Iranian Journal of
Rainwater Catchment Systems

مجله علمی سامانه‌های سطوح آبگیر باران

شاپا الکترونیکی: ۱۵۳۱-۲۷۸۲ شاپا چاپی: ۵۹۷۰-۲۴۲۲

تحلیل و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از سنجش از دور و افزونه QGIS MOLUSCE در شهرستان سیاهکل

رقیه جهدی*[۱]

۱. استادیار علوم و مهندسی جنگل، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱

صفحات: ۴۲- ۲۹

نوع مقاله: علمی-پژوهشی

چکیده

کمی‌سازی پویایی تغییر کاربری اراضی در مقابله با چالش‌های محیط‌زیستی و اجتماعی-اقتصادی مانند تغییرات اقلیمی سال‌های اخیر، حیاتی است. در این مطالعه تغییرات کاربری اراضی شهرستان سیاهکل در استان گیلان در سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۴۰۰ و پیش‌بینی تغییر در سال ۱۴۲۰ بررسی شد. داده‌های چندزمانی لندست ۷-ETM$^+$ و لندست ۸-OLI مربوط به سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۴۰۰ تجزیه و تحلیل شد. برای استخراج داده‌های کاربری اراضی، طبقه‌بندی رقومی پیکسل مبنا با استفاده از الگوریتم ISODATA با شاخص کاپای بالای ۰/۹۷ برای تصاویر لندست اعمال شد. علاوه بر این، افزونه MOLUSCE در نرم‌افزار QGIS برای مدل‌سازی تغییر کاربری اراضی در سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۸۰، تولید ماتریس احتمال انتقال و شناسایی آینده کاربری اراضی برای سال ۱۴۲۰ با استفاده از شبیه‌سازی اتوماتای سلولی بکار گرفته شد. طی سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۸۰، نتایج نشان داد که سطوح تحت پوشش مناطق کشاورزی، اراضی لخت، اراضی ساخته‌شده، جنگل‌کاری، درختچه‌زار و اراضی جنگلی با نرخ رشد به‌ترتیب حدود ۳۱، ۳۹، ۶۷، ۸۸، ۲۰ و ۵ درصد، افزایش یافته است. سطح تحت پوشش جنگل، علفزار و نواحی آبی به‌ترتیب حدود ۲۲، ۱۶ و ۱۸ درصد کاهش یافته است. چمن‌زارهای کوهستانی تغییر قابل‌توجهی نداشت. از نظر کاربری اراضی پیش‌بینی‌شده نیز نتیجه نشان‌دهنده نوسانات تغییر کاربری اراضی، به‌ویژه برای اراضی ساخته شده است که در طول زمان افزایش ثابتی را نشان می‌دهد. شواهدی از گسترش جنگل‌کاری‌ها مشاهده شد، اما کاهش مداوم جنگل‌های طبیعی می‌تواند تأثیر منفی بر محیط طبیعی و الگوهای سیمای‌سرزمین منطقه‌ای داشته باشد. در نتیجه‌گیری کلی، نتایج پایش و مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی می‌تواند به عنوان هشداری برای مدیران، سیاست‌گزاران و برنامه‌ریزان تلقی شود. هم‌چنین توصیه می‌شود از داده‌های بیش‌تری برای تجزیه و تحلیل آثار تغییرات کاربری اراضی بر الگوهای سیمای‌سرزمین در مطالعات آینده استفاده شود.

کلمات کلیدی: سیاهکل، پویایی تغییرات کاربری اراضی، شبیه‌سازی، MOLUSCE، الگوی سیمای‌سرزمین.

مقدمه

در نیم‌قرن گذشته، گسترش و تشدید فعالیت‌های کاربری اراضی در بیش‌تر مناطق ایران رخ داده است. شمال ایران، همانند سایر مناطق، توسعه سریع شهری را تجربه کرده که منجر به از دست دادن قابل‌توجه بوم‌سازگان‌های طبیعی شده است. جنگل‌زدایی و گسترش کشاورزی، الگوهای غالب تغییر کاربری اراضی در این مناطق بوده است. اگرچه، تغییرات در شیوه‌های کاربری زمین، مانند مدیریت زمین کشاورزی و شهرنشینی، محرک‌های مهم تغییر بوده است (Sarparast & Niknejad, 2022). با توجه به اینکه تغییرات انسانی تمایل به تجربه تخریب محیط‌زیستی نسبتاً

* نویسنده مسئول: رقیه جهدی Email: roghayeh.jahdi@uma.ac.ir

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1401.10.4.3.8]

بالاتری نسبت به سایر پویایی‌های کاربری اراضی دارند، این مسئله تحلیل تغییر کاربری اراضی را به یک موضوع اساسی در توسعه پایدار تبدیل می‌کند (Wang, 2020). مطالعات مختلفی نشان داده‌اند که تغییرات کاربری اراضی به‌ویژه گسترش شهری، جنگل‌زدائی و کاهش تنوع زیستی، تکه‌تکه شدن زمین‌های کشاورزی، کاهش کیفیت آب، افزایش انتشار کربن و دما، به‌طور قابل‌توجهی با تخریب محیط طبیعی مرتبط هستند. بنابراین، پایش و تشخیص پویایی تغییرات کاربری اراضی از گذشته به آینده، به ویژه تحت تأثیر عوامل انسانی و فیزیکی و نقش آن‌ها در تغییرات سیمای سرزمین محلی، برای حفظ و یکپارچه‌سازی بوم‌سازگان و توسعه پایدار حیاتی است.

در مطالعات تحلیل کاربری اراضی از مدل‌های مختلف برای ارزیابی مکانیسم تغییر کاربری اراضی همراه با فنون سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده شده است (KouroshNiya et al., 2019; Abbas et al., 2021; Khan & Sudheer, 2022). متداول‌ترین فنون مدل‌های مبتنی بر معادلات (Comber et al., 2016)، آمار (Winkler et al., 2021)، زنجیره‌های مارکوف (Jafarpour Ghalehteimouri et al., 2022) و مدل‌های سلولی (Tripathy & Kumar, 2019) هستند. این مدل‌های کاربری اراضی با توجه به مکانیزم‌های مختلف شبیه‌سازی، دارای قابلیت‌ها و محدودیت‌های متفاوتی هستند که می‌تواند منجر به نتایج شبیه‌سازی مختلفی شود. بنابراین، برای پیش‌بینی دقیق الگوی مکانی کاربری اراضی یک منطقه، انتخاب مناسب‌ترین مدل با مقایسه مدل‌های مختلف شبیه‌سازی بسیار مهم است. از سوی دیگر در مطالعات تحلیل کاربری اراضی، الگوهای تغییر کاربری اراضی همراه با عوامل محرک آن‌ها به‌صورت جغرافیایی و آماری بر پایه الگوریتم‌های مختلف مدلسازی شده است. الگوریتم مدلسازی با استفاده از لایه‌های موضوعی موثر بر پویایی تغییرات کاربری اراضی مانند نقشه‌های ارتفاع، شیب، متغیرهای جمعیت‌شناختی مانند تولید ناخالص داخلی، نرخ اشتغال، تراکم منطقه، فاصله بین مناطق، فاصله از جاده، فاصله از مراکز جمعیتی و .. استفاده شده است (Abbas et al., 2021; Khan & Sudheer, 2022). مدل‌های مبتنی بر GIS به ما امکان پایش و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی را بر اساس عوامل محیط‌زیستی و اجتماعی-اقتصادی می‌دهند. این مدل‌های تغییر کاربری اراضی به‌صورت ابزارهای مستقل (مانند شیب، کاربری زمین، وسعت شهری، حمل‌ونقل، سایه‌روشن (SLEUTH)، تبدیل کاربری زمین و آثار آن (CLUE) و محیط پویا برای عملیات پردازش زمین (EGO))، یا افزونه‌ها در نرم‌افزار GIS مانند افزونه MOLUSCE (ماژول‌هایی برای ارزیابی تغییر کاربری زمین) در QGIS هستند (Muhammad et al., 2022). الگوریتم‌های پیش‌بینی نیز از روش‌های بسیار پیشرفته مانند یادگیری عمیق و زنجیره مارکوف تا روش‌های مبتنی بر تحلیل رگرسیون، متفاوت هستند. انتظار بر این است که استفاده از این مدل‌ها در تحقیقات کاربری اراضی به درک بهتر فرآیندها و مکانیسم‌های تغییرات کاربری اراضی در طول زمان، آشکارسازی روابط بین طبقات کاربری اراضی مختلف و آگاهی‌رسانی برای تصمیم‌سازی بهتر برای مدیریت پایدار و توسعه منطقی اراضی کمک کند.

محققان در مطالعات زیادی با استفاده از سنجش از دور و GIS به‌طور گسترده بر تعیین کمیت، پایش، تهیه نقشه و پیش‌بینی تغییرات مکانی-زمانی کاربری اراضی متمرکز شدند. در اغلب این مطالعات، رشد شهری به عنوان علت اصلی تکه‌تکه شدن و از بین رفتن بوم‌سازگان‌های مهم مانند جنگل‌ها و نواحی آبی شناسایی شده است (Ekumah et al., 2020; Dawid & Bielecka, 2022). به عنوان مثال، نادری و همکاران (۱۴۰۱) بر مبنای تصاویر لندست طبقه‌بندی شده مربوط به سال‌های ۱۹۸۷، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۹ و استفاده از مدل زنجیره‌ای مارکوف و سلول خودکار مارکوف در افزونه MOLUSCE در QGIS به شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی و تحلیل وضعیت پویایی حوزه آبخیز حبله‌رود پرداختند. بر اساس نتایج این مطالعه در بخش‌های زیادی از منطقه مورد مطالعه، پوشش‌های مسکونی، زراعی و باغی جایگزین پوشش‌های گیاهی طبیعی شده است. در مطالعه Shabani و همکاران (۲۰۲۲) تغییرات کاربری اراضی و تاثیر رشد شهر سنندج بر تخریب اراضی در جهت‌های جغرافیایی طی دوره ۱۳۶۸ تا ۱۳۹۸ مورد بررسی قرار گرفت. هم‌چنین دقت سه مدل شبکه عصبی مصنوعی-اتوماتای سلولی (ANN-CA)، رگرسیون لجستیک-اتوماتای سلولی (LR-CA) و وزن شواهد-اتوماتای سلولی (WOE-CA) برای مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی ارزیابی و نتایج این مدل‌ها با مدل

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-18]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1401.10.4.3.8]

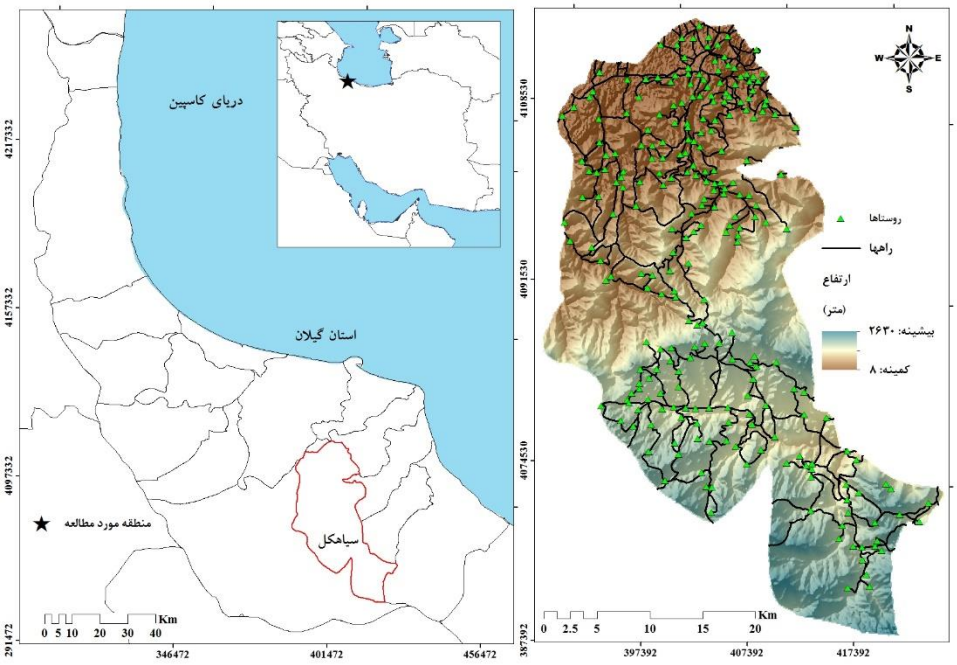
CA-Markov مقایسه شد. بر اساس نتایج مطالعه، مدل‌های ANN-CA، LR-CA و WOE-CA با دقت بیش از ۸۰ درصد برای مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی و رشد مناطق شهری کارآمد و مؤثر هستند.

این تحقیق بر مبنای استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست، در تلاش برای بررسی استفاده از نرم‌افزار متن‌باز QGIS یکپارچه با تکنیک‌های GIS به‌منظور شناسایی، ارزیابی و تحلیل تغییرات کاربری اراضی شهرستان سیاهکل بین سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۴۰۰، برای پیش‌بینی آینده کاربری اراضی است. قابل ذکر است که افزونه MOLUSCE در QGIS به دلیل قابلیت ادغام مدل‌های مختلف مورد استفاده در تحلیل و نیز پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در مقایسه با سایر ابزارها انتخاب شده است (Khan & Sudheer, 2022). اهداف اصلی این مطالعه شامل ۱) مدلسازی الگوهای زمانی-مکانی کاربری اراضی به منظور تعیین اندازه و جهت تغییرات آن در دو دهه گذشته، ۲) پیش‌بینی کاربری اراضی آتی تحت تاثیر عوامل فیزیکی و اقتصادی-اجتماعی در منطقه مورد مطالعه، ۳) شناسایی شدت تغییر کاربری اراضی فعلی و آثار بالقوه تغییر کاربری اراضی روی الگوی مکانی و ۴) تجزیه و تحلیل شدت کاربری اراضی پیش‌بینی شده. در این مطالعه از تحلیل شدت بر اساس ماتریس احتمال انتقال، یک چارچوب ریاضی مبتنی بر معادلات، برای تجزیه و تحلیل شدت‌های انتقال طبقات کاربری اراضی در طول زمان استفاده شد. نتایج این مطالعه با درک الگوهای تغییر کاربری اراضی و عوامل محرک آن، دانش مربوطه برای طرح‌ریزی فرآیندهای تغییر کاربری اراضی و روندهای زمانی و مکانی آن‌ها را ارائه می‌دهد که یک دستورالعمل مفید برای سیاست‌گزاران و جامعه مدنی است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این مطالعه در شهرستان سیاهکل با مساحت ۱۰۷۰ کیلومتر مربع، در شرق استان گیلان انجام شد (شکل ۱). این شهرستان با متوسط بارندگی سالانه تقریباً ۱۰۰۰ میلی‌متر، بیش‌تر تحت تاثیر جریانان‌های محلی توده‌های هوا شامل ریزش هوای سرد بر روی هوای گرم و مرطوب دریای کاسپین و مناطق کوهستانی ساحلی در فصول مختلف است. شهرستان سیاهکل به لحاظ توپوگرافی شامل سه بخش جلگه‌ای، پایکوهی و کوهستانی با توزیع ارتفاعی به‌ترتیب کم‌تر از ۱۰۰، ۵۰۰-۱۰۰ و بیش از ۵۰۰ متر از سطح دریاست (فتح‌الله‌زاده، ۱۳۸۹). انواع اصلی پوشش گیاهی در سیاهکل شامل جنگل‌های پهن‌برگ معتدله، علف‌زار، درختچه‌زار، چمن‌زارهای کوهستانی و مزارع است.



شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان گیلان، شمال ایران.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-18]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1401.10.4.3.8]

روش تحقیق

در این مطالعه تصاویر ماهواره‌ای برای سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۴۰۰ برای منطقه مورد مطالعه، از وب‌سایت کاوشگر زمین (https://earthexplorer.usgs.gov/) سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده (USGS) دانلود شد (جدول ۱). لازم به ذکر است که این دوره مطالعاتی به دلیل دسترسی به تصاویر ماهواره‌ای و نیز اطلاعات واقعیت زمینی از منطقه مورد مطالعه انتخاب شده است. در ابتدا نرم‌افزار پردازش تصویر سنجش از دور ENVI 5.6 و نرم‌افزار ArcGIS برای کالیبره کردن، تطبیق و بهبود تصاویر ماهواره‌ای استفاده شد. به‌منظور بهبود تصاویر، قبل از طبقه‌بندی تصویر، پیش‌پردازش-هایی شامل تصحیح رادیومتریک، تولید ترکیب‌ها و افزایش کنتراست بر روی تصاویر ماهواره‌ای خام در ENVI 5.6 انجام شد. در ادامه، با استفاده از فن طبقه‌بندی نظارت‌نشده و الگوریتم ISODATA، تصاویر پردازش‌شده طبقه‌بندی شد. این فن طبقه‌بندی چندین کلاس طیفی ایجاد کرد که بعداً انواع کاربری اراضی مربوطه به آن‌ها اختصاص داده شد. طبقات طیفی به ۱۰ کلاس اطلاعاتی مجدداً طبقه‌بندی شدند که شرح آن‌ها در جدول (۲) ارائه شده است. مجموعه داده‌های تکمیلی برای ارزیابی دقت فرآیند طبقه‌بندی استفاده شد. این مجموعه داده‌ها شامل نقشه کاربری/پوشش زمین ملی در سال ۱۳۹۹ (سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور)، نقاط واقعیت زمین و تصاویر Google Earth بود. در مجموع ۴۴ نقطه واقعیت زمینی از منطقه با استفاده از دستگاه سیستم موقعیت‌یاب جهانی (GPS) انتخاب شد. یک ماتریس خطا برای ارزیابی میزان همبستگی بین مجموعه داده‌های کاربری اراضی طبقه‌بندی شده و تیپ‌های کاربری اراضی میدانی محاسبه شد. دقت کلی طبقه‌بندی با تقسیم واحدهای نمونه طبقه‌بندی شده صحیح بر تعداد کل واحدهای نمونه ارزیابی شد.

جدول (۱): لیست تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در این مطالعه.

سکو	سنجنده	مسیر/ردیف	اندازه تفکیک (متر)	تاریخ اکتساب
Landsat 7	Enhanced Thematic Mapper	۳۴/۱۶۶	۳۰	۱۲ مهر ۱۳۸۰
Landsat 8	Operational Land Imager	۳۴/۱۶۶	۳۰	۳۰ مهر ۱۴۰۰

جدول (۲): توصیف طبقات کاربری استفاده شده در منطقه مورد مطالعه.

طبقه	توصیف
مناطق کشاورزی	اراضی که برای اهداف معیشتی و نیز تجاری کشت می‌شود و شامل زمین‌هایی هستند که اخیراً با محصولات کاشته شده-اند یا زمین‌هایی که قبلاً پاکسازی شده و منتظر کاشت محصولات هستند.
اراضی لخت	اراضی که در نتیجه فعالیت‌های انسانی پوشش مصنوعی ندارند و نیز مناطق با پوشش گیاهی کم‌تر از چهار درصد هستند که شامل مناطق صخره‌ای لخت، ماسه‌ها و بیابان‌ها می‌شود.
اراضی ساخته-شده	شامل ساختمان‌های دائمی و نیمه‌دائمی هستند که افراد و زیرساخت‌های دیگر مانند جاده‌ها، کارخانه‌ها و ساختمان‌ها در شهر و روستا یا مراکز تجاری را در خود جای می‌دهند.
جنگل	این مناطق با تاج پوشش درختی متراکم مشخص می‌شوند و از درختان بلندتر از دو متر تشکیل شده‌اند.
علف‌زار	این مناطق تحت پوشش علف‌های بلند و کوتاه چندساله هستند. برخی از علف‌زارها با پوشش گیاهی چوبی و درختچه‌ای مشخص می‌شوند که کم‌تر از ۱۰ درصد از مساحت زمین را پوشش می‌دهند (Mwanjalolo et al., 2018).
چمن‌زارهای کوهستانی	چمن‌زار جامعه علف و چمنی از گیاهان مزوفیل و هالومزوفیل، عمدتاً ریزوماتوز است که وقفه زمستانی فصل رشد دارند (Bykov, 1973). چمن‌زارها به انواع دشت سیلابی (ساحلی)، حوزه آبخیز (سرزمین اصلی) و کوهستانی تقسیم می‌شوند.
جنگل‌کاری	شامل درختکاری‌ها هستند که جنگل‌کاری‌های بالغ و جوان را شامل می‌شود، اما سایر درخت‌کاری‌های غیرچوبی مانند قهوه، نیشکر و چای را در بر نمی‌گیرند (Mwanjalolo et al., 2018).
درختچه‌زار	این مناطق دارای بوته‌ها یا درختان متراکم و پراکنده با ارتفاع متوسط کم‌تر از چهار متر هستند (NFA, 1992).
نواحی آبی	این مناطق دارای آب‌های آزاد طبیعی هستند.
اراضی جنگلی	مناطقی هستند که از درختان پراکنده با لکه‌های علف‌زار در بین آن‌ها تشکیل شده است. ارتفاع درخت بین ۶-۳ متر متغیر است.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-18]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1401.10.4.3.8]

از دو شاخص نرخ تغییرات مساحت کاربری اراضی و وضعیت پویایی کاربری زمین برای تحلیل کمی تغییر کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه، استفاده شد. نرخ تغییر کاربری اراضی به مقدار خاص ارزش تفاضلی مساحت نسبت به مساحت در دوره اولیه برای یک نوع کاربری اراضی در یک دوره اشاره دارد (Hong et al., 2011). فرمول محاسبه آن به شرح زیر است:

$$C = \frac{A_{t_2} - A_{t_1}}{A_{t_1}} \times 100\% \quad (۱)$$

که در آن C نرخ تغییر کاربری زمین است، A_{t_1} مساحت یک نوع کاربری زمین را در t_1 و A_{t_2} مساحت این نوع کاربری زمین را در t_2 نشان می دهد.

درجه پویایی کاربری اراضی نیز نشان‌دهنده نرخ تغییرات سالانه مساحت نوع کاربری اراضی است که شاخص مهمی از تغییر کاربری اراضی است. این شاخص می‌تواند به‌صورت کمی نرخ تغییر کاربری یک منطقه را توصیف کند و فرمول آن به شرح زیر است:

$$D_c = \frac{A_{t_2} - A_{t_1}}{A_{t_1}} \times \frac{1}{t_2 - t_1} \times 100\% \quad (۲)$$

که در آن، D_c برابر با درجه پویایی کاربری اراضی، A_{t_1} مساحت تیپ کاربری اراضی در t_1 و A_{t_2} مساحت تیپ کاربری اراضی در t_2 است.

در ادامه برای تحلیل بیش‌تر وضعیت پویایی کاربری اراضی و شبیه‌سازی تغییرات آن از افزونه MOLUSCE در QGIS استفاده شد. ورودی‌های این افزونه شامل نقشه‌های کاربری اراضی از دوره‌های مختلف و داده‌های عوامل محرک بیوفیزیکی و اجتماعی-اقتصادی مانند شبکه جاده، رودخانه، توپوگرافی، جمعیت و غیره است. در این مطالعه متغیرهای جغرافیایی شیب و ارتفاع و نزدیکی به جاده‌ها، مرکز شهر و روستاها که به عنوان عوامل محرک در طراحی سیمای-سرزمین نقش دارند، استفاده شد. نقشه‌های متغیرهای جغرافیایی انتخاب شده به همراه نقشه‌های کاربری اراضی سال-های ۱۳۸۰ و ۱۴۰۰، همه در اندازه تفکیک ۱۰۰ متری، وارد افزونه MOLUSCE برای به‌دست آوردن نقشه تغییر کاربری اراضی و تعیین روند تغییر برای منطقه مورد مطالعه در دوره تحقیق، شد. در این افزونه برای ارزیابی همبستگی بین داده‌های کاربری اراضی و مولفه‌های جغرافیایی از ضرایب همبستگی مختلفی مانند ضریب پیرسون و ضریب کرامر استفاده می‌شود. ضریب همبستگی پیرسون یک شاخص بدون بعد است که از ۱- تا ۱ متغیر است. اگر این ضریب برابر با صفر باشد، رابطه خطی وجود ندارد. اگر برابر با ۱- یا ۱ باشد، یک رابطه خطی مثبت یا منفی کامل وجود دارد. ضریب کرامر نیز یک شاخص عددی بین ۰ (بدون ارتباط) تا ۱ (ارتباط کامل) است. این مقادیر می‌توانند به تعیین اینکه آیا مدل‌سازی پتانسیل انتقال را شامل می‌شود یا نه کمک کنند و به‌طور کلی، مقدار بالاتر از ۰.۱ مفید در نظر گرفته می‌شود (Muhammad et al., 2022).

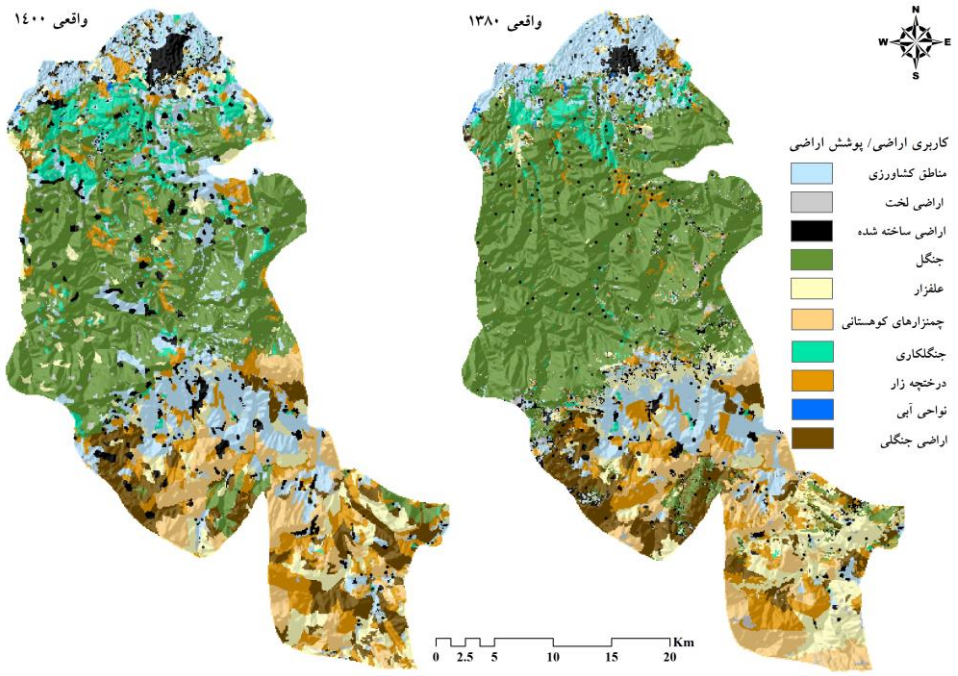
در ادامه، در افزونه MOLUSCE درصد تغییر مساحت در یک سال معین اندازه‌گیری شد و ماتریس احتمال انتقال را که نسبت پیکسل‌های در حال تغییر از یک کاربری زمین به دیگری را نشان می‌دهد، تهیه شد. علاوه بر این، این افزونه نقشه تغییر منطقه را تهیه می‌کند که تغییرات اراضی را از سال ۱۳۸۰ تا ۱۴۰۰ در هر ۱۰ طبقه نشان می‌دهد. MOLUSCE از روش‌های شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، ارزیابی چندمعیاره (MCE)، وزن شواهد (WOE) و رگرسیون لجستیک (LR) برای مدل‌سازی پتانسیل احتمال انتقال کاربری اراضی استفاده می‌کند. در این مطالعه، برای نشان دادن چگونگی تغییر هر طبقه کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه، از ماتریس احتمال انتقال تهیه شده با کمک افزونه MOLUSCE طی دوره مورد مطالعه بر اساس شرایط کاربری اراضی موجود و متغیرهای جغرافیایی استفاده شد. ماتریس احتمال انتقال نقش اساسی در تجزیه و تحلیل تغییرات زمانی در طبقات کاربری اراضی ایفا می‌کند. ردیف‌های جدول ماتریس نشان‌دهنده طبقه‌ها در سال اولیه هستند، در حالی‌که ستون‌ها همان‌ترتیب طبقه‌ها را در سال آخر نشان می‌دهند. ورودی‌های قطری اندازه پایداری کلاس را نشان می‌دهند و هر ورودی خارج از قطر اندازه انتقال از یک طبقه به طبقه‌های مختلف را نشان می‌دهد. مقادیر نزدیک به یک در ورودی‌های قطری نشان‌دهنده

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-18]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1401.10.4.3.8]

ثبات یک طبقه است. محققان بیش‌تر از ماتریس‌های احتمال انتقال برای مقایسه تغییرات زمانی در مناطق مختلف استفاده می‌کنند. در نهایت، شبیه‌سازی خودکار سلولی در افزونه MOLUSCE برای پیش‌بینی تغییر کاربری اراضی و پیش‌بینی تغییرات آینده بر اساس تصاویر طبقه‌بندی شده از دو زمان مورد مطالعه، استفاده شد. همچنین برای اعتبارسنجی مدل، ۱۰۰۰ نقطه نمونه به‌طور تصادفی مشخص شده توسط کاربر انتخاب شد. اعتبارسنجی این مدل توسط شاخص کاپا که برای تأیید صحت نقشه‌های کاربری اراضی شبیه‌سازی شده استفاده می‌شود، انجام شد.

نتایج و بحث

در مجموع ۱۰ طبقه کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه شناسایی شد (شکل ۲). در جدول (۳) مساحت و درصد پوشش این طبقه‌های کاربری اراضی در دو زمان مورد مطالعه ارائه شده است. بر اساس این جدول، جنگل در دو زمان مورد مطالعه بیش‌ترین درصد پوشش را با بیشینه ۴۵/۱۴ درصد و ۳۵/۳۱ درصد به‌ترتیب در سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۴۰۰ داشته است. علف‌زارها از مناطق طبیعی بزرگ با تغییر نسبتا کم است که ارتباط زیادی با ویژگی ژئومورفیک در آن دارد. مناطق کشاورزی از ۱۳/۱۹ درصد در سال ۱۳۸۰ به ۱۷/۳۱ درصد در سال ۱۴۰۰ افزایش یافت، هم‌چنین درصد زمین برای اراضی ساخته‌شده از ۲/۸۵ درصد در سال ۱۳۸۰ به ۴/۷۹ درصد در سال ۱۴۰۰ افزایش یافت. جنگل‌کاری در منطقه مورد مطالعه تا سال ۱۳۸۰ کم‌تر از سه درصد بود و در سال ۱۴۰۰ به بیش از ۵/۵ درصد رسیده است (جدول ۳).



شکل (۲): نقشه‌های کاربری اراضی سیاهکل در سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۴۰۰.

نتایج تحلیل نرخ تغییرات مساحت کاربری اراضی و درجه پویایی کاربری اراضی در دوره مورد مطالعه نیز در جدول (۳) ارائه شد. نتایج حاکی از آن است که در دوره مطالعاتی، نرخ تغییرات کاربری اراضی جنگل‌کاری و اراضی ساخته‌شده بالاترین (بیش از ۶۰ درصد) است. این نرخ برای اراضی لخت و مناطق کشاورزی نیز بیش از ۳۰ درصد است. نرخ تغییرات چمن‌زارهای کوهستانی و اراضی جنگلی کم‌ترین (۵-۱ درصد) است. هم‌چنین بر اساس محاسبات درجه پویایی تغییر کاربری اراضی، نتایج حاکی از آن است که در دوره مورد مطالعه، جهت تغییرات برای جنگل‌کاری و اراضی ساخته‌شده همیشه مثبت با تجلی افزایش مساحت و حداکثر نرخ تغییرات سالانه تقریباً چهار درصد است. جهت

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-18]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1401.10.4.3.8]

تغییرات جنگل، علفزار و نواحی آبی اساساً منفی و با تجلی کاهش سطح کل و حداکثر نرخ تغییرات سالانه تا ۱- درصد بوده است (جدول ۳).

جدول (۳): مساحت کاربری اراضی برای دوره ۱۴۰۰-۱۳۸۰ (کیلومترمربع)، نرخ تغییر مساحت کاربری اراضی و درجه پویایی کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه

طبقه کاربری اراضی	۱۳۸۰		۱۴۰۰		نرخ تغییر مساحت	درجه پویایی
	مساحت	درصد	مساحت	درصد	درصد	(درصد در سال)
مناطق کشاورزی	۱۴۱/۱۳	۱۳/۱۹	۱۸۵/۲۱	۱۷/۳۱	۳۱/۲۳	۱/۴۹
اراضی لخت	۱۶/۳۶	۱/۵۳	۲۲/۷۴	۲/۱۳	۳۹/۰۰	۱/۸۶
اراضی ساخته‌شده	۳۰/۵۳	۲/۸۵	۲۱/۲۶	۴/۷۹	۶۷/۹۰	۳/۲۳
جنگل	۴۸۲/۹۹	۴۵/۱۴	۳۷۷/۸۳	۳۵/۳۱	-۲۱/۷۷	-۱/۰۴
علفزار	۱۰۷/۱۰	۱۰/۰۱	۹۰/۲۶	۸/۴۴	-۱۵/۷۲	-۰/۷۵
چمن‌زارهای کوهستانی	۸۸/۸۵	۸/۳۰	۸۹/۷۹	۸/۳۹	۱/۰۶	۰/۰۵
جنگل‌کاری	۳۱/۶۸	۲/۹۶	۵۹/۶۵	۵/۵۷	۸۸/۲۹	۴/۲۰
درختچه‌زار	۸۸/۱۰	۸/۲۳	۱۰۵/۸۴	۹/۸۹	۲۰/۱۴	۰/۹۶
نواحی آبی	۰/۸۹	۰/۰۸	۰/۷۳	۰/۰۷	-۱۷/۹۸	-۰/۸۶
اراضی جنگلی	۸۲/۳۷	۷/۷۰	۸۶/۶۹	۸/۱۰	۵/۲۴	۰/۲۵

نتایج تحلیل کاربری اراضی در دو دهه گذشته نشان داد که منطقه مورد مطالعه دستخوش تغییرات کاربری اراضی قابل‌توجه شده است. به‌طور کلی پوشش‌های گیاهی طبیعی منطقه مورد مطالعه مانند جنگل به همراه نواحی آبی بیش‌ترین تغییرات کاربری اراضی را در جهت کاهش مساحت داشتند. در مطالعه سعدین و عفیفی (۱۴۰۰) نیز بیش‌ترین تغییرات مساحت در نواحی آبی و بیش‌ترین کاهش مساحت در نواحی با پوشش گیاهی طبیعی رخ داده است. از طرفی افزایش قابل‌توجه اراضی ساخته‌شده در دوره مورد مطالعه مشاهده می‌شود که مشابه با روند افزایش مناطق انسان‌ساخت و در نتیجه افزایش اراضی نفوذناپذیر در مطالعه رضایی و همکاران (۱۳۹۷) است. این افزایش اراضی ساخته‌شده بر محیط زیست طبیعی، منابع آبی و تنوع زیستی منطقه آثار منفی دارد (Seto et al., 2012).

در جدول (۴) ماتریس احتمال انتقال به‌دست آمده، خطوط عمودی با داده‌ها نشان‌دهنده انواع کاربری زمین در سال ۱۳۸۰ و خطوط افقی نشان‌دهنده انواع کاربری اراضی در سال ۱۴۰۰ است. بر اساس این جدول، جنگل‌کاری، جنگل و اراضی ساخته‌شده به‌ترتیب با احتمال ۰/۷۵۹، ۰/۷۰۷ و ۰/۶۸۴ پایدارترین طبقات بودند، در حالی که علفزار و اراضی لخت به‌ترتیب با احتمال انتقال ۰/۳۱۶ و ۰/۳۹۴ ناپایدارترین طبقات بودند. احتمال تغییریافته از مناطق کشاورزی، اراضی لخت و اراضی جنگلی به اراضی ساخته‌شده به‌ترتیب ۰/۰۸۲، ۰/۰۵۷ و ۰/۰۴۴ به‌دست آمد. از این ماتریس احتمال انتقال به‌راحتی می‌توان دریافت که احتمال تغییریافته از مناطق کشاورزی به اراضی ساخته‌شده در سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۸۰، برابر ۰/۰۸۲ است. در واقع، می‌توان گفت که انتقال از مناطق کشاورزی به اراضی ساخته‌شده به‌طور سیستماتیک هدف‌مند و قابل‌توجه است.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1401.10.4.3.8]

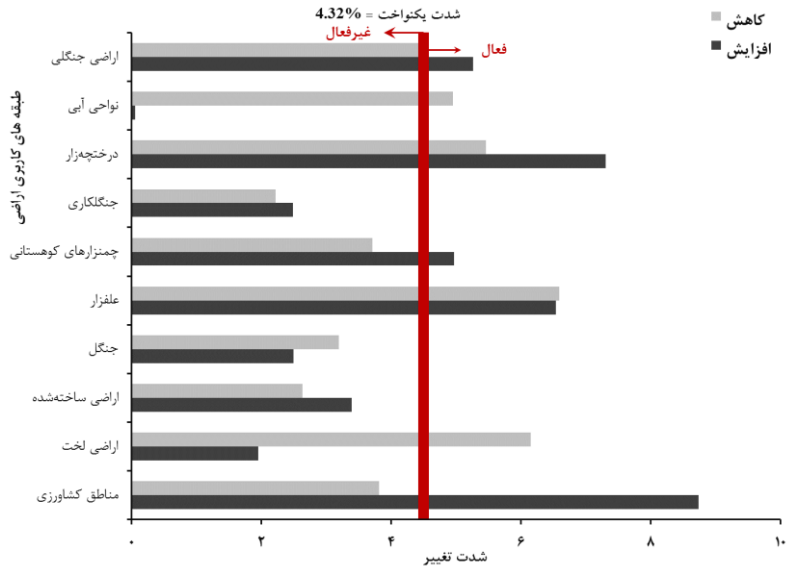
جدول (۴): ماتریس احتمال انتقال انواع کاربری اراضی در سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۸۰.

طبقه کاربری اراضی		کاربری اراضی ۱۴۰۰									
		مناطق کشاورزی	اراضی لخت	اراضی ساخته‌شده	جنگل	علفزار	چمن‌زارهای کوهستانی	جنگل‌کاری	درختچه‌زار	نواحی آبی	اراضی جنگلی
کاربری اراضی ۱۳۸۰	مناطق کشاورزی	۰/۶۱۷	۰/۰۱۲	۰/۰۸۲	۰/۰۶۳	۰/۰۵۶	۰/۰۲۰	۰/۰۴۰	۰/۰۶۲	۰/۰۰۱	۰/۰۴۳
	اراضی لخت	۰/۱۲۳	۰/۳۹۴	۰/۰۵۷	۰/۰۰۲	۰/۱۱۱	۰/۱۳۰	۰/۰۲۸	۰/۱۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۷۵
	اراضی ساخته‌شده	۰/۰۹۱	۰/۰۱۲	۰/۶۸۴	۰/۰۵۰	۰/۰۱۸	۰/۰۲۸	۰/۰۱۱	۰/۰۲۴	۰/۰۰۱	۰/۰۰۹
	جنگل	۰/۰۷۹	۰/۰۵۲	۰/۰۲۸	۰/۷۰۷	۰/۰۳۸	۰/۰۰۱	۰/۰۷۴	۰/۰۵۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۷
	علفزار	۰/۰۹۳	۰/۰۰۶	۰/۰۲۷	۰/۰۱۸	۰/۳۱۶	۰/۰۸۱	۰/۰۱۵	۰/۱۸۲	۰/۰۰۰	۰/۱۸۸
	چمن‌زارهای کوهستانی	۰/۰۴۲	۰/۰۰۸	۰/۰۱۴	۰/۰۳۵	۰/۰۹۶	۰/۶۲۷	۰/۰۰۵	۰/۱۰۴	۰/۰۰۰	۰/۰۶۶
	جنگل‌کاری	۰/۰۵۴	۰/۰۳۱	۰/۰۲۰	۰/۰۲۳	۰/۰۱۶	۰/۰۰۲	۰/۷۵۹	۰/۰۵۷	۰/۰۰۲	۰/۰۰۹
	درختچه‌زار	۰/۰۸۳	۰/۰۰۹	۰/۰۲۹	۰/۰۱۶	۰/۰۸۸	۰/۱۵۴	۰/۰۲۲	۰/۴۱۳	۰/۰۰۱	۰/۰۹۶
	نواحی آبی	۰/۱۸۲	۰/۰۴۵	۰/۰۳۴	۰/۰۱۱	۰/۱۳۵	۰/۰۰۰	۰/۰۴۵	۰/۰۳۴	۰/۵۰۷	۰/۰۱۱
	اراضی جنگلی	۰/۱۱۰	۰/۰۱۸	۰/۰۴۴	۰/۰۲۳	۰/۰۹۱	۰/۰۶۰	۰/۰۰۷	۰/۱۰۱	۰/۰۰۰	۰/۵۶۳

شکل (۳) شدت افزایش و کاهش ناخالص تغییر کاربری زمین در سطح طبقه در مدت زمان مورد مطالعه را نشان می‌دهد. هر طبقه کاربری دارای یک جفت میله است که یک میله منعکس‌کننده افزایش ناخالص و دیگری نشان‌دهنده کاهش ناخالص است. اگر یک میله قبل از آستانه شدت یکنواخت (از نظر به‌دست آوردن یا از دست دادن) متوقف شود، آن طبقه غیرفعال است. در مقابل، اگر میله از شدت یکنواخت تغییر کاربری اراضی بیش‌تر شود، طبقه کاربری زمین فعال است (از دست‌دهنده فعال یا به‌دست آورنده فعال). بر اساس ارزیابی تغییرات کاربری اراضی بر اساس افزایش و کاهش طبقات مختلف در شکل (۳)، اکثر طبقات هم افزایش و هم کاهش دارند. با در نظر گرفتن نتایج شدت تغییر کاربری زمین در سطح طبقه، طبقات فعال شامل مناطق کشاورزی، اراضی لخت، علفزار، چمن‌زارهای کوهستانی، درختچه‌زار، نواحی آبی و اراضی جنگلی بودند. مناطق کشاورزی بزرگ‌ترین برنده فعال است. در بازه زمانی مورد مطالعه، مناطق کشاورزی ۳/۸ درصد کاهش و ۸/۷ درصد افزایش یافته است (با افزایش خالص ۴/۹ درصد). اراضی لخت و علفزار بزرگ‌ترین بازنده‌های فعال هستند. اراضی لخت بیش از شش درصد از دست داده و افزایش دو درصدی داشتند که به‌طور خالص چهار درصد از دست رفته است. نواحی آبی حدود پنج درصد از دست داده و تقریباً افزایشی نیافته است (شکل ۳). با توجه به توضیحات بالا، اراضی ساخته‌شده، جنگل و جنگل‌کاری از نظر افزایش یا از دست دادن شدت در طول بازه‌های زمانی مورد مطالعه، غیرفعال بودند. جنگل یک بازنده غیرفعال است که با توجه به اثر همسایگی، از دست دادن جنگل به‌ترتیب توسط افزایش اراضی ساخته‌شده و کشاورزی هدف قرار گرفت. لازم به ذکر است که جنگل چه از نظر افزایش و چه از نظر کاهش غیرفعال است که می‌تواند به این دلیل باشد که جنگل بیش‌تر منطقه را به‌ویژه در مکان‌هایی دور از تغییر زمین به خود اختصاص می‌دهد.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1401.10.4.3.8]



شکل (۳): شدت تغییر کاربری اراضی برای افزایش و کاهش ناخالص در هر طبقه. شدت افزایش، درصد طبقه کاربری زمین در سال پایانی است و برعکس، شدت کاهش، درصد طبقه کاربری زمین در سال ابتدایی است.

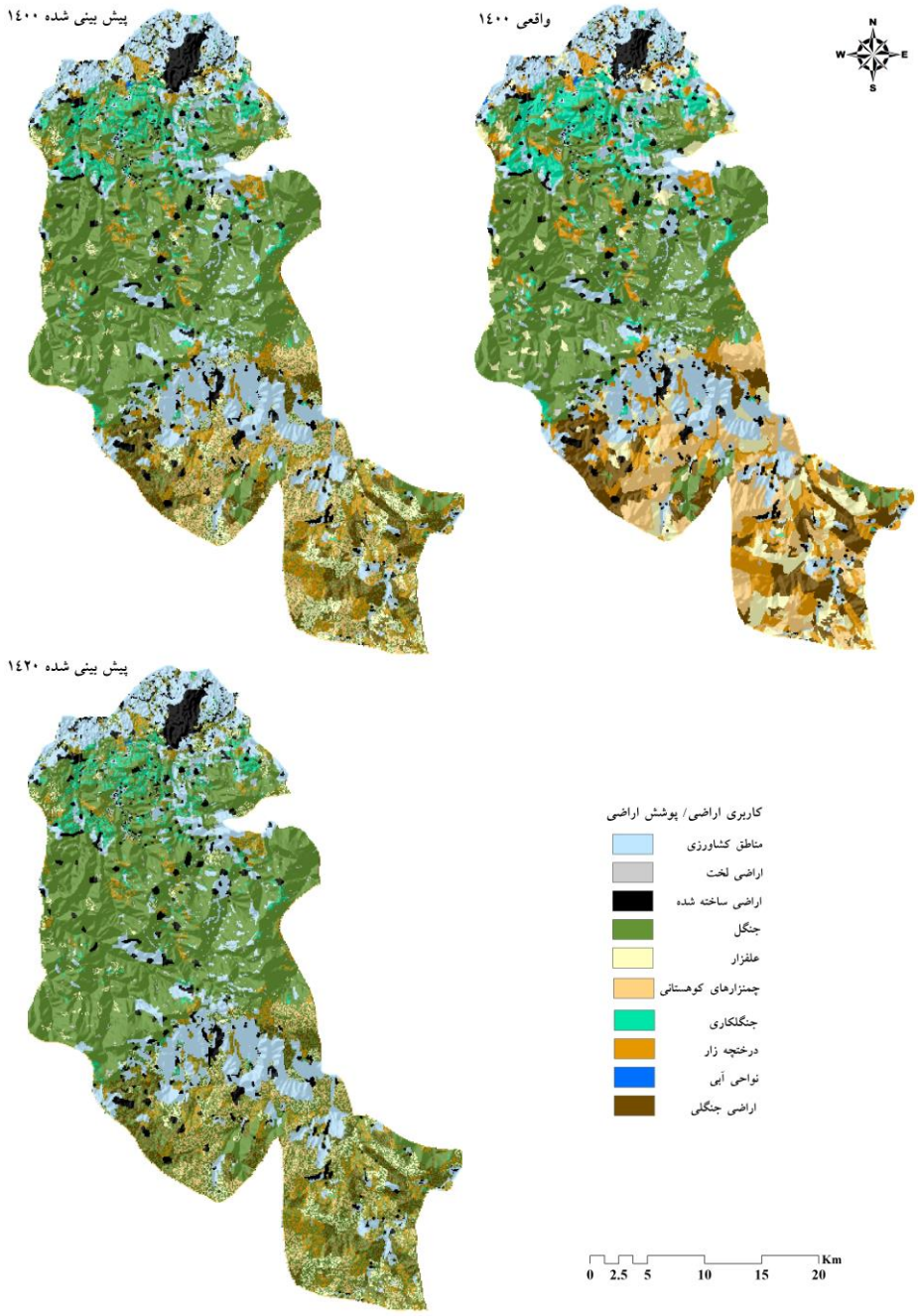
با توجه به تجزیه و تحلیل ماتریس احتمال انتقال، مشاهده شد که رشد قابل‌توجه در اراضی ساخته‌شده عمدتاً به دلیل تکه‌تکه‌شدن مناطق کشاورزی بود. همه این انتقال‌ها بر اساس عوامل محرک فیزیکی و اجتماعی-اقتصادی بود که برای بررسی پویایی کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه استفاده شد. جدول (۵) مقادیر ضریب پیرسون و ضریب کرامر برای متغیرهای مکانی مورد مطالعه را نشان می‌دهد. مقدار همبستگی پیرسون بین متغیرهای جغرافیایی و تغییرات کاربری اراضی بیش از ۰/۹۸۳ است. این نشان می‌دهد که رابطه بین متغیرهای مکانی و تغییر کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه یک همبستگی کامل است (جدول ۵). بنابراین می‌توان این گونه تفسیر کرد که متغیرهای مورد بررسی بر میزان تغییر کاربری اراضی تأثیر می‌گذارد. هم‌چنین، مقادیر ضریب کرامر نشان می‌دهد که متغیرهای انتخاب شده برای مدل‌سازی پتانسیل انتقال ایده‌آل هستند، زیرا مقادیر آن‌ها بیش از ۰/۱ است. این نتیجه مشابه با مطالعات Abbas و همکاران (۲۰۲۱) و Muhammad و همکاران (۲۰۲۲) است که نتایج نشان از آثار معنی‌دار عوامل محرک فیزیکی و اقتصادی-اجتماعی بر طرح‌های سیماهای‌سرزمین مورد مطالعه داشت. در بین متغیرهای مورد بررسی ارتفاع بیش‌ترین تاثیر را بر طرح‌های کاربری اراضی داشته است. به‌طور کلی بیش‌ترین تغییرات کاربری اراضی در مناطق با ارتفاعات کم‌تر رخ می‌دهد که برای فعالیت‌های انسانی مناسب‌تر هستند. بنابراین مناطق جنوبی شهرستان سیاهکل که بیش‌تر کوهستانی و پایکوهی است، نسبت به مناطق شمالی، کم‌تر فرآیند تکه‌تکه شدن را تجربه کرده است.

جدول (۵): مقادیر ضریب پیرسون و ضریب کرامر برای متغیرهای مکانی.

ضریب همبستگی	متغیرهای مکانی	ارتفاع	موقعیت روستاها	شیب	فاصله از مرکز شهر	فاصله از جاده
	ارتفاع	-	-۰/۹۹۴	-۰/۹۸۳	-۰/۹۹۴	-۰/۹۹۴
	موقعیت روستاها		-	۰/۹۸۳	۱/۰	۰/۹۹۹
ضریب پیرسون	شیب			-	۰/۹۸۳	۰/۹۸۴
	فاصله از مرکز شهر				-	۰/۹۹۹
	فاصله از جاده					-
	ضریب کرامر	۰/۳۷	۰/۲۸	۰/۳۵	۰/۲۳	۰/۱۷

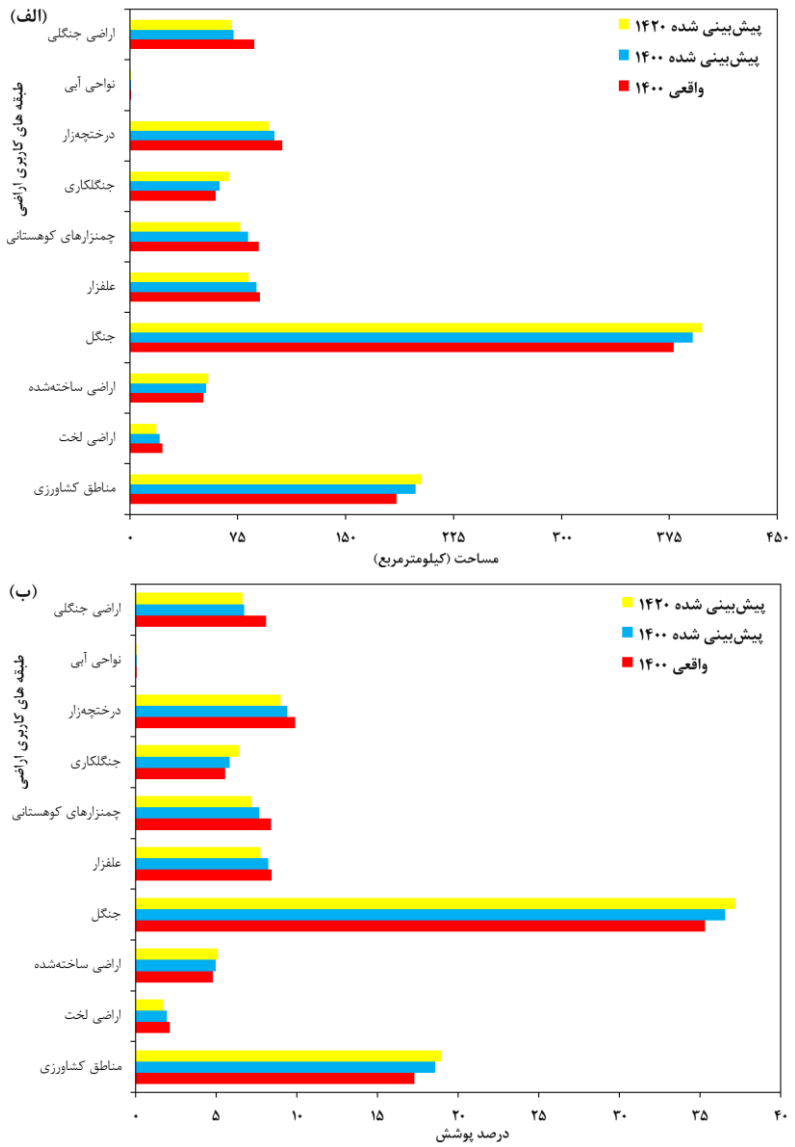
[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-18]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1401.10.4.3.8]

با استفاده از مدل‌سازی پتانسیل انتقال، نقشه کاربری ارضی پیش‌بینی شده برای سال ۱۴۰۰ برای اعتبارسنجی با نقشه کاربری ارضی واقعی در سال ۱۴۰۰ با استفاده از شاخص کاپا مقایسه شد. بر اساس نتایج صحت‌سنجی، صحت کلی ۹۷/۲ درصد و کاپای کلی ۰/۹۵ به‌دست آمد. پس از اعتبارسنجی نتایج مدل‌سازی، کاربری اراضی برای سال ۱۴۲۰ نیز پیش‌بینی شد. شکل‌های (۴) و (۵) نقشه‌ها و آمارهای کاربری اراضی واقعی و پیش‌بینی‌شده برای سال‌های ۱۴۰۰-۱۴۲۰ را نشان می‌دهد. هم‌چنان پیش‌بینی‌ها برای سال ۱۴۲۰ نشان از افزایش در مناطق کشاورزی و اراضی ساخته‌شده نسبت به سال ۱۴۰۰ دارد. این نتیجه مشابه با مطالعه جهانداری و همکاران (۱۴۰۱) است که در سناریو کاربری اراضی آینده در حوزه آبخیز مورد مطالعه تا سال ۱۴۱۰، گسترش اراضی کشاورزی پیش‌بینی شده است. اگرچه با توجه به تغییرات اقلیمی عدم قطعیت بالایی در سناریوهای آتی تغییر کاربری اراضی وجود دارد.



شکل (۴): نقشه‌های واقعی و پیش‌بینی شده کاربری اراضی سیاهکل در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۲۰.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-18]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1401.10.4.3.8]



شکل (۵): مساحت واقعی و پیش‌بینی شده (کیلومترمربع) (الف) به همراه درصد پوشش و (ب) طبقه‌های کاربری اراضی سیاهکل در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۲۰.

نتیجه‌گیری

کمی‌سازی پویایی کاربری اراضی و تغییرات آن در مقابله با چالش‌های محیط‌زیستی و اجتماعی-اقتصادی مانند از دست دادن تنوع زیستی و تغییرات اقلیمی در سال‌های اخیر حیاتی است. در این مطالعه، بر اساس اطلاعات کاربری اراضی و متغیرهای فیزیکی و اقتصادی-اجتماعی، کمی‌سازی طرح‌های انتقال و شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه با استفاده از افزونه MOLUSCE در نرم‌افزار QGIS انجام شد. هم‌چنین از روش تحلیل شدت برای بررسی اندازه و شدت تغییرات کاربری اراضی در دوره مورد مطالعه استفاده شد. نتایج کمی‌سازی تغییرات کاربری اراضی در شهرستان سیاهکل در سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۸۰، در کل افزایش سطوح کاربری‌های انسان‌ساخت مانند مناطق کشاورزی (۸/۷ درصد) و اراضی ساخته‌شده (۴/۴ درصد) و کاهش سطوح در کاربری‌های طبیعی مانند جنگل (۳/۲ درصد) را نشان داد. با توجه به نتایج شبیه‌سازی شده توزیع طبقه‌های کاربری اراضی در سال ۱۴۲۰، احتمالاً تغییرات مشاهده شده در دو دهه گذشته در منطقه مورد مطالعه ادامه‌دار خواهد بود. بنابراین، نیاز به ارزیابی دقیق‌تر این تغییرات به‌منظور تعیین آثار مورد انتظار آن‌هاست. بر اساس نتایج، جنگل‌ها و علف‌زارها با فشار تغییرات کاربری اراضی

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-18]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1401.10.4.3.8]

در حال حاضر و آینده مواجه هستند. علاوه بر این، در نتیجه توسعه شهری سریع و تکه‌تکه شدن مناطق کشاورزی، جنگل و علف‌زارها، تخریب محیط زیست و منابع طبیعی اجتناب‌ناپذیر است. این موارد، چالش‌های متعددی در توسعه پایدار منطقه‌ای و حفاظت محیط زیستی ایجاد می‌کند. به‌منظور به حداقل رساندن تکه‌تکه شدن جنگل‌ها و علف‌زارها مجموعه‌ای از سیاست‌های مدیریت کاربری اراضی مورد نیاز است، اگرچه اجرای این سیاست‌ها با به خطر انداختن رشد اقتصادی چالشی است، زیرا شهرنشینی نیروی محرک توسعه اقتصادی است.

منابع

۱. جهانداری، ج.، ر. حجازی، س. ع. جوزی و ع. مرادی (۱۴۰۱) اثرات توسعه شهری بر الگوهای مکانی-زمانی خدمت اکوسیستمی ذخیره کربن در حوزه آبخیز بندرعباس با نرم‌افزار InVEST. مدلسازی و مدیریت آب و خاک، ۲(۴)، ۹۱-۱۰۶.

۲. رضایی، ف.، ع. بهره‌مند، ج. شیخ، م. ت. دستورانی و م. تاج بخش (۱۳۹۷) بررسی تغییرات کاربری اراضی شهری با استفاده از مدل ASSA. سامانه‌های سطوح آبگیر باران، ۶ (۱)، ۶۰-۴۷.

۳. سعدین، ب. و م. ا. عفیفی (۱۴۰۰) بررسی روند تغییرات کاربری اراضی شهر عسلویه بین سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۲ و پیش‌بینی تغییرات با استفاده از سنجش از دور و مدل‌های CA-Markov و LCM. جغرافیا و مطالعات محیطی. انتشار آنلاین از ۱۲ دی ۱۴۰۰.

۴. فتح‌الله‌زاده، ط. (۱۳۸۹) جاذبه‌های گردشگردی شهرستان سیاهکل و دیلمان گامی درجهت توسعه گردشگری. جغرافیای سرزمین، ۷ (۲۷)، ۱۲۷-۱۱۱.

۵. نادری، م.، و. شیخ، چ. ب. کمکی، ع. بهره مند، ع. قانقرمه و ح. سیروسی (۱۴۰۱) آشکارسازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از رویکرد مدل‌سازی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیای (مطالعه موردی: حوزه آبخیز حبله‌رود). پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۹ (۲)، ۱۳۴-۱۱۳.

6. Abbas Z., Yang G., Zhong Y. and Zhao Y. (2021) *Spatiotemporal Change Analysis and Future Scenario of LULC Using the CA-ANN Approach: A Case Study of the Greater Bay Area, China*. Land, *10, 584.*
7. Bykov B.A. (1973) *Geobotanical dictionary*. Nauka, Alma-Ata.
8. Comber A., Balzter H., Cole B., Fisher P., Johnson S.C.M. and Ogutu B. (2016) *Methods to Quantify Regional Differences in Land Cover Change*. Remote Sensing, *8: 176.*
9. Dawid W. and Bielecka E. (2022) *GIS-Based Land Cover Analysis and Prediction Based on Open-Source Software and Data*. Quaestiones Geographicae, *4 (3): 75-86*.
10. Ekumah B., Armah F. A., Afrifa E. K. A., Aheto D. W., Odoi J. O. and Afitiri A.R. (2020) *Assessing land use and land cover change in coastal urban wetlands of international importance in Ghana using Intensity Analysis*. Wetlands Ecology and Management, *28(2): 271–284.*
11. Hong Z., Hailin L. and Zhen C. (2011) *Analysis of Land Use Dynamic Change and Its Impact on the Water Environment in Yunnan Plateau Lake Area-A Case Study of the Dianchi Lake Drainage Area*. 3rd International Conference on Environmental Science and Information Application Technology (ESIAT 2011). Procedia Environmental Sciences *10: 2709-2717*.
12. Jafarpour Ghalehteimouri K., Shamsoddini A., Mousavi M.N., Binti Che Ros F. and Khedmatzadeh A. (2022) *Predicting spatial and decadal of land use and land cover change using integrated cellular automata Markov chain model based scenarios (2019-2049) Zarrin Rud River Basin in Iran*. Environmental Challenges, *6: 100399*.
13. Khan A. and Sudheer M. (2022) *Machine Learning-Based Monitoring and Modeling for Spatio-Temporal Urban Growth of Islamabad.* The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences. *25: 541–550.*
14. KouroshNiya A., Huang J., Karimi H., Keshtkar H.R. and Naimi B. (2019) *Use of Intensity Analysis to Characterize Land Use/Cover Change in the Biggest Island of Persian Gulf, Qeshm Island, Iran*. Sustainability, *11: 4396.*
15. Muhammad R., Zhang W., Abbas Z., Guo F. and Gwiazdzinski L. (2022) *Spatiotemporal Change Analysis and Prediction of Future Land Use and Land Cover Changes Using QGIS MOLUSCE Plugin and Remote Sensing Big Data: A Case Study of Linyi, China*. Land, *11: 419.*

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-18]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1401.10.4.3.8]

16. Mwanjalolo M.G.J., Bernard B., Paul M.I., Joshua W., Sophie K., Cotilda N., Bob N., John D., Edward S. and Barbara N. (2018) *Assessing the extent of historical, current, and future land use systems in Uganda*. Land, 7: 132.
17. National Forestry Authority (NFA) (1992) *National Biomass Study*, Phase I; NFA: Kampala, Uganda.
18. QGIS Development Team. (2016) QGIS2.18-MOLUSCE Plugin software [Computer software]. https://plugins.qgis.org/plugins/molusce/
19. Sarparast M. and Niknejad M. (2022) *Linking Land Use Changes to Policy Decisions: The Case of Northeastern Iran" In Contemporary Issues in Land Use Planning*, edited by Seth Appiah-Opoku. London: IntechOpen, 2022. 10.5772/intechopen.107959
20. Seto K.C., Guneralp B.and Hutyra L.R. (2012) *Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, *109: 16083-16088.*
21. Shabani M., Darvishi S., Rabiei-Dastjerdi H., Alavi S.A., Choudhury T. and Solaimani K. (2022) *An Integrated Approach for Simulation and Prediction of land use and land cover changes and urban growth (case study: Sanandaj city in Iran).* Journal of the Geographical Institute Jovan Cvijic. *72(3): 273–289.*
22. Tripathy P. and Kumar A. (2019) *Monitoring and modelling spatio-temporal urban growth of Delhi using Cellular Automata and geoinformatics*. Cities, *90, 52–63.*
23. Wang S.W., Gebru B.M., Lamchin M., Kayastha R.B. and Lee W.K. (2020) *Land use and land cover change detection and prediction in the Kathmandu District of Nepal Using Remote Sensing and GIS*. Sustainability, *12, 3925.*
24. Winkler K., Fuchs R., Rounsevell M. and Herold M. (2021) *Global land use changes are four times greater than previously estimated*. Nature Communications, *12, 2501.*

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-18]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1401.10.4.3.8]

Land use changes analysis and prediction using remote sensing and QGIS MOLUSCE Plugin in the Siahkal County

Roghayeh Jahdi[1*]

1. Assistant Professor of Forest Sciences, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

Received: 2023/01
Accepted: 2023/02

Abstract

Quantifying land use change dynamics is critical in tackling environmental and socio-economic challenges such as climate change in recent years. This study takes Siahkal County in Guilan Province as the research subject and analyzes the land use changes in two different years: 2001 and 2021, and predicts the change in 2041. We carried out land use change analysis using LANDSAT-7 ETM^+ and LANDSAT-8 OLI multitemporal data pertaining to the years 2001 and 2021. For land use data extraction, a pixel-based digital classification using an ISODATA algorithm with a high Kappa index of 0.97 was applied to Landsat images. In addition, the MOLUSCE plugin in QGIS software was used to model land use change for 2001-2021, produce a transition probability matrix, and detect the future of land use for 2041 by using Cellular Automata Simulation. During 2001-2021, the result showed that the areas under agricultural areas, bare, built-up, plantation, shrubland, and woodland classes are found to increase with growth rates of about 31%, 39%, 67%, 88%, 20%, and 5%, respectively. The area under forest, grassland, and water bodies is found to decrease with decrease rates of about 22%, 16%, and 18%, respectively. Mountainous meadows did not change significantly. In terms of projected land use, the result also indicates fluctuations in land use change, especially for built-up land, showing a steady increase over time. We saw evidence of the local expansion of forest plantations, but the continuous decrease of natural forests may negatively impact the natural environment and landscape patterns regionally. In conclusion, the results of monitoring and modeling land use changes can be seen as a warning to managers, policy-makers, and planners. It is also advisable to use more data to analyze the impacts of land use changes on landscape patterns in future studies.

Keywords: Siahkal, Land use change dynamic, Simulation, MOLUSCE, landscape pattern.

* Corresponding author: roghayeh.jahdi@uma.ac.ir

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1401.10.4.3.8]