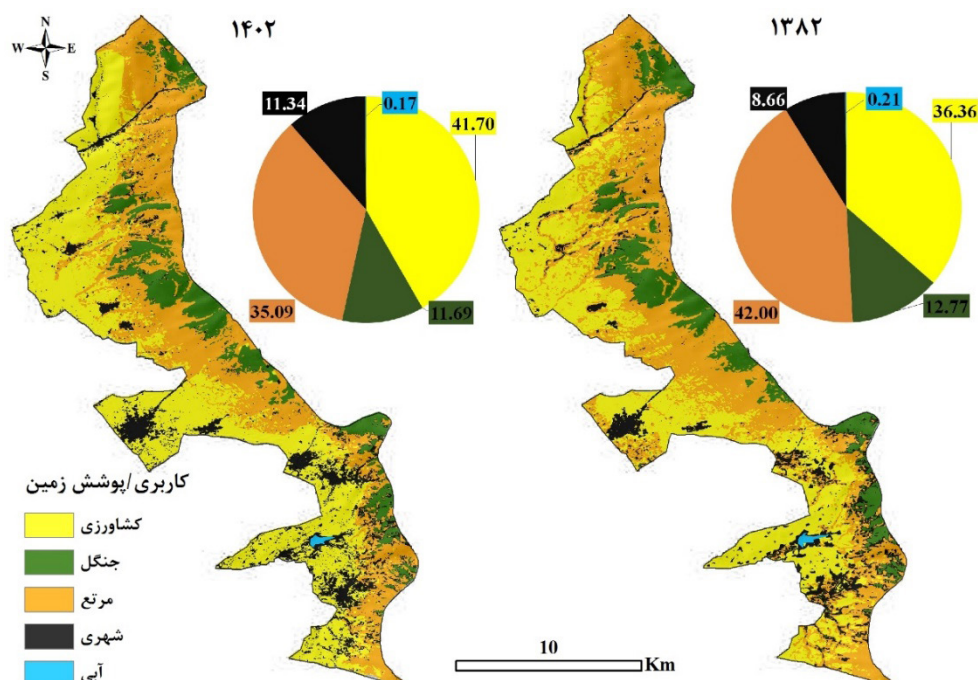
جدول ۴: ماتریس احتمال انتقال کاربری اراضی برای دوره زمانی مورد مطالعه

طبقه کاربری اراضی	کشاورزی	جنگل	مرتع	مناطق انسان‌ساز	آب
کشاورزی	۰/۸۲۳۶	۰/۰۰۰۰	۰/۰۸۳۲	۰/۰۷۵۶	۰/۰۰۰۰
جنگل	۰/۰۰۷۷	۰/۷۷۷۹	۰/۱۶۹۰	۰/۰۴۳۳	۰/۰۰۰۰
مرتع	۰/۲۳۴۵	۰/۰۲۵۳	۰/۶۶۰۳	۰/۰۶۹۲	۰/۰۰۰۰
مناطق انسان‌ساز	۰/۱۳۸۲	۰/۰۵۶۰	۰/۲۱۷۲	۰/۵۷۷۰	۰/۰۰۰۶
آب	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۱۹۲۳	۰/۸۰۲۳

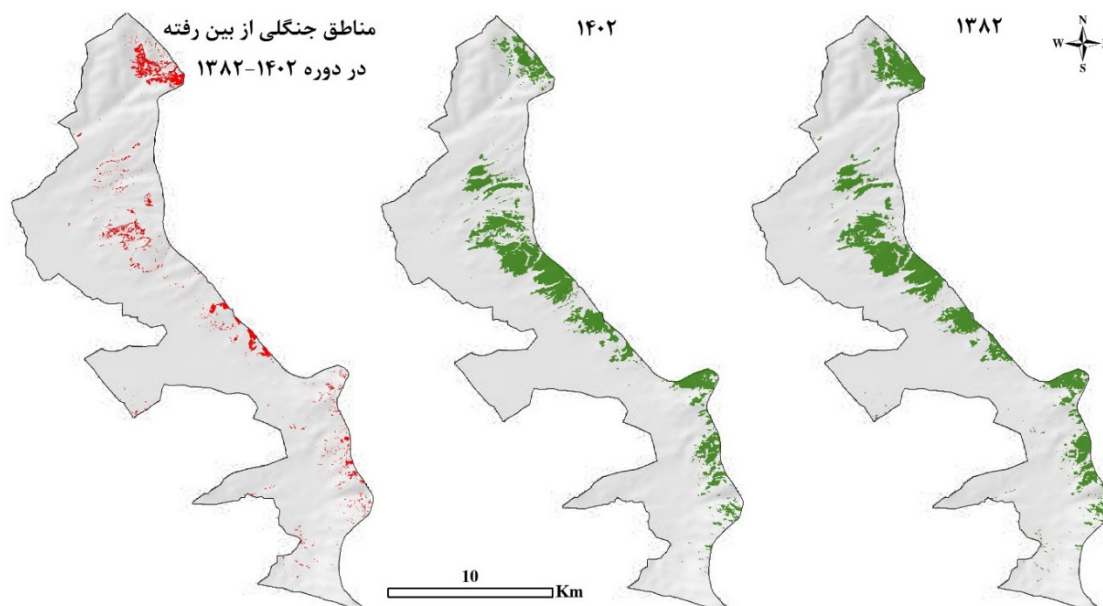
در این مطالعه، از نتایج جدول ماتریس انتقال، می‌توان سود و زیان هر طبقه را تشخیص داد (جدول ۴). مقادیر ارائه‌شده در قطر ماتریس (مقادیر پررنگ) نشانه عدم تغییر و تداوم طبقه است، درحالی‌که مقادیر خارج از قطر نشانه تغییر و تبدیل از یک طبقه به طبقه دیگر را نشان می‌دهد. در دوره مورد مطالعه ۲۰ ساله، حدود ۲۰۰ هکتار از جنگل از بین رفت. مناطق مرتعی هم بیش‌ترین ضرر و هم بیش‌ترین سود را (از طریق رشد مجدد)، با تلفات بیش‌تر از سود نشان دادند. بیش‌ترین تغییر در بین کاربری‌های اراضی مورد مطالعه در طی دوره مورد مطالعه مربوط به مراتع است که به میزان ۱۲۴۶/۴ هکتار کاهش مشاهده‌شده است. این نتیجه مشابه با نتایج مطالعه سبزیبائی و همکاران [۴۱] است که در آن بیش‌ترین تغییرات به‌دست‌آمده مربوط به زمین‌های مرتعی است. در مقابل، افزایش فوق‌العاده در مساحت مناطق انسان‌ساز یکی از تغییرات قابل‌توجه در منطقه مورد مطالعه است که عمدتاً از بناهای مسکونی تشکیل شده است، کل مساحت زیر بنا در سال ۱۳۸۲، ۱۵۶۴/۳ هکتار بوده است که تا سال ۱۴۰۲ رشدی معادل ۳۰/۶ درصد را به ثبت رسانده است (جدول ۳). گسترش ایجادشده بیش‌تر به زمین‌های کشاورزی و مراتع تجاوز

پویایی پوشش جنگل در ۲۰ سال تجزیه و تحلیل

در این مطالعه با استفاده از منابع موجود، امکان نقشه‌برداری از پوشش جنگلی و تجزیه و تحلیل تغییرات آن از سال ۱۳۸۲ تا ۱۴۰۲ فراهم شد (شکل ۴). اولین ارزیابی مربوط به تغییرات از نظر مساحت



شکل ۳: نقشه طبقات کاربری اراضی و سیر تکاملی کاربری اصلی زمین در دوره مورد مطالعه



شکل ۴: نقشه پوشش جنگل برای سال‌های مورد تجزیه و تحلیل (۱۳۸۲ و ۱۴۰۲) و نقشه مناطق جنگلی از بین رفته در دوره مورد مطالعه

بیشترین تخریب در حاشیه ارتفاعات بالادست توسط دامداران و کشاورزان از طریق تبدیل جنگل به مرتع و سپس اراضی دیم صورت مشاهده شده است. در مطالعه حقی زاده و همکاران [۲۳] نیز تخریب جنگل‌ها و تبدیل آن‌ها به مناطق مسکونی و زارعی مشاهده شده که منجر به افت آب زیرزمینی به همراه خشک‌سالی بلندمدت در منطقه شده است. مطابق با نتایج این مطالعه، روند تبدیل جنگل به مراتع یکی از چالش‌های اساسی در اغلب جنگل‌های استوایی است که دچار تبدیل شدید جنگل شده و جنگل‌زدایی در حال انجام است. در این جنگل‌ها، حدود ۷۰ درصد از منطقه جنگل‌زدایی برای مراتع و به منظور دامداری تعیین شده است [۴۳]. این جنگل‌زدایی و ایجاد مرتع به‌طور ناگهانی عملکرد بوم‌سازگان را مختل می‌کند. تبدیل جنگل به مرتع معمولاً از طریق یک فرآیند برداشت انتخابی درختان بارز، همراه سوزاندن پوشش گیاهی باقیمانده و کاشت علف‌ها برای ایجاد مراتع برای دامداری اتفاق می‌افتد [۳۰]. در کوتاه‌مدت، این فرآیند به افزایش pH و در دسترس بودن مواد مغذی در خاک کمک می‌کند و از تشکیل مراتع و تولید اولیه زیست‌توده حمایت می‌کند [۲۹]. باین وجود، در بلندمدت، برداشت و سوزاندن جنگل‌ها و به دنبال آن مدیریت نامطلوب مراتع بر خواص فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک تأثیر می‌گذارد. این اقدامات باعث اختلالات پیش‌رونده در خاک می‌شود که منجر به افزایش فرسایش، تغییر در مواد آلی، محتوای C و N و تغییر در رطوبت خاک و جوامع میکروبی می‌شود [۱۵].

نتیجه‌گیری

کاربری/پوشش زمین به‌عنوان لایه بالایی زمین است که توسط عوامل طبیعی و نیز عوامل انسانی تغییر می‌کند. تحت تأثیر این عوامل، پویایی بوم‌سازگان‌ها که در طول سال‌ها رخ داده است، باعث

بود. در واقع، تجزیه و تحلیل جدول ۲ و نیز شکل ۳ روند کاهشی نسبتاً واضحی را در پوشش جنگلی در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. در سال اول و آخر مطالعه، مساحت جنگل و شاخص پوشش جنگلی مربوطه (نسبت درصدی بین جنگل‌ها و مساحت منطقه فندق‌قلو) متفاوت بود. بین سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۴۰۲ کاهش ۱/۰۸ درصد پوشش جنگل مشاهده شد. در جدول ۳، این تغییرات به صورت خالص تغییر (۸/۴۶- درصد) و تغییرات سالانه (۹/۸- درصد) بیان شده است. تا با جزئیات بیش‌تری میزان کاهش از نظر شدت و سرعت برجسته شود. این کاهش گسترده جنگل می‌تواند ناشی از قطع گسترده غیرقانونی درختان و جنگل‌زدایی به دلیل عدم اجرای طرح‌های مدیریتی و برنامه‌های حفاظت در منطقه مورد مطالعه باشد. بنابراین لزوم اجرای این طرح‌ها و برنامه‌ها در این منطقه مطرح است. تجربه اثربخش این طرح‌ها را می‌توان در گزارش آلام و همکاران [۳] مشاهده کرد که جنگل در دو دوره زمانی مطالعه شده، دو الگوی تغییر متفاوت را نشان داد. در دوره اول (۲۰۰۱-۱۹۹۲) به دلیل بی‌ثباتی سیاسی در دره کشمیر، الگوی کاهشی جنگل مشاهده شد. باین حال در دوره دوم (۲۰۱۵-۲۰۰۱) با افزایش برنامه‌های حفاظت جنگل از طریق تلاش جدی اقشار مختلف جامعه و نهادهای مجری قانون، قاچاق چوب به سطح وسیع‌تری مهار شد و منجر به الگوی افزایشی جنگل شد.

جنگل‌های منطقه در معرض نرخ‌های بالایی از جنگل‌زدایی قرار گرفته است که با توجه به شکل ۴ شدت جنگل‌زدایی در بخش شمالی منطقه مورد مطالعه بیش‌تر از سایر مناطق است. این جنگل‌زدایی عمدتاً به دلیل گسترش مراتع و در ادامه گسترش مناطق انسان‌ساز و کشاورزی در منطقه مورد مطالعه است (جدول ۴). در مطالعه جعفری‌گزرین [۲۷] در بررسی تخریب و تغییر کاربری جنگل در جنگل‌های بالابند مازندران با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای،

change in Kashmir valley. *GeoJournal*, 85: 1529–1543.

4. Alawamy, J.S., Balasundram, S.K., and Boon Sung C.T. 2020. Detecting and analyzing land use and land cover changes in the region of Al-Jabal Al-Akhdar, Libya using time-series landsat data from 1985 to 2017. *Sustainability*, 12: 4490.

5. Amini Parsa, V., and Salehi, E. 2016. Spatio-temporal analysis and simulation pattern of land use/cover changes, case study: Naghadeh, Iran. *Journal of Urban Management*, 5 (2): 43-51.

6. Asmala, A., Kalsom Mohd, H.U., Othman, M., Mohd Mawardy, A., Hamzah, S., Abd Wahid, R., and Suliadi Firdaus, S. 2018. Comparative analysis of support vector machine, maximum likelihood and neural network classification on multispectral remote sensing data. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 9 (9): 10.

7. Berveglieri, A., Imai, N.N., Tommaselli, A. M. G., Martins-Neto, R.P., Miyoshi, G. T., and Honkavaara, E. 2021. Forest cover change analysis based on temporal gradients of the vertical structure and density. *Ecological Indicators*, 126(12):1470-160.

8. Bielecka, E. 2020. GIS Spatial Analysis Modeling for Land Use Change. A Bibliometric Analysis of the Intellectual Base and Trends. *Geosciences*, 10: 421.

9. Birzhandi, P., Kim, K., and Youn, H. 2022. Reduction of training data for support vector machine: a survey. *Soft Computing - A Fusion of Foundations, Methodologies and Applications*, 26 (8): 3729-3742.

10. Chowdhury, M., Hasan, M. E., and Abdullah-Al-Mamun, M. 2020. Land use/land cover change assessment of Halda watershed using remote sensing and GIS. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 23 (1): 63-75.

11. Diaci, J. 1999. Virgin Forests and Forest Reserves in Central and East European Countries: History, Present Status and Future Development. Department of Forestry and Renewable Forest Resources, biotechnology faculty, University of Ljubljana, 1999 - 171 p.

12. Eniolorunda, N.B., Mashi, S.A., and Nsofor, G.N. 2016. Toward achieving a sustainable management: characterization of land use/land cover in Sokoto Rima floodplain, Nigeria. *Environment, Development and*

ایجاد فرآیندها و پدیده‌هایی شده است که اساس تکامل زیستگاه‌ها و موجودات زنده مختلف بوده است. اکنون این تعادل طبیعی به شدت توسط فعالیت‌های انسانی به خطر افتاده است. نقشه به‌روز شده تغییرات کاربری اراضی یکی از منابع اطلاعاتی مهم برای برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار است. مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی، پیش‌بینی دقیقی در مورد میزان، حالت، ترکیب و پیکربندی تغییرات فراهم می‌کند که می‌تواند به‌عنوان یک سامانه هشدار اولیه برای برنامه‌ریزی مناسب، سیاست‌گذاری و تصمیم‌گیری به‌موقع استفاده شود. این تغییرات به‌طور مؤثر توسط سنجنده‌های ماهواره‌ای سنجنش‌ازدور با وضوح‌های طیفی، مکانی و زمانی متفاوت ثبت می‌شوند که فرصتی را برای ارزیابی تغییرات کاربری اراضی در یک منطقه معین در فواصل زمانی موردنظر فراهم می‌کنند. این مطالعه الگوی کاربری اراضی و تغییر آن را بین سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۴۰۲ در منطقه جنگلی فندقلو با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Landsat نشان می‌دهد. طبقات اصلی کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه الگوهای تغییر قابل‌توجهی را نشان دادند. به‌عنوان مثال، مساحت جنگل، مرتع و آب روند کاهشی را با تغییر خالص به ترتیب ۸/۵، ۱۶/۴ و ۱۷/۲ درصد، نشان داد. در مقابل، طبقات کشاورزی و مناطق انسان‌ساز روند افزایشی را با تغییر خالص به ترتیب ۱۴/۷ و ۳۰/۹ درصد، نشان دادند. بیش‌تر این تغییرات کاربری اراضی برنامه‌ریزی نشده و عمدتاً در نتیجه فعالیت‌های انسانی و با طیف وسیعی از آثار منفی بر بوم‌سازگان‌ها و محیط‌زیست است. نتایج این مطالعه در پشتیبانی از تصمیم‌گیری به سیاست‌گذاران در درک الگوی تغییرات کاربری اراضی و تدوین یک سیاست کاربری مؤثر و سازگار با محیط‌زیست در منطقه مورد مطالعه کمک می‌کند. هم‌چنین، نتایج نشان می‌دهد که تصاویر ماهواره‌ای GIS می‌توانند ابزار ارزشمندی برای مدیران محلی و برنامه‌ریزان برای نظارت بر مقیاس فرآیندهای توسعه به‌منظور تطبیق روش‌های مدیریت زمین با محیط در حال تغییر باشند.

منابع

1. Abdoli Laktasaraei, M., and Haghighi khomami, M. 2021. Comparison support vector machine and artificial neural network classification methods to produce landuse maps (Case study: Bojagh National Park). *Journal of Environmental Research and Technology*, 8 (5): 47-60. (In Persian)
2. Aghabarati, A., Marvie Mohajer, M.R., Etemad, V., and Sefidi, K. 2018. Structural characteristics of coppice forest stands in Fandoghloo Forest, Ardebil Province. *Forest Research and Development*, 24 (2): 223-239. (In Persian)
3. Alam, A., Bhat, M.S., and Maheen, M. 2020. Using Landsat satellite data for assessing the land use and land cover

2018. The Effect of Land use Changes and Drought on the Groundwater Level in Chaghalvandi area. *Extension and Development of Watershed Management*, 6 (23): 1-7. (In Persian)
24. Hanaček, K., and Rodríguez-Labajos, B. 2018. Impacts of land-use and management changes on cultural agroecosystem services and environmental conflicts—A global review. *Global Environmental Change*, 50: 41-59.
25. Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. A., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, S. V., Goetz, S. J., Loveland, T. R., Kommareddy, A., Egorov, A., Chini, L., Justice, C. O., and Townshend, J. R. G. 2013. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science*, 342(6160): 850-853.
26. Hao, R.F., Yu, D.Y., Liu, Y.P., Liu, Y., Qiao, J., Wang, X., and Du, J. 2017. Impacts of changes in climate and landscape pattern on ecosystem services. *Science of the Total Environment*, 579: 718–728.
27. Jaefari Garzin, B. 2020. Estimation of the amount of destruction of highland forests in Mazandaran using satellite data. *Sustainable Management of Hyrcanean Forests*, 1 (1): 25-34. (In Persian)
28. Jahdi, R. 2023. Land use changes analysis and prediction using remote sensing and QGIS MOLUSCE Plugin in the Siahkal County. *Journal of Rainwater Catchment Systems*, 10 (4): 29-42. (In Persian)
29. Melo, V.F., Orrutúa, A.G., Motta, A.C.V. et al. 2017. Land use and changes in soil morphology and physical-chemical properties in Southern Amazon. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 41: 1–14.
30. Meyer, K.M., Klein, A.M., Rodrigues, J.L. et al. 2017. Conversion of Amazon rainforest to agriculture alters community traits of methane-cycling organisms. *Molecular Ecology*, 26: 1547–56.
31. Mirzaei Zadeh, V., Nik Nejad, M., and Heydari, M. 2014. Monitoring spatial and temporal changes of cover and land use in Arkavaz watershed using remote sensing. *Extension and Development of Watershed Management*, 2(6): 13-24. (In Persian)
32. Mohd Hasmadi, I., Pakhriazad, H.Z., and Shahrin, M.F. 2009. Evaluating supervised and unsupervised techniques for land cover mapping using remote sensing data. *Geografia: Malaysian Journal of Society and Space*, 5 Sustainability, 19: 1855-1878.
13. FAO and UNEP. 2020. The State of the World's Forests 2020. Forests, biodiversity and people. Rome.
14. Fahad, K.H., Hussein S., and Dibs, H. 2020. Spatial-Temporal Analysis of Land Use and Land Cover Change Detection Using Remote Sensing and GIS Techniques. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Volume 671, 3rd International Conference on Engineering Sciences 4–6 November 2019, Kerbala, Iraq.
15. Ferreira, A.C.C., Leite, L.F.C., Araújo, A.S.F. et al. 2016. Land-use type effects on soil organic carbon and microbial properties in a semi-arid region of Northeast Brazil. *Land Degradation & Development*, 24: 171–8.
16. Filippi, J.B., Mallet, V., and Nader, B. 2014. Evaluation of forest fire models on a large observation database. *Natural Hazard Earth System*, 2: 3219–3249.
17. Findell, K.L., Berg, A., Gentine, P., Krasting, J. P., Lintner, B. R., Malyshev, S., J. A. Santanello Jr., and Shevliakova, E. 2017. The impact of anthropogenic land use and land cover change on regional climate extremes. *Nature Communication*, 8: 989.
18. Ghaffari, H. 2021. Speeding up the testing and training time for the support vector machines with minimal effect on the performance. *The Journal of Supercomputing*, 77 (10): 11390-11409.
19. Ghasemi, F., and Fataei, A. 2005. The study of the effect of forest management on biodiversity of woody species in Fandoghlo forest. *Pajouhesh & Sazandegi*, 70: 11-18. (In Persian)
20. GholamZadeh, A., Mahdavi, R., and Bazrafshan, O. 2023. Monitoring of land use changes and river flow for sustainable management in Esteghlal Minab dam area. *Extension and Development of Watershed Management*, 10 (38): 18-28. (In Persian)
21. Goulart, F.F., Chappell, M.J., Mertens, F., and Soares-Filho, B. 2023. Sparing or expanding? The effects of agricultural yields on farm expansion and deforestation in the tropics. *Biodiversity and Conservation*, 32: 1089–1104.
22. Guru, B., and Anubhooti. 2015. Urban growth effects for land use changes leading to natural hazards in parts of Mumbai metro city, India. *Disaster Advances*, 8(10): 1–14.
23. Haghizadeh, A., Nasrollahi, A.H., and Arshia, A.

41. Sabzghabaei, G.R., Raz, S., Dashti, S., and Yousefi Khanghah, S. 2017. Study the Changes of Land Use by the Help of GIS & RS Case Study: Andimeshk City. *Geography and Development*, 15 (46): 35-42. (In Persian)
42. Teimourzadeh, A., Ghorbani, A., and Kavianpour, A.H. 2016. Study on the flora, life forms and chorology of the south eastern of Namin forests (Asi-Gheran, Fandoghloo, Hasani and Bobini), Ardabil province. *Journal of Plant Research*, 28 (2): 265-275. (In Persian)
43. Thomaz E. L., Nunes D. D., and Watanabe, M. 2020. Effects of tropical forest conversion on soil and aquatic systems in southwestern Brazilian Amazonia: A synthesis. *Environmental Research*, 183: 109220.
44. Valizadeh Kamran, K., Sadegi, M., Hejazi, S.A. 2023. Modeling Land Changes forest Using by LCM in Fandoqhllo Forest Area. *Journal of Civil and Environmental Engineering*, 52 (4): 127-140. (In Persian)
45. Wiatkowska, B., Słodczyk, J., and Stokowska, A. 2021. Spatial-Temporal Land Use and Land Cover Changes in Urban Areas Using Remote Sensing Images and GIS Analysis: The Case Study of Opole, Poland. *Geosciences*, 11: 312.
46. Wubie M.A., Assen M., and Nicolau M.D. 2016. Patterns, causes and consequences of land use/cover dynamics in the Gumara watershed of Lake Tana basin, Northwestern Ethiopia. *Environmental Systems Research*, 5: 12.
47. Yang, D., Zhang, P., Jiang, L., Zhang, Y., Liu, Z., and Rong, T. 2022. Spatial change and scale dependence of built-up land expansion and landscape pattern evolution—Case study of affected area of the lower Yellow River. *Ecological Indicators*, 141: 109123.
48. Yeneneh, N., Elias, E., and Legese Feyisa, G. 2022. Detection of land use/land cover and land surface temperature change in the Suha Watershed, North-Western highlands of Ethiopia. *Environmental Challenges* 7: 100523.
- (1): 1-10.
33. Molaei Hashjin, M., and Alinaghypour, M. 2021. On The Study of the Land Use Changes with Emphasis on Population Growth between 2001 to 2016 (The Case Study: Rasht City, Guilan Province). *Journal of Geographical Engineering of Territory*, 4 (2): 225-241. (In Persian)
34. Naseri, D., Alikhah Asal, M., Hedayat, S., Fathi, A., and Ghanmi Jaber, M. 2016. Investigating the capability of NDVI index in the preparation of the land cover map of Fandoghlo Namin region. 2nd Conference on Conservation Natural Resources and Environment. University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, 2 March 2016. (In Persian)
35. Peprah, K., Aabeyir, R., and Kuuwaabong, G. 2023. Degradation of Forest Reserves in Asunafo Forest District, Ghana. *Sustainable Development*. IntechOpen. DOI: 10.5772/intechopen.106993.
36. Picuno, P., Sica, C., Dimitrijevic, A., Tortora, A., Capobianco, R.L., and Statuto, D. 2015. New Technologies for the Sustainable Management and Planning of Rural Land and Environment. In: Vastola, A. (eds) *The Sustainability of Agro-Food and Natural Resource Systems in the Mediterranean Basin*. Springer, Cham.
37. Qin, F., Fukamachi, K., and Shibata, S. 2022. Land-Use/Landscape Pattern Changes and Related Environmental Driving Forces in a Dong Ethnic Minority Village in Southwestern China. *Land*, 11: 349.
38. Rahman, G., Chandio, N.H., UL Moazzam, M.F., & Al Ansari, N. 2023. Urban expansion impacts on agricultural land and thermal environment in Larkana, Pakistan. *Frontiers in Environmental Science*, 11: 2023.
39. Rawat J.S., and Kumar M. 2015. Monitoring land use/cover change using remote sensing and GIS techniques: a case study of Hawalbagh block, district Almora, Uttarakhand, India. *Egypt. J. Rem. Sens. Space Science*, 18: 77-84.
40. Rostami Kia, Y., and Sharifi, J. 2019. The Fandoglu Forest, the largest common hazel forest reserve in Iran. *Iran Nature*, 3 (6): 90-99. (In Persian)

Abstract

A Spatiotemporal Change Detection and Forest Cover Dynamics in the Fandoghlo Region (NW Iran)

R. Jahdi¹

Received: 2023/03/27 Accepted: 2023/05/05

Detecting the spatiotemporal changes in land use and especially the dynamics of ecosystems is essential for evaluating the effectiveness of ecosystem management strategies, developing monitoring systems based on quantitative and qualitative tools for their protection, valuation, and restoration, and finally the social, environmental and political interactions of a region. In this research, in order to identify changes, Landsat-7 ETM+ and Landsat-8 OLI/TIRS L1TP images were used for 2003 (August) and 2023 (June), respectively, under supervised classification using Support Vector Machine (SVM) classification algorithm. Five main land use classes including agriculture, forest, rangeland, built-up, and water areas were extracted. The accuracy evaluation results for the classified images showed an overall accuracy of $> 92\%$ and a Kappa coefficient of > 0.89 for both years. During the period, agriculture and built-up areas increased, while forests, rangelands, and water bodies decreased. The highest rate of change (62.3 hectares per year) was observed in rangelands. The results of forest cover change maps after classification show a significant decrease of 8.5 percent in forest cover over a period of 20 years. The main reason for this change is the observed replacement of native forest cover with rangelands (16.9 %), built-up areas (4.3 %), and agricultural areas (0.8 %). Most of these land use changes are unplanned and mainly a result of human activities with a wide range of negative effects on natural ecosystems. Therefore, effective policies and land use management are needed to protect the environmental and aesthetic benefits of ecosystems, as well as to manage natural hazards caused by these changes. Apart from the assessment of land use changes, this research provides insight into the dynamics of forest cover, along with its causes and consequences, and in this way shows the hot spots of forest loss. Forest cover change monitoring is essential for developing sustainable forest management strategies that restore forest resources and ecosystem services.

Keywords: Forest dynamic, Land use, Spatial-temporal changes, Support Vector Machine

1. Assistant Professor of Forest Sciences, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, Email: roghayeh.jahdi@uma.ac.ir