

DOI: [10.29252/ARIDBIOM.2023.19071.1904](https://doi.org/10.29252/ARIDBIOM.2023.19071.1904)

تحلیل مکانی رهاسازی اراضی کشاورزی در منطقه حفاظت‌شده کویر با رویکرد مدیریت اکوسیستم و پیش‌بینی آن در سال‌های آینده (مقاله پژوهشی)

۱- امیر معمارزاده‌کیانی، دانشجوی دکتری برنامه‌ریزی محیط زیست، گروه برنامه‌ریزی، مدیریت و آموزش محیط زیست، پردیس بین‌المللی کیش، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۲- احمد نوحه‌گر*، استاد ژئومورفولوژی، گروه برنامه‌ریزی، مدیریت و آموزش محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

nohegar@ut.ac.ir

۳- محمدجواد امیری، استادیار محیط زیست، گروه برنامه‌ریزی، مدیریت و آموزش محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۱۴

پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۲۶

چکیده

این مطالعه با هدف بررسی گسترش اراضی کشاورزی در بخشی از منطقه حفاظت‌شده کویر انجام شد. برای دستیابی به این رهیافت، ابتدا محدوده مورد مطالعه به مساحت ۳۳۹۳۳ هکتار در ناحیه شمالی منطقه که اراضی کشاورزی فقط در این بخش گسترش یافته‌اند، انتخاب گردید. نقشه‌های کاربری اراضی در سال‌های ۱۹۸۶، ۱۹۹۴، ۲۰۰۲، ۲۰۱۳ و ۲۰۲۰ میلادی با استفاده از تصاویر سنجنده‌های TM و OLI لندست و الگوریتم SVM با کدنویسی در گوگل ارث انجین تهیه شد. با مدل LCM تغییرات کاربری‌ها محاسبه شد. با مدل CA Markov نقشه کاربری اراضی برای سال ۲۰۵۴ میلادی پیش‌بینی شد. سرانجام با متریک‌های سیمای سرزمین، تغییرات زیستگاه‌ها ارزیابی گردید. نتایج نشان داد که ضریب صحت-سنجی تکنیک SVM در تولید نقشه کاربری اراضی بیشتر از ۰/۹۸ بود. کاربری‌ها به سه کلاس اراضی کشاورزی، بوته‌زارهای بیابانی و مراتع درختچه‌ای تقسیم شد. مساحت اراضی کشاورزی از ۴۳۴/۵ هکتار در سال ۱۹۸۶ به ۴۲۴۳ هکتار در سال ۲۰۲۰ رسید که حدود ۳۸۰۹ هکتار افزایش یافته که حدود ۳۰۶۷ هکتار آن مربوط به تبدیل بوته‌زارها به کشاورزی و ۸۲۲ هکتار مربوط به تبدیل مراتع درختچه‌ای به کشاورزی بوده است. اراضی کشاورزی به سمت مرکز ناحیه و در امتداد رودخانه گلو گسترش یافته است. بیشترین تغییرات و افزایش سطح زراعی مربوط به دوره ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳ (۲۱۰۴ هکتار) بوده است. نتایج پیش‌بینی برای سال ۲۰۵۴ نیز بیان‌گر این است که اراضی کشاورزی در امتداد رودخانه گلو به سمت پایین‌دست گسترش خواهد یافت و نسبت به سال ۲۰۲۰ حدود ۲۷۸۷ هکتار اراضی زراعی رشد خواهد یافت که حدود ۲۰۱۰ هکتار آن مربوط به تبدیل بوته‌زار به کشاورزی و ۷۲۵ هکتار آن مربوط به تبدیل مراتع درختچه‌ای به کشاورزی خواهد بود. تعداد و نمایه وزن‌دار شده شکل لکه‌های بوته‌زار و مراتع درختچه‌ای افزایش می‌یابد، میانگین مساحت، پیوستگی و اندازه لکه‌ها کاهش می‌یابد که بیان‌گر تخریب و تجزیه زیستگاه‌های طبیعی در منطقه است.

واژگان کلیدی: کاربری اراضی، تغییرات سیمای سرزمین، زنجیره مارکوف، متریک‌های سرزمین، کشاورزی.

مقدمه

از منابع طبیعی دارد. تغییراتی که انسان در سرزمین ایجاد می‌کند، عمدتاً شامل تبدیل اراضی بایر و یا مراتع به اراضی کشاورزی، گسترش سکونت‌گاه‌های شهری و صنعتی در اراضی بایر و مرتعی است [۲۰].

در نواحی خشک و نیمه‌خشک جهان که ظرفیت و توان اکوسیستم‌ها، به‌ویژه مناطق حفاظت‌شده، بسیار شکننده و از طرفی سودمند است، انسان برای تأمین منابع خود سعی در تغییر در پوشش سیمای سرزمین و استفاده بیش از حد

کشاورزی، شهری و یا صنعتی جدا می‌کند. محدوده حائل به گونه‌ای طراحی شده است که زیستگاه‌های طبیعی به-ویژه پوشش گیاهی و جانوری را از اثرات ناشی از فعالیت-های انسانی برای تولید مواد غذایی و سوخت مصون نگه دارد. هرچند در بعضی از مناطق حفاظت‌شده، با افزایش جمعیت و نیاز به غذا و سوخت، اراضی کشاورزی با محدوده پیرامونی در منطقه حفاظت‌شده ادغام شده است و اثرات زیان‌بار و یا حتی سودمندی دارد.

بسیاری از مشکلات محیط‌زیستی در محدوده‌های حائل، مربوط به کشاورزی ناپایدار و استفاده بیش از حد از آب و خاک اراضی بوده است که موجب کاهش خدمات اکوسیستمی اراضی شده است. گسترش کشاورزی به نواحی جدید در درون مناطق حفاظت‌شده و زهکشی و استفاده نامناسب از منابع آب، تنوع زیستی را کاهش داده، سلامت اکوسیستم‌ها را به‌خطر انداخته، زیستگاه گونه‌های وحشی را تهدید کرده است و سرانجام، موجب کاهش خدمات محیط‌زیستی و اکوسیستمی شده است. مزارع کشاورزی مقادیر زیادی مواد شیمیایی، آفت‌کش‌ها، مواد آلی و دیگر سموم را در اراضی انتشار می‌دهند که از طریق خاک و آب، مواد آلوده‌کننده و سمی وارد زیستگاه مناطق حفاظت‌شده می‌شود [۱۱]. در منطقه جنگلی سائوپائولو در مرز غربی اقیانوس اطلس طی سال‌های ۱۹۷۱ تا ۲۰۰۸ جنگل‌های بارانی به اراضی کشاورزی اغلب برای کشت نیشکر تبدیل گردید؛ منطقه حفاظت‌شده جنگلی به قطعات گسسته جنگل تبدیل شد. منطقه حفاظت‌شده جنگلی قطعه‌قطعه شده و تنوع زیستی آن به شدت کاهش یافت [۵].

تبدیل اراضی طبیعی به زمین کشاورزی، به دلیل تقاضای زمین، محرک مهمی در نظر گرفته شده است که توانایی اراضی را برای ارائه خدمات اکوسیستمی محدود می‌کند. کاهش خدمات اکوسیستمی به طور عمده به دلیل فعالیت‌های کشاورزی است که برای برآوردن رفاه انسان در آفریقا انجام شده است. کمی‌کردن این خدمات رو به کاهش در طول زمان و مکان برای آسان‌سازی تصمیم‌گیری مدیریتی پایدار ضروری است.

در مناطق حفاظت‌شده، چرای بیش از حد دام‌های اهلی، تبدیل اراضی بایر به کشاورزی و صنعتی بیشترین فراوانی در تغییر پوشش اراضی را دارند [۲۹]. این تغییرات کاربری موجب تغییراتی در سیمای سرزمین، توان بالقوه و تولید خدمات اکوسیستمی قابل ارائه در مناطق حفاظت‌شده می‌شود. اگر این روند ادامه داشته باشد، نظم اکوسیستمی دچار اختلال شده و محیط توانایی تولید خدمات را از دست داده و در این شرایط بسیاری از گونه‌های گیاهی و جانوری در زیست‌بوم‌های فعال، حذف شده و از بین می‌روند [۲۲].

با تغییر در نظم اکولوژیکی منطقه حفاظت‌شده، دیگر خدماتی برای انسان قابل ارائه نیست. در واقع منطقه به اراضی انسان‌ساخت تبدیل می‌شود که خدمات اکوسیستمی آن به کمترین حد خود می‌رسد و ماهیت منطقه حفاظت‌شده از بین می‌رود. مناطق حفاظت‌شده در نواحی گرم و خشک به شدت در معرض خطر و تهدید ناشی از دست‌اندازی انسان به طبیعت و اکوسیستم قرار دارند. منطقه حاشیه و یا مرزی منطقه حفاظت‌شده به عنوان یک مرز حیاتی، نقش مهمی در حفظ اکوسیستم درونی خود دارد که می‌تواند اثرات ناشی از تغییرات کاربری اراضی و به‌ویژه دست‌اندازی انسان را بر منطقه حفاظت‌شده به حداقل برساند [۲۱]. این ناحیه مرزی نیاز به تدوین راهبرد و سیاست‌گذاری مناسب در راستای حفظ اکوسیستم‌های درونی یک منطقه دارد. اگر با سیاست-گذاری و مدیریت صحیح با رویکرد پایداری محیط‌زیست به این ناحیه مرزی توجه شود، می‌توان از بروز پدیده غیرطبیعی و ناهنجاری ناشی از تغییرات کاربری اراضی ناگهانی در لکه‌های منظم اکوسیستم درونی جلوگیری نمود و توان اکوسیستم را حفظ کرد [۱۵]. اما در صورتی-که ناحیه مرزی در کوتاه مدت تحت گستره فعالیت‌های انسانی از قبیل کشاورزی، صنعت و ساخت و ساز قرار بگیرد، اجزای اکوسیستم واکنش ناهنجار در برابر تغییرات نشان داده و تعادل اکوسیستم برهم خورده و موجب تخریب سرزمین و کاهش خدمات اکوسیستمی منطقه حفاظت‌شده می‌شود.

از دیدگاه جغرافیای مکانی، مناطق حفاظت‌شده دارای مرزهای پیرامونی هستند که این اراضی را از جوامع

ذرت، سیب زمینی و پرورش میگو در اراضی تالابی است [۱۸].

در طول ۳۲ سال (۱۹۸۶ تا ۲۰۱۷) در حوضه رودخانه حبله رود در کویر مرکزی ایران، زمین های بایر، زمین های شور، مناطق کشاورزی، صنعتی و مسکونی به ترتیب حدود ۸، ۶/۲، ۲/۷، ۰/۶۳ و ۰/۴۸ درصد افزایش یافته اند. در حالی که سطح مرتع ۱۸ درصد کاهش یافت [۱۰].

در حوضه آبخیز ناشه در اتیوپی که شاخه اصلی حوضه رودخانه نیل است، پژوهشگران تغییرات کاربری اراضی در سال های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۹ و پیش بینی آن برای سال ۲۰۵۰ را با ترکیب مدل آشکارساز تغییرات سرزمین^۳ و زنجیره مارکوف بررسی کردند. نتایج نشان داد که زمین های جنگلی، علفزارها و مرتع بیشترین نوع استفاده از زمین را دارند. زمین کشاورزی در سال ۱۹۹۰ بالغ بر ۴۱۵۸۷ هکتار بوده است که در سال ۲۰۱۹ با میانگین رشد ۳۹ درصد به ۵۷۸۶۸ هکتار افزایش یافته است. اراضی جنگلی، اراضی مرتعی و علفزار به ترتیب با نرخ های ۴۸، ۱۹ و ۲۶ درصد کاهش یافتند. نقشه پیش بینی شده نشان می دهد که زمین های کشاورزی به ۶۹۰۲۱ و ۶۹۲۶۴ هکتار در سال ۲۰۳۵ و ۲۰۵۰ افزایش می یابد [۱۳].

پژوهشگران تغییرات پوشش اراضی منطقه حفاظت شده انگورنگورو^۴ و اطراف آن بررسی کردند. پوشش اراضی پیش بینی شده برای دوره ۲۰۲۵ تا ۲۰۳۵ کاهش در بوته ها، جنگل ها، آب و زمین های جنگلی را نشان داد، اما در زمین های زیر کشت، علفزار، زمین های بایر و مناطق ساخته شده، تشدید شد. جنگل های طبیعی با ارزش های زیست محیطی زیاد، به طور مداوم تحت روند مدیریت زمین فعلی در حال کاهش هستند که باعث از بین رفتن ارزش های اکولوژیکی منطقه می شود [۱۷].

پیش بینی پوشش اراضی سال ۲۰۳۰ در زامبیا بررسی شد. پوشش اراضی از ۲۰۲۰-۲۰۳۰ گسترش و انقباض طبقات مختلف را نشان می دهد. با این حال، اراضی مسکونی با ۴۲ درصد تغییرات عمده ای را در بین کلاس های پوشش اراضی ایجاد می کند. زمین های زراعی، جنگل های انبوه، علفزار، تالاب و زمین های بایر به ترتیب

پژوهشگران مدل یکپارچه خدمات اکوسیستمی^۱ را برای ارزش گذاری خدمات اکوسیستمی در رواندا در سال های ۱۹۹۰، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ مورد استفاده قرار دادند. نتایج نشان داد پوشش جنگلی از ۶۱ درصد در سال ۱۹۹۰ به ۲۰ درصد در سال ۲۰۱۰ رسید. مناطق زراعی و سکونت گاهی، هر دو، به ترتیب از ۲۴/۷ درصد به ۵۳/۴ درصد و از ۰/۵ درصد به ۱/۸ درصد افزایش یافتند. این تغییرات منجر به کاهش ذخیره کل کربن از ۴۳۹/۷ میلیون تن به ۲۳۰/۵ میلیون تن در ۲۰ سال شده است [۲۳].

تغییرات کاربری زمین در سال های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۶ در ایالات متحده بررسی شد و تأثیر آن بر زیستگاه های حیات وحش مورد ارزیابی قرار گرفت. زمین های زراعی با نرخی بیش از یک میلیون هکتار در سال در حال افزایش هستند، اما حدود ۶۹/۵ درصد از این زمین های زراعی جدید بازدهی کمتر از میانگین کشور آمریکا دارند. عملیات کشاورزی در زیستگاه های حیات وحش موجب کاهش سه برابری تولیدمثل پروانه و ۳۷ درصد کاهش فرصت لانه سازی آنها در هر هکتار به ویژه در منطقه پیری شمال شده است [۱۲].

در منطقه حفاظت شده تاسک برا در مالزی، نیروهای محرکه مهم در تغییرات کاربری داخلی و خارجی محدوده و چگونگی تعیین کاربری آینده برای سال ۲۰۲۸ پیش بینی شد. نتایج نشان داد که طی سال های ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۴، مناطق جنگلی به ویژه بخش مرزی آن روند کاهشی داشته است که عمدتاً به اراضی کشاورزی تبدیل شده است. در آینده نیز نرخ تلفات جنگل و گسترش کشاورزی تشدید خواهد شد که می تواند بر تنوع زیستی عرصه اثر منفی بگذارد [۲۱].

در پارک ملی ژوان سالی^۲ در ویتنام، پژوهشگران توسعه کشاورزی در محدوده پیرامونی پارک را بررسی نمودند و نشان دادند که کشاورزان به دنبال توسعه زراعت و میل به سود بیشتر، خشکاندن تالابها و تخریب جنگلهای پارک ملی را رقم زده اند. کشت غالب نیز برنج،

3- LCM

4- Ngorongoro

1- InVEST

2- Xuan Thuy

۳۷۶، ۱۰۸۷، ۷۰، ۲۶ و ۰/۳۶ کیلومترمربع کاهش خواهند یافت [۴].

تغییرات پوشش اراضی در حوضه آبریز رودخانه مونو به روش جنگل تصادفی^۱ و با استفاده از روش زنجیره مارکوف ارزیابی شد. نتایج نشان داد که زمین‌های زراعی و جنگل‌ها از سال ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ به ترتیب (۷/۸ و ۱/۹ درصد) کاهش و سکونت‌گاه‌ها (۱/۳ درصد) و ساوانا (۸/۵ درصد) افزایش یافت [۲۷].

پژوهشگران استفاده از زمین در گذشته و آینده و تغییر پوشش زمین در حوضه رودخانه بتوا^۲، مرکز هند را با مدل آشکارساز تغییرات سرزمین بررسی کردند. نتایج نشان داد که طی دوره ۲۰۲۰ - ۱۹۹۰ زمین‌های کشاورزی، جنگل‌های باز و مساحت زمین ساخته شده به طور قابل توجهی افزایش یافته است. علاوه بر این، پیش‌بینی پوشش اراضی برای دوره ۲۰۵۰ - ۲۰۳۰ نشان می‌دهد که گسترش جنگل‌های باز و مساحت زمین ساخته شده ادامه خواهد داشت، در حالی که مساحت زمین کشاورزی در آینده ثابت خواهد ماند [۸].

منطقه حفاظت‌شده کویر، با وسعت ۲۴۸۹۵۷ هکتار در ناحیه جنوبی کلان‌شهر تهران و شهرهای اقماری آن قرار گرفته است و یک زیستگاه غنی محسوب می‌شود. این منطقه گسترده در بخش شمالی کویر و دشت جنوبی البرز، در منطقه روند تغییر زیستگاهی از شمال به جنوب قرار دارد که از کوهستان البرز شروع شده و تا کویر مرکزی ادامه می‌یابد.

طیف اثرات توسعه کشاورزی و فرآیند تغییرات کاربری و تبعات زیست محیطی، اقتصادی، اکولوژیکی، زیستگاهی در منطقه حفاظت‌شده کویر، برای مردم حاشیه منطقه قابل چشم‌پوشی نیست بنابراین، مدیران و سیاست‌گذاران، منطقه حفاظت‌شده کویر را به عنوان مکانی برای ایجاد تعادل بین توسعه اجتماعی-اقتصادی و حفاظت از محیط-زیست معرفی می‌نمایند. معیشت افرادی که در نزدیکی این منطقه زندگی می‌کنند، اغلب به کشاورزی (زراعت و دام‌پروری) وابسته است که این شرایط منجر به توسعه اراضی کشاورزی در محدوده پیرامونی و درونی منطقه

حفاظت‌شده کویر شده است. افزایش جمعیت در شهرک‌های اقماری بخش جنوبی تهران، به‌ویژه در ورامین که دشت آن زیر کشت گسترده زراعت می‌باشد، باعث شده تا کمیت و کیفیت آب در حاشیه منطقه حفاظت‌شده کاهش یابد. اراضی پیرامونی منطقه حفاظت‌شده، قطعه-قطعه و تخریب شود و سطوح آسیب‌پذیر افزایش یافته و زوال تنوع زیستی در محدوده پیرامونی اتفاق بیفتد.

اراضی برای انجام کشاورزی در منطقه حفاظت‌شده کویر منجر به مناقشاتی بین سازمان‌های متولی شده است، به‌طوری‌که اشتغال بومی‌ها در بخش کشاورزی یکی از ضروریات اساسی در تقویت رشد اقتصادی منطقه است؛ اما این رشد مستلزم تدوین برنامه‌های مدیریتی برای کاهش خسارت‌های محیط‌زیستی است.

اگر توسعه و رشد کشاورزی با عدم توجه به ابعاد زیستی منطقه باشد، توسعه به سمت ناپایداری خواهد رفت، در صورتی‌که بتوان رشد کشاورزی را با رویکرد حفاظت از محیط‌زیست به سمت پایداری سوق داد، می‌توان مناقشات را حل نموده و راه‌حل مدیریتی برای این معضل برنامه‌ریزی کرد.

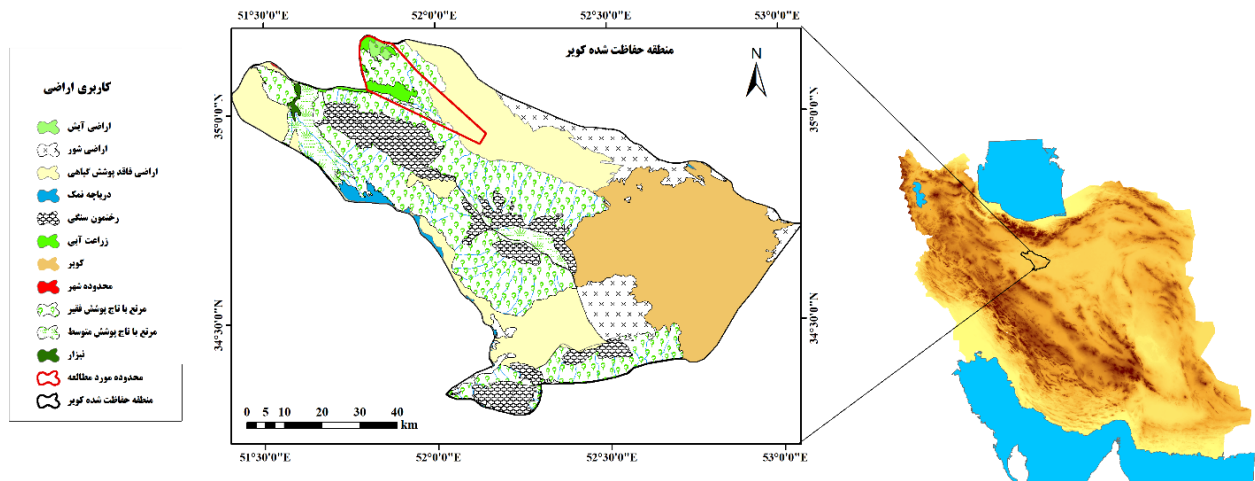
برای دستیابی به این رهیافت، ابتدا بایستی میزان افزایش اراضی زراعی در منطقه حفاظت‌شده کویر و توزیع مکانی آن مشخص شود. سپس بر مبنای میزان پیشروی، بتوان راه‌حل‌های مدیریتی ارائه نمود. بنابراین، هدف از مطالعه حاضر، آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی در ناحیه شمالی منطقه حفاظت‌شده کویر است که تحت تأثیر اراضی برای انجام کشاورزی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه در این پژوهش، بخش شمالی منطقه حفاظت‌شده کویر است که بخشی از مساحت ۲۴۸۹۵۷ هکتاری منطقه حفاظت‌شده، با سطح ۳۳۹۳۳ هکتار را شامل می‌شود (شکل ۱). این منطقه که در شمال دریاچه نمک قم واقع شده است، در سال ۱۳۴۳ به عنوان منطقه حفاظت‌شده اعلام و در سال ۱۳۵۵ نیز به عنوان ذخیره‌گاه زیست‌کره انتخاب شد. منطقه حفاظت‌شده کویر در سال‌های ۱۳۵۵ تا ۱۳۶۱ نیز به عنوان پارک ملی تحت مدیریت قرار داشت.

1- Random Forest

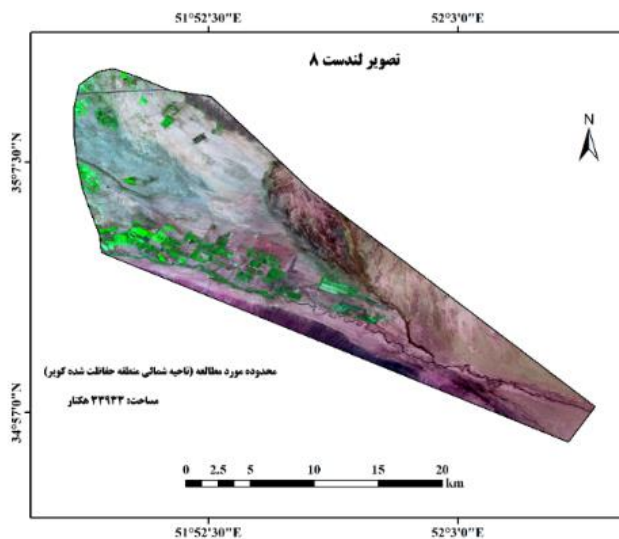
2- Betwa



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه در بخش شمالی منطقه حفاظت شده کویر

منطقه دارای اقلیم فراهشک معتدل است و بارش سالانه آن بین ۵۰ تا ۳۰۰ میلی متر متغیر است. حداکثر دمای آن به بیش از ۵۰ درجه سانتی گراد و حداقل آن به ۱۵- درجه سانتی گراد می رسد. چشمه ها و چاه های کم آب منطقه منابع اصلی تأمین آب آن به شمار می آیند. وجود مناطق استپی، باتلاقی، کویری و نمکزار در منطقه موجب تشکیل رویشگاه های گیاهی و زیستگاه های جانوری متنوعی شده اند. با توجه به توسعه اراضی کشاورزی در بخش شمالی منطقه حفاظت شده کویر، در این مطالعه مساحت ۳۳ هزار و ۹۳۳ هکتار که اراضی کشاورزی در آن گسترش یافته است، به عنوان محدوده مطالعاتی به منظور پیش بینی تغییرات اراضی انتخاب گردید (شکل ۲).

این منطقه از سال ۱۳۴۳ کانون شکار ایران (که بعدها به سازمان حفاظت محیط زیست تبدیل شد) قرار گرفت و از سال ۱۳۵۵ به رده حفاظتی بالاتر، یعنی پارک ملی ارتقاء یافت. در سال ۱۳۵۷ با کاهش بخش هایی از شمال و افزایش بخش هایی در جنوب، مساحت آن به ۶۷۰ هزار هکتار رسید. در سال ۱۳۶۱ به دو بخش پارک ملی به وسعت ۴۲۰ هزار هکتار شامل منطقه سیاه کوه، نخجیر، سفیدآب و منطقه حفاظت شده به وسعت ۲۵۰ هزار هکتار شامل دشت های مکوش، سیاه پرده، پرده زرد و ارتفاعات دوازده امام و نره خرکوه تقسیم شد. پارک ملی کویر، تنها پارک ملی در ایران است که به گفته سازمان محیط زیست در آن هیچ گونه سکونت گاه انسانی، معدنی و پروانه چرای دام وجود ندارد.



شکل ۲- تصویر لندست از محدوده مورد مطالعه در بخش شمالی از منطقه حفاظت شده کویر

۲۰۱۳ و ۲۰۲۰ استفاده گردید. تصاویر ماهواره‌ای لندست یکی از پرکاربردترین تصاویر جهانی در مطالعات برنامه-ریزی زمین از جمله کاربری اراضی و نظارت بر تغییرات اراضی طی بازه‌های زمانی مختلف است [۷] که در پژوهش حاضر از سری سنجنده‌های لندست از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا استفاده گردید (جدول ۱).

تصاویر در ردیف (۱۶۴) و گذر (۳۶) ثابت برای محدوده مورد مطالعه و زون ۳۹ قرار داشت. تصاویر در ماه‌های خرداد و تیر (ژوئن و جولای) انتخاب شد تا این‌که پوشش گیاهی به‌وضوح در تصاویر نمایان باشد.

این مطالعه، ماهیت توصیفی-تحلیلی دارد و از لحاظ هدف که پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با تأکید بر کشاورزی در محدوده مورد مطالعه می‌باشد، کاربردی است. این مطالعه در سه گام اصلی شامل: (۱) بررسی تغییرات کاربری اراضی محدوده مورد مطالعه در سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۰ میلادی، (۲) پیش‌بینی تغییرات سرزمین و توسعه اراضی کشاورزی و (۳) تحلیل متریک‌های سیمای سبز در محدوده مورد مطالعه انجام شد.

آشکارسازی تغییرات سرزمینی

در گام اول، برای تهیه نقشه کاربری اراضی، از تصاویر ماهواره‌ای لندست در سال‌های ۱۹۸۶، ۱۹۹۴، ۲۰۰۲،

جدول ۱- تصاویر سنجنده‌های لندست در تهیه نقشه‌های کاربری اراضی در مطالعه حاضر

تاریخ تصویر	ماهواره	سنجنده	تفکیک مکانی (متر)	تصویر ID
ژوئن ۱۹۸۶	لندست ۵	TM	۳۰	LT05_L1TP_164036_19860618_20170217_01_T1
ژوئن ۱۹۹۴	لندست ۵	TM	۳۰	LT05_L1TP_164036_19940624_20200417_01_T1
ژوئن ۲۰۰۲	لندست ۵	TM	۳۰	LT05_L1TP_164036_20020614_20180718_01_T1
ژوئن ۲۰۱۳	لندست ۸	OLI	۳۰	LC08_L1TP_164036_20130612_20170504_01_T1
ژوئن ۲۰۲۰	لندست ۸	OLI	۳۰	LC08_L1TP_164036_20200615_20200626_01_T1

برای این آشکارسازی وجود دارد. یکی از این روش‌ها، مقایسه پس از طبقه‌بندی^۳ است [۳۱].

در پژوهش حاضر برای شناسایی تغییرات کاربری، از روش مقایسه پس از طبقه‌بندی استفاده شد. در این روش، دو نقشه به‌صورت پیکسل به پیکسل با استفاده از ماتریس شناسایی تغییرات با هم مقایسه می‌شوند. یکی از پرکاربردترین مدل‌هایی که در آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی استفاده می‌شود، مدل‌سازی تغییرات زمین است که در نرم‌افزار ادریسی انجام می‌شود. این مدل تحلیلی از تغییرات کاربری اراضی طی دوره‌های مختلف زمانی را بررسی نموده و میزان تغییرات را نشان می‌دهد [۱۴].

در این مطالعه، تغییرات کاربری اراضی در محدوده مورد مطالعه بین سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۰ مورد تحلیل قرار گرفت و نقشه تغییرات تولید شد. مدل‌سازی تغییرات

در مرحله پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای، خطاهای ناشی از اعوجاج هندسی و رادیومتریکی تصحیح شد. تصاویر به‌منظور طبقه‌بندی کاربری‌های اراضی در محدوده مورد مطالعه آماده شده و با استفاده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان^۱، نقشه‌های کاربری اراضی طی سال‌های مورد مطالعه تهیه شد. تهیه نقشه کاربری اراضی از روی تصاویر ماهواره‌ای لندست با کدنویسی در محیط متن باز گوگل ارث انجین^۲ انجام شد [۱۹]. نقشه‌های کاربری اراضی برای سال‌های مورد مطالعه ذخیره شد و به عنوان ورودی مدل آشکارساز تغییرات سرزمین، وارد نرم‌افزار ادریسی گردید.

آشکارسازی تغییرات که یکی از فرآیندهای ضروری در تحلیل و ارزیابی محیط‌زیست می‌باشد، در واقع فرآیند شناسایی تفاوت‌ها در وضعیت یک شیء یا پدیده با مشاهده آن در زمان‌های مختلف است. روش‌های گوناگونی

۱- SVM

۲- Google Earth Engine

۳- Post Classification

در این مرحله، یک سناریو با استفاده از قابلیت زنجیره مارکوف و ماتریس احتمال انتقال محاسبه شد. مدل تعیین می‌کند چگونه متغیرهای انتخاب‌شده بر روند تغییرات پوشش زمین تأثیر می‌گذارد. دلیل استفاده از زنجیره مارکوف، تعیین مقدار کمی تغییرات که ممکن است در برخی از نقاط در آینده رخ دهد، می‌باشد. بنابراین ماتریس احتمال انتقال، احتمالی که هر کلاس کاربری به دیگر کلاس‌ها تغییر خواهد کرد را ثبت می‌کند.

روش مدل‌سازی تغییرات زمین دو مدل را جهت پیش‌بینی تغییرات ارائه می‌دهد که شامل پیش‌بینی سخت و پیش‌بینی نرم^۲ است [۲۸]. در این مطالعه از هر دو مدل سخت و نرم خروجی گرفته شد و در آخر اعتبارسنجی مدل انجام شد.

تحلیل متریک‌های سیمای سبز سرزمین (قطعات کشاورزی)

پس از ترسیم نقشه پوشش اراضی با الگوریتم ماشین بردار پشتیبان و طبقه‌بندی کاربری‌های اراضی در محدوده مطالعاتی در منطقه حفاظت‌شده کویر، از متریک‌های سیمای سبز سرزمین برای تحلیل ابعاد و تغییرات لکه‌های سبز که در این پژوهش اراضی کشاورزی می‌باشد، استفاده شد. این تحلیل در نرم‌افزار Frag stats انجام شد.

برای نقشه‌سازی متریک‌های سبز کشاورزی از روش پهنه‌بندی مربعی استفاده شد و محدوده مورد مطالعه به مربعاتی با ابعاد یکسان تبدیل شد. متریک‌های مورد استفاده برای تحلیل لکه‌های سبز کشاورزی شامل متریک مساحت تمام لکه‌ها (CA)، متریک تعداد لکه‌ها (NP)، متوسط اندازه لکه (MPS)، شاخص تنوع شانون (SHDI)، میانگین نزدیک‌ترین همسایه (MNN)، نمایه وزن‌دار شده شکل لکه (AWMSI)، درصد مساحت (Pland)، تراکم لکه‌ها (Pd) و متریک پیوستگی لکه‌ها (Contag) می‌باشد [۲۴].

تغییرات اکولوژیکی رخ داده و اراضی تخریب‌شده توسط انسان و یا تغییرات اقلیمی با استفاده از تحلیل دوره‌ای متریک‌های سیمای سبز شامل مساحت کاربری سبز کشاورزی، ارتباط و فاصله لکه‌های سبز، اندازه لکه، تراکم

زمین نیز امکان بررسی روند مکانی تغییرات کاربری‌های موردنظر را به صورت گرافیکی فراهم می‌آورد. در این بخش، روند مکانی تغییر از همه کلاس‌ها به اراضی کشاورزی با استفاده از چندجمله‌ای درجه ۳ تولید و بررسی گردید.

گام بعدی در پیش‌بینی تغییرات، مدل‌سازی پتانسیل تبدیل است. پتانسیل تبدیل هر کاربری را در آینده با استفاده از نقشه‌های کاربردی دوره‌های قبل و متغیرهای مؤثر بر تغییر کاربری (متغیرهای مستقل) مدل‌سازی می‌کند. متغیرهای تأثیرگذار در گسترش اراضی کشاورزی که در این مطالعه برای پیش‌بینی گسترش زمین‌های کشاورزی در منطقه حفاظت‌شده کویر استفاده گردید، شامل: (۱) فاصله از آبراهه، (۲) قابلیت خاک برای کشاورزی، (۳) شیب اراضی، (۴) توپوگرافی و (۵) فاصله از پهنه‌های سیلابی بود. به منظور آماده‌سازی متغیرهای مستقل و استفاده در مدل، توابع فازی بر هر یک از لایه‌های موردنظر اعمال گردید.

برای بررسی همبستگی بین متغیرهای مستقل و طبقات کاربری اراضی، ضریب همبستگی کرامر محاسبه شد. متغیرهای تست‌شده جهت مدل‌سازی پتانسیل تبدیل استفاده گردید. مدل‌سازی تبدیل در نرم‌افزار ادریسی با ابزار مدل‌سازی تغییرات زمین سه روش کاربردی را ارائه می‌دهد که در این پژوهش از روش شبکه عصبی استفاده گردید [۳۰]. بنابراین نقشه پتانسیل تبدیل کاربری‌ها به اراضی کشاورزی با استفاده از متغیرهای مستقل به روش شبکه عصبی انجام شد.

پیش‌بینی واگذاری و گسترش کشاورزی (زنجیره مارکوف)

پیش‌بینی تغییرات آخرین مرحله از مدل‌سازی با استفاده از مدل‌سازی تغییرات زمین است که در این مطالعه گسترش اراضی کشاورزی در بخش شمالی منطقه حفاظت‌شده کویر و محدوده مرزی آن در سال ۲۰۵۶ میلادی با مدل سلول‌های خودکار مارکوف^۱ بر مبنای تغییرات ایجاد شده در سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۰ شبیه‌سازی شد.

²- Hard and Soft Prediction

¹- CA-Markov

حاشیه لکه‌های سبز و تعداد لکه‌های سبز طی ۳۶ سال گذشته شناسایی و بررسی شد و در آن گسترش کشاورزی در محدوده شمالی منطقه حفاظت‌شده کویر، نمایان و تحلیل شد (جدول ۲).

جدول ۲- متریک‌های سیمای سرزمین مورد استفاده در مطالعه حاضر

متریک	توضیحات
MNN	Mean Nearest Neighbor میانگین نزدیک‌ترین همسایه
AWMSI	Area Weighted Mean Shape Index نمایه وزن دار شده شکل لکه (نسبت محیط به مساحت)
MPS	Mean Patch Size میانگین اندازه لکه‌ها (مساحت لکه در کلاس / تعداد لکه‌های آن کلاس)
PD	Patch Density تراکم لکه‌ها (تعداد لکه در واحد سطح)
NP	Number of Patches تعداد لکه‌های موجود در سیمای سرزمین
Pland	Percentage of landscape درصد مساحت (نسبت فراوانی هر لکه در سیمای سرزمین)
CA	Class area مساحت لکه (مساحت تمام لکه‌های یک کلاس)
SHDI	Shannon's Diversity Index شاخص تنوع شانون (تنوع کاربری‌ها در سطح سیمای سرزمین)
CONTAG	Contagion متریک پیوستگی (مقدار تخریب در سرزمین را بیان می‌کند)

نتایج

کشاورزی از ۱/۲۷ درصد در سال ۱۹۸۶ به ۱۲/۴۴ درصد در سال ۲۰۲۰ رسیده است که نشان می‌دهد اراضی کشاورزی طی ۳۴ سال گذشته به‌ویژه از سال ۲۰۰۲ به بعد، گسترش زیادی داشته است (شکل ۳).

علاوه بر محاسبه مساحت کاربری‌های اراضی در محدوده مورد مطالعه، توزیع مکانی کاربری‌ها نیز در سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۰ به‌صورت مجزا نقشه کاربری اراضی تهیه شده (شکل‌های ۴ تا ۶). گسترش و توسعه اراضی کشاورزی به‌طور عمده در بخش شمالی محدوده بوده که به سمت مرکز ناحیه و در امتداد رودخانه گلو گسترش یافته است و بوت‌زارهای پراکنده در دشت با شیب ملایم و سطح هموار به اراضی کشاورزی تبدیل شده است.

به‌طور کلی، از سال ۱۹۸۶ تا ۱۹۹۴ اراضی کشاورزی حدود ۱۶۵۳/۵ هکتار افزایش یافته است؛ اما از سال ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۲ از مساحت اراضی کشاورزی کاسته شده است. مجدد از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۰ هر ساله بر میزان اراضی زراعی افزوده شده و بوت‌زارهای پراکنده به زیرکشت رفته است. بوت‌زارها طی این ۳۴ سال، کاملاً روند کاهشی داشته است که به اراضی کشاورزی و یا مراتع درختچه‌ای پراکنده بیابانی تبدیل شده است (جدول ۴).

طبقه‌بندی پوشش اراضی در محدوده مورد مطالعه در ناحیه شمالی منطقه حفاظت‌شده کویر به مساحت ۳۳۹۳۳ هکتار با الگوریتم ماشین بردار پشتیبان روی تصاویر لندست اجرا شد. سپس صحت کلی و اعتبار نقشه‌های تولید شده با کدنویسی^۱ در گوگل ارث انجین به‌دست آمد. نتایج نشان داد که صحت سنجنده‌های سری لندست بیشتر از ۰/۹۸ بود و قابلیت استفاده دارند.

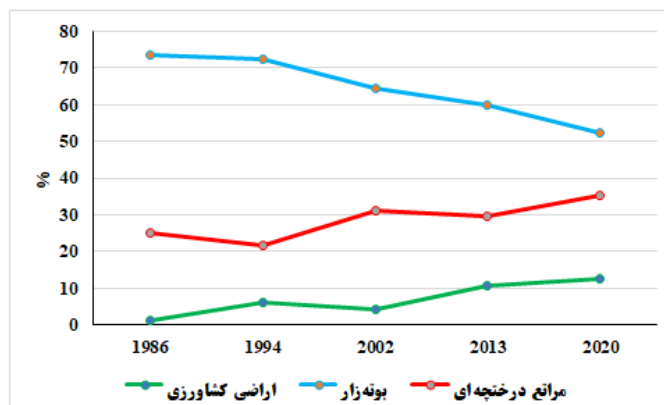
کاربری‌ها به سه کلاس اراضی کشاورزی، بوت‌زارهای بیابانی و مراتع درختچه‌ای پراکنده در سال‌های ۱۹۸۶، ۱۹۹۴، ۲۰۰۲، ۲۰۱۳ و ۲۰۲۰ تقسیم شد. مساحت هر یک از کاربری‌ها در سال‌های مزبور در جدول ۳ ارائه شده است. بیشترین مساحت کاربری مربوط به بوت‌زارهای بیابانی است که در طی ۳۴ سال گذشته، بیش از ۵۰ درصد اراضی در محدوده مورد نظر را به خود اختصاص داده است. پس از آن، مراتع درختچه‌ای پراکنده است که بیش از ۲۰ درصد را به خود اختصاص داده است.

کمترین سطح کاربری نیز مربوط به اراضی کشاورزی بوده است؛ اما درصد فراوانی آنها طی سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۰ دستخوش تغییراتی شده است. سطح اراضی

^۱- print ('confusion matrix', classifier.confusionMatrix());
print('overall accuracy', classifier.confusionMatrix()
.accuracy());

جدول ۳- تغییرات مساحت و درصد فراوانی کاربری‌های اراضی محدوده مورد مطالعه در منطقه حفاظت شده کویر

ردیف	طبقه کاربری	سال	۱۹۸۶	۱۹۹۴	۲۰۰۲	۲۰۱۳	۲۰۲۰
۱	اراضی کشاورزی	هکتار	۴۳۴/۵	۲۰۸۸	۱۴۹۰	۳۵۹۴	۴۲۴۳
	درصد از کل		۱/۲۷	۶/۱۲	۴/۳۶	۱۰/۵۳	۱۲/۴۴
۲	بوته‌زار	هکتار	۲۵۰۸۰	۲۴۶۴۰	۲۲۰۰۷	۲۰۴۳۳	۱۷۸۴۸
	درصد از کل		۷۳/۵۳	۷۲/۲۴	۶۴/۵۲	۵۹/۹۱	۵۲/۳۳
۳	مراعات درختچه‌ای	هکتار	۸۵۹۰	۷۳۷۶	۱۰۶۰۷	۱۰۰۷۷	۱۲۰۱۳
	درصد از کل		۲۵/۱۸	۲۱/۶۲	۳۱/۱۰	۲۹/۵۴	۳۵/۲۲



شکل ۳- نمودار سری زمانی تغییرات درصد فراوانی کاربری‌های اراضی در محدوده مورد مطالعه بین سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۰

جدول ۴- تغییرات کاربری‌های اراضی در محدوده مورد مطالعه

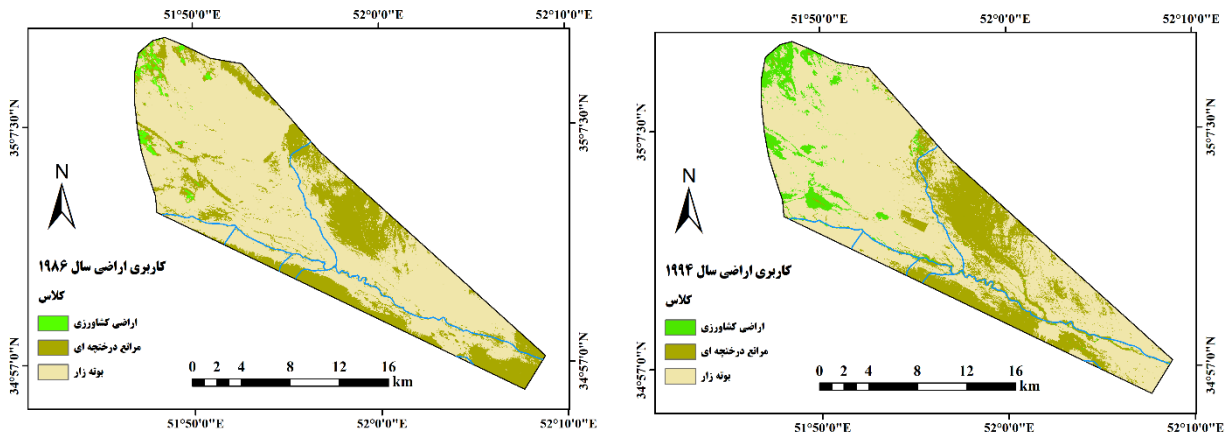
ردیف	طبقه کاربری	۱۹۸۶ تا ۱۹۹۴	۱۹۹۴ تا ۲۰۰۲	۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳	۲۰۱۳ تا ۲۰۲۰
۱	اراضی کشاورزی	+۱۶۵۳/۵	-۵۹۸	+۲۱۰۴	+۶۴۹
۲	بوته‌زار	-۴۴۰	-۲۶۳۳	-۱۵۷۴	-۲۵۸۵
۳	مراعات درختچه‌ای	-۱۲۱۴	+۳۲۳۱	-۵۳۰	+۱۹۳۶

افزوده شده و حدود ۸۱ هکتار نیز از اراضی زراعی کاسته شده است (جدول ۵).

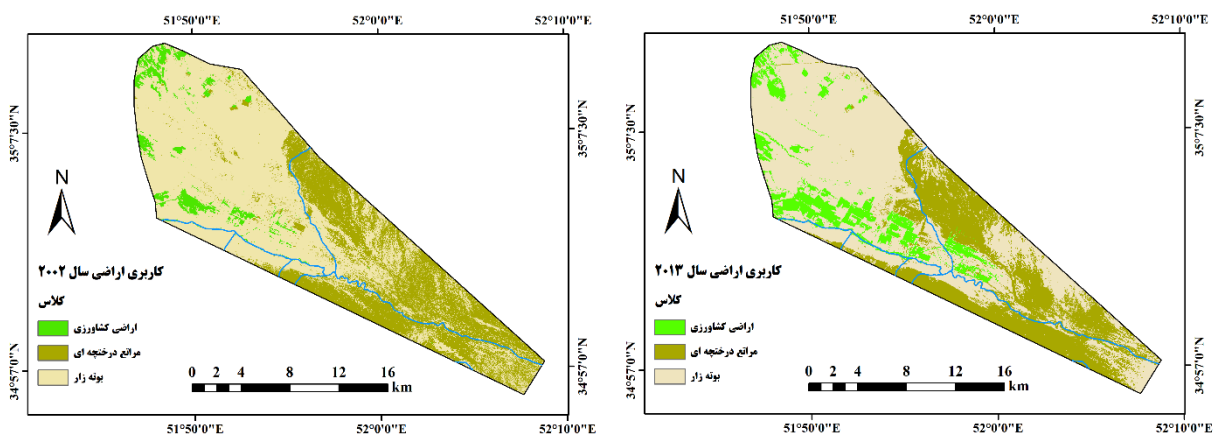
در شکل‌های ۷ و ۸ نقشه توزیع مکانی اراضی کشاورزی از دست رفته و اضافه شده در محدوده مورد مطالعه نشان داده شده است. به طور عمده اراضی اضافه شده کشاورزی در امتداد رودخانه گلو و همچنین اراضی ناحیه شمالی محدوده مورد نظر بوده است. اراضی از دست رفته که در سال‌های ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۲ زیاد بوده، در نواحی شمالی محدوده مطالعاتی و در سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۰ در پایین دست رودخانه گلو است که خشکسالی می‌تواند دلیل اصلی عدم کشت در این قطعه زمین باشد.

خروجی مدل تغییرات سرزمین نشان داد که اراضی کشاورزی اضافه شده نسبت به اراضی کشاورزی از دست رفته در سال‌های ۱۹۸۶ تا ۱۹۹۴، ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳، ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۰ بیشتر بوده است و در این سال‌ها، سطح زیرکشت گسترش یافته است. بیشترین اراضی کشاورزی افزوده شده در سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳ بوده که حدود ۲۴۵۶ هکتار اراضی کشاورزی در منطقه افزایش یافته است. اما در سال‌های بین ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۲ اراضی از دست رفته کشاورزی بیشتر از اراضی اضافه شده کشاورزی است که نشان می‌دهد خشکسالی‌ها و کمبود آب باعث کاهش اراضی زراعی شده است.

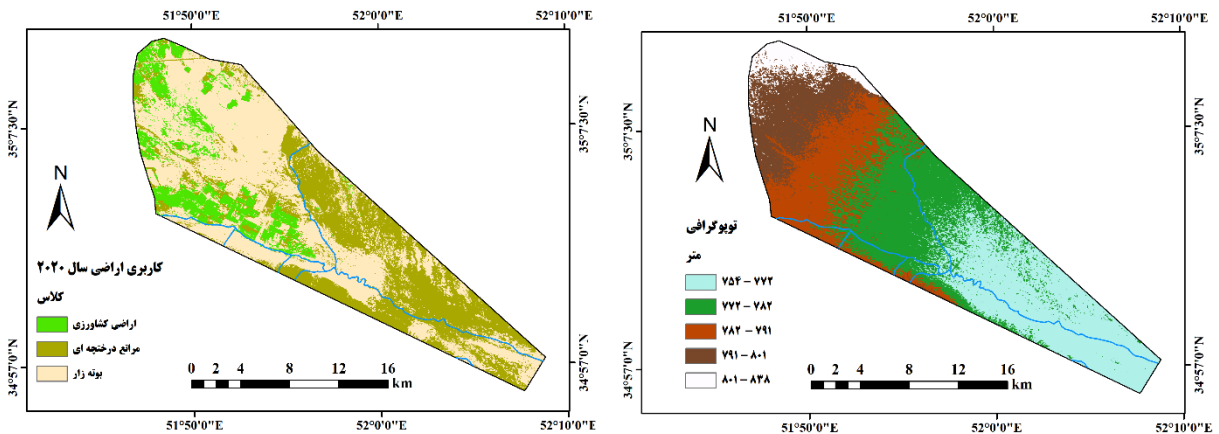
به‌طور کلی، از سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۰ حدود ۳۸۸۹ هکتار بر اراضی کشاورزی در محدوده مورد مطالعه در شمال منطقه حفاظت شده کویر، در لبه رودخانه گلو،



شکل ۴- نقشه کاربری اراضی از محدوده مورد مطالعه در بخش شمالی از منطقه حفاظت‌شده کویر در سال‌های ۱۹۸۶ و ۱۹۹۴



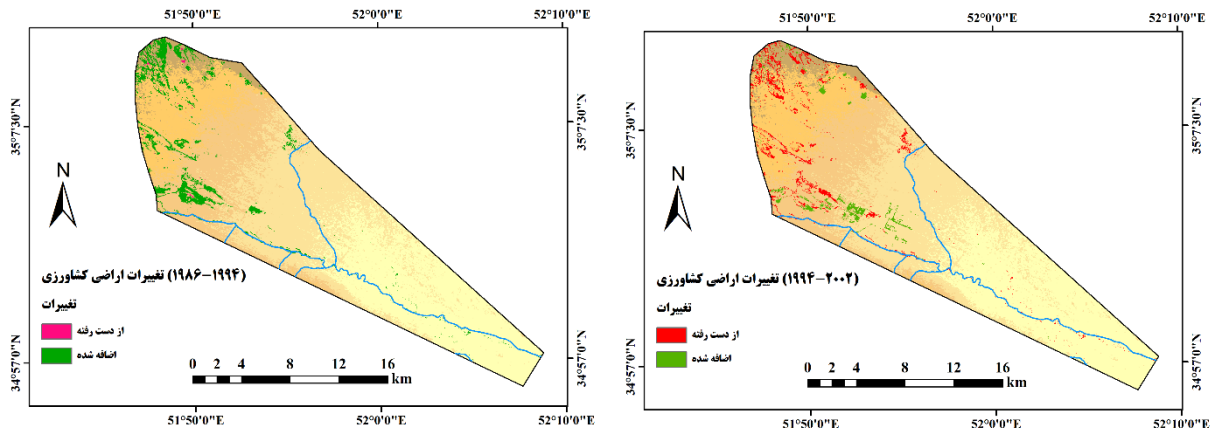
شکل ۵- نقشه کاربری اراضی از محدوده مورد مطالعه در بخش شمالی از منطقه حفاظت‌شده کویر در سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۱۳



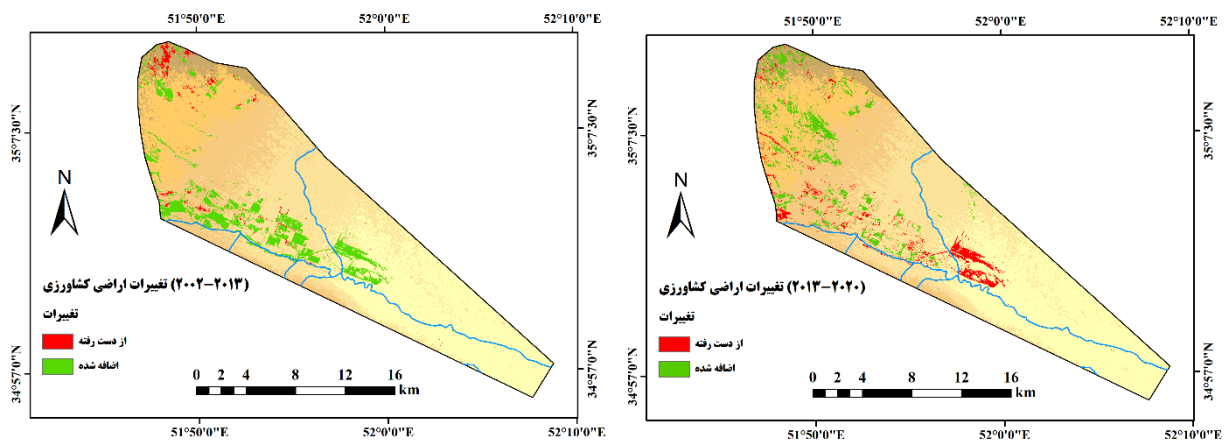
شکل ۶- نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۲۰ و توپوگرافی از محدوده مورد مطالعه در بخش شمالی از منطقه حفاظت‌شده کویر

جدول ۵- تغییرات اراضی کشاورزی در محدوده مورد مطالعه

ردیف	اراضی کشاورزی	۱۹۸۶ تا ۱۹۹۴	۱۹۹۴ تا ۲۰۰۲	۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳	۲۰۱۳ تا ۲۰۲۰	۱۹۸۶ تا ۲۰۲۰
۱	از دست رفته (هکتار)	۲۷	۱۰۲۵	۳۵۱	۱۰۰۶	۸۱
۲	اضافه شده (هکتار)	۱۶۸۰	۴۲۷	۲۴۵۶	۱۶۵۵	۳۸۸۹



شکل ۷- نقشه تغییرات اراضی کشاورزی از محدوده مورد مطالعه



شکل ۸- نقشه تغییرات اراضی کشاورزی از محدوده مورد مطالعه

سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳ و همچنین ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۰ بوت‌زارها و مراتع درختچه‌ای به زیرکشت محصولات زراعی رفته و بیشترین آن در سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳ بوده که ۲۲۷۱/۸ و ۱۸۴/۵ هکتار از بوت‌زارها و مراتع درختچه‌ای به زیر کشت رفته است. به‌طور کلی از سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۰، حدود ۳۰۶۷ هکتار از بوت‌زارها و همچنین ۸۲۲/۴ هکتار از مراتع درختچه‌ای به زیرکشت محصولات زراعی رفته است.

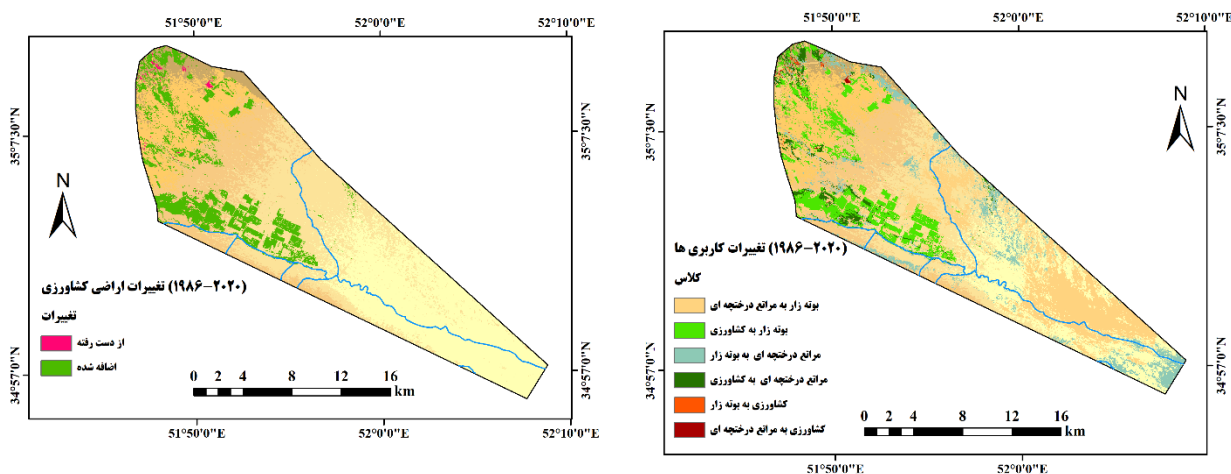
بیشترین گسترش اراضی کشاورزی طی سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۰ در ساحل سمت چپ رودخانه گلو و اراضی بالادست ناحیه است که حدود ۳۸۸۹ هکتار از اراضی بوت‌زار به زیر کشت محصولات زراعی رفته است. نوع تغییرات کاربری اراضی و مساحت و توزیع مکانی آن نیز در جدول ۶ و شکل ۹ ارائه شده است. در سال‌های ۱۹۸۶ تا ۱۹۹۴، حدود ۸۱۰/۷ هکتار از بوت‌زارها به زیرکشت محصولات زراعی رفته است؛ اما در سال‌های ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۲ این روند کاهش یافته است، اما مجدد از

جدول ۶- تبدیل‌های اراضی در محدوده مورد مطالعه

ردیف	طبقه کاربری	۱۹۸۶ تا ۱۹۹۴	۱۹۹۴ تا ۲۰۰۲	۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳	۲۰۱۳ تا ۲۰۲۰
۱	بوت‌زار به کشاورزی	۸۱۰/۷	۳۶۸/۸	۲۲۷۱/۸	۱۵۹۲/۶
۲	کشاورزی به بوت‌زار	۱۴/۲	۹۲۱/۶	۳۴۳/۳	۶۰/۲
۳	مراتع درختچه ای به بوت‌زار	۳۴۲۰/۹	۲۱۹۷	۳۲۹۰	۲۶۴۹
۴	بوت‌زار به مراتع درختچه ای	۳۰۶۴/۵	۵۳۸۳	۲۹۳۶	۴۲۴۳
۵	مراتع درختچه ای به کشاورزی	-	۵۸/۵	۱۸۴/۵	۶۲/۳
۶	کشاورزی به مراتع درختچه ای	-	۱۰۳/۸	۸/۳	۴۰/۴

تغییرات مربوط به تبدیل بوته‌زارها و به اراضی کشاورزی بوده است.

در شکل ۹، توزیع مکانی تبدیل و تغییرات کاربری‌ها در محدوده مورد مطالعه در سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۰ نشان داده شده که در امتداد رودخانه گلو بیشترین



شکل ۹- نقشه تغییرات اراضی و تغییرات کاربری‌ها از محدوده مورد مطالعه

میزان همبستگی آن‌ها با توسعه کشاورزی، پیش‌بینی گسترش اراضی کشاورزی و طبقات کاربری اراضی انجام شد.

در جدول ۷، ضریب همبستگی کرامر و سطح معنی-داری متغیرها در تغییرات کاربری اراضی ارائه شده است که نشان می‌دهد متغیرهای مستقل بر روند تغییرات کاربری‌ها در سطح ۹۹ درصد و ۹۵ درصد اثر معناداری دارد.

پس از بررسی نتایج مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی در محدوده مورد مطالعه در سال ۲۰۲۰، از مدل زنجیره مارکوف در محیط نرم‌افزار ادریسی برای پیش‌بینی گسترش اراضی کشاورزی در محدوده مورد مطالعه استفاده شد. در ساخت سناریوی آینده رهاسازی اراضی برای انجام کشاورزی در ۳۴ سال آینده (سال ۲۰۵۴)، از نتایج مدل تغییرات کاربری اراضی طی سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۰ استفاده گردید. با اضافه نمودن متغیرهای مستقل و

جدول ۷- میزان همبستگی کرامر برای متغیرهای مستقل در پیش‌بینی گسترش اراضی کشاورزی

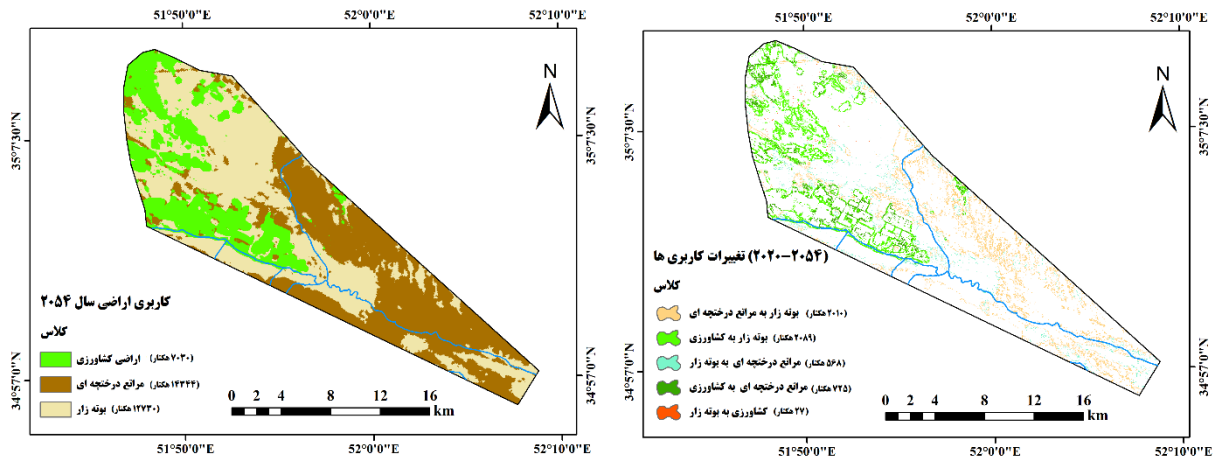
متغیر	همه کاربری‌ها	کاربری اراضی کشاورزی	کاربری بوته‌زار	کاربری مراتع درختچه‌ای
فاصله از آبراهه	۰/۵۶۳**	۰/۷۴۴**	۰/۵۲۱**	۰/۳۵۱*
خاک	۰/۴۸۴**	۰/۶۱۷**	۰/۴۱۳*	۰/۳۰۲*
شیب اراضی	۰/۳۰۸*	۰/۳۳۹*	۰/۳۱۱*	۰/۲۴۸*
توپوگرافی	۰/۲۹۸*	۰/۳۶۱**	۰/۲۸۵*	۰/۲۶۶*
فاصله از مسیل	۰/۴۲۲**	۰/۴۷۶**	۰/۴۷۲**	۰/۱۷۵*

توسعه اراضی زراعی به طور عمده در حاشیه اراضی کشاورزی موجود و در امتداد رودخانه گلو خواهد بود که بوته‌زارها به اراضی زراعی تغییر خواهند کرد. حدود ۲۰۸۹ هکتار از بوته‌زارها و ۷۲۵ هکتار از مراتع درختچه‌ای در سال ۲۰۵۴ به زیرکشت محصولات زراعی خواهد رفت (شکل ۱۰).

نتایج پیش‌بینی کاربری اراضی با مدل خودکار سلولی زنجیره مارکوف برای سال ۲۰۵۴ نشان می‌دهد که اراضی زراعی در امتداد رودخانه گلو و بوته‌زارهای شمالی به سمت مرکز دشت گسترش خواهد یافت و حدود ۲۷۸۷ هکتار بر وسعت اراضی کشاورزی نسبت به سال ۲۰۲۰ افزوده خواهد شد (جدول ۸).

جدول ۸- تغییرات مساحت کاربری اراضی در محدوده مورد مطالعه در سال ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۴ (هکتار)

ردیف	طبقه کاربری	۲۰۲۰ تا ۲۰۵۴
۱	اراضی کشاورزی	+۲۷۸۷
۲	بوته‌زار	-۳۵۰۴
۳	مراتع درختچه‌ای	+۷۱۷
تغییرات کشاورزی		
۴	اراضی از دست رفته کشاورزی	۲۷
۵	اراضی اضافه شده کشاورزی	۲۸۱۴



شکل ۱۰- نقشه کاربری اراضی محدوده مورد مطالعه در سال ۲۰۵۴ و تغییرات کاربری‌ها با مدل سلول خودکار مارکوف

۲۰۵۴ فاصله قطعات این کاربری به دو برابر سال ۲۰۲۰ برسد. به عبارت دیگر، اراضی برای انجام کشاورزی منجر به قطعه‌قطعه شدن اکوسیستم مراتع درختچه‌ای خواهد شد.

شاخص AWMSI نمایه وزن دار شده شکل لکه‌های کاربری اراضی است که نمایه وزن دار شده نسبت محیط به مساحت لکه است. هرچه این شاخص به عدد یک نزدیک باشد، شکل مربعی داشته و با افزایش عددی این شاخص، شکل لکه بی‌نظم می‌شود و مدیریت زیستگاه نیز سخت‌تر است.

در محدوده مورد مطالعه، اراضی کشاورزی دارای کمترین شاخص AWMSI بوده و مراتع درختچه‌ای و بوته‌زارها بیشترین میزان عددی این شاخص را داشته‌اند. به عبارتی بلوک‌های کشاورزی نظم بیشتری نسبت به دیگر کاربری‌ها دارند که طبیعی بوده است. چون بلوک‌های کشاورزی توسط انسان به قطعات مربعی و مستطیلی

متریک‌های سیمای سبز مربوط به کاربری‌های اراضی در محدوده مورد مطالعه محاسبه شد (جدول ۹). شاخص MNN میانگین نزدیک‌ترین همسایه بوده و کوتاه‌ترین فاصله از یک لکه تا لکه مشابه خود را بیان می‌کند. این شاخص میزان قطعه‌شدگی لکه را نشان می‌دهد. این شاخص برای اراضی کشاورزی از سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۰ کاهش یافته است. هر ساله با افزایش سطح زیرکشت، قطعات کشاورزی به هم نزدیک شده‌اند؛ اما پیش‌بینی می‌شود که فاصله این قطعات کشاورزی در سال ۲۰۵۴ نسبت به سال ۲۰۲۰ کمی افزایش یابند.

فاصله لکه‌های بوته‌زار از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۰ از هم افزایش یافته است. پیش‌بینی می‌شود در سال ۲۰۵۴ این فاصله بسیار زیاد شود که بیان‌گر قطعه‌قطعه شدن زیستگاه‌های بوته‌زار است که ناشی از افزایش سطح زیرکشت و تبدیل بوته‌زارها به اراضی کشاورزی است.

مراتع درختچه‌ای تغییرات زیادی در سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۰ نداشته است، اما پیش‌بینی می‌شود که در سال

تقسیم شده است؛ اما اراضی مرتعی و بوته‌زارها طبیعی بوده و دارای بی‌نظمی شکلی هستند.

از سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۰ شاخص AWMSI در اراضی کشاورزی افزایش یافته و موجب بی‌نظمی شکل قطعات کشاورزی شده است. پیش‌بینی می‌شود که در سال ۲۰۵۴ با توسعه اراضی کشاورزی، بلوک‌های زراعی نظم بهتری بگیرند. لکه‌های بوته‌زار و مراتع درختچه‌ای از سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۰ دارای روند افزایشی شاخص AWMSI با افزایش بی‌نظمی بوده است که بیان‌گر توسعه پراکنده قطعات کشاورزی در درون بوته‌زارها است. پیش‌بینی می‌شود که در سال ۲۰۵۴ با یکپارچه شدن اراضی کشاورزی، بی‌نظمی لکه‌های بوته‌زار و مراتع درختچه‌ای نیز کاهش یابد. متریک میانگین اندازه لکه‌ها (MPS) از تعداد لکه‌های هر کلاس و مساحت آن لکه در کلاس به‌دست می‌آید. هرچه میزان آن کاهش یابد، بیان‌گر قطعه‌شدگی و تخریب زیستگاه است. میزان این متریک برای اراضی کشاورزی روند افزایشی داشته است و پیش‌بینی می‌شود که در سال ۲۰۵۴ نیز این روند افزایشی ادامه داشته باشد. لکه‌های بوته‌زار و مراتع درختچه‌ای در سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۰ روند کاهشی داشته و بیان‌گر قطعه‌شدگی بوته‌زار و مراتع درختچه‌ای و تخریب زیستگاه‌های آن است، اما در سال ۲۰۵۴ این متریک برای بوته‌زار و مراتع درختچه‌ای افزایش خواهد یافت.

متریک تراکم لکه‌ها (Pd) بیان‌گر تعداد لکه‌ها در هر ۱۰۰ هکتار است و افزایش آن بیان‌گر قطعه‌شدگی زیستگاه است. این متریک برای اراضی کشاورزی تقریباً روند افزایشی داشته است و برای سال ۲۰۵۴ پیش‌بینی می‌شود که افزایش زیادی نسبت به سال ۲۰۲۰ داشته باشد. این متریک برای بوته‌زارها و مراتع درختچه‌ای از سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۰ روند افزایشی داشته است که نشان از تخریب زیستگاه‌ها و قطعه‌شدگی این کاربری دارد.

نتایج حاصل از بررسی متریک‌های سیمای سبز مربوط به اراضی کشاورزی در محدوده مورد مطالعه نشان داد که شاخص NP که همان تعداد لکه‌های (قطعه) اراضی کشاورزی را نشان می‌دهد، بیان‌گر این است که تعداد لکه‌های کشاورزی از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۰ افزایش یافته است و همان‌طور که در بخش قبل نیز نشان داده شد، مساحت

اراضی کشاورزی نیز در این سال‌ها افزایش یافته است. هرچند نتایج حاصل از پیش‌بینی کاربری اراضی در سال ۲۰۵۴ و محاسبه شاخص NP نشان می‌دهد که تعداد لکه‌های سبز کاهش خواهد یافت. در واقع، قطعات کشاورزی به هم اتصال خواهند یافت و اراضی بایر و خالی بین قطعات کشاورزی به بلوک‌های کشاورزی تبدیل خواهد شد. به‌طور کلی، هرچه تعداد لکه‌ها زیاد باشد، نشان دهنده تکه‌تکه‌شدن زیستگاه است. این متریک برای بوته‌زارها و مراتع درختچه‌ای از سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۰ روند افزایشی داشته و نشان می‌دهد که توسعه اراضی کشاورزی موجب قطعه‌شدن این زیستگاه‌ها شده است.

متریک درصد مساحت (pland) بیان‌گر نسبت فراوانی مساحت لکه‌های اراضی است. این متریک برای اراضی کشاورزی روند افزایشی داشته است و تا سال ۲۰۵۴ نیز این روند ادامه خواهد داشت که نشان می‌دهد اراضی کشاورزی در محدوده مورد مطالعه افزایش خواهد یافت. بیشترین روند کاهشی مربوط به بوته‌زارها بوده که به اشغال اراضی کشاورزی در آمده است و تا سال ۲۰۵۴ این روند ادامه خواهد داشت.

شاخص تنوع شانون (SHDI) بیان‌گر میزان تنوع نسبی لکه‌ها در سطح سیمای سرزمین است. هرچه عدد آن بیشتر باشد، بیان‌گر تنوع نسبی لکه‌هاست. این شاخص برای محدوده مورد مطالعه دارای روند افزایشی بوده و پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۰۵۴ نیز این روند ادامه داشته باشد که نشان از افزایش تنوع و قطعه‌شدگی لکه‌ها دارد. گسترش اراضی کشاورزی موجب قطعه‌شدگی زیستگاه‌های بوته‌ای و مراتع درختچه‌ای شده است و تا سال ۲۰۵۴ نیز این روند تخریب ادامه خواهد داشت.

شاخص Contag بیان‌گر پیوستگی لکه‌ها بوده و مقداری بین صفر تا ۱۰۰ به خود می‌گیرد. افزایش آن بیان‌گر یکپارچگی و حفظ زیستگاه‌ها می‌باشد؛ اما این شاخص برای محدوده مورد مطالعه روند کاهشی داشته و در سال ۲۰۵۴ نیز این روند کاهشی ادامه خواهد داشت که نشان می‌دهد گسترش اراضی کشاورزی موجب تخریب زیستگاه‌های منطقه خواهد شد.

جدول ۹- روند تغییرات متریک‌های سیمای سرزمین از سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۵۴

سال	کاربری	MNN	AWMSI	MPS	PD	NP	Pland	CA	SHDI	CONTAG
		متر	-	هکتار	لکه در ۱۰۰ هکتار	تعداد	درصد	هکتار	-	درصد
۱۹۸۶	اراضی کشاورزی	۲۳۵	۳/۴	۳/۳	۰/۱۳۵	۱۳۱	۱/۲	۴۳۴		
	بوته‌زار	۵۰	۱۷/۸	۳۴	۰/۷۶	۷۳۷	۷۳/۵	۲۵۰۸۰	۰/۸۷	۶۴/۹۴
۱۹۹۴	مراتع درختچه‌ای	۶۰	۷/۳۸	۴/۶	۱/۹	۱۸۳۸	۲۵/۱	۸۵۹۰		
	اراضی کشاورزی	۹۳	۵/۲	۲/۳	۰/۹۱	۸۸۰	۶/۱	۲۰۸۸		
۲۰۰۲	بوته‌زار	۴۹/۵	۱۷/۹	۲۲/۷	۱/۱	۱۰۸۵	۷۲/۲	۲۴۶۴۰	۰/۹۰	۶۲/۶۳
	مراتع درختچه‌ای	۵۹/۲	۱۵/۸	۳/۱	۲/۴۵	۲۳۷۴	۲۱/۶	۷۳۷۶		
۲۰۱۳	اراضی کشاورزی	۸۸/۶	۴/۸	۳/۴	۰/۴۴	۴۳۴	۴/۳	۱۴۹۰		
	بوته‌زار	۴۰/۶	۲۲	۵/۷	۳/۹۶	۳۸۳۲	۶۴/۵	۲۲۰۰۷	۰/۹۲	۶۰/۹۰
۲۰۲۰	مراتع درختچه‌ای	۵۷	۴۶/۶	۴	۲/۷	۲۶۱۶	۳۱/۱	۱۰۶۰۷		
	اراضی کشاورزی	۸۴/۹	۷/۸	۶/۸	۰/۵۴	۵۲۷	۱۰/۵	۳۵۹۴		
۲۰۲۰	بوته‌زار	۵۲	۱۱	۱۳/۷	۱/۵۴	۱۴۸۸	۶۰	۲۰۴۳۳	۰/۹۶	۶۰/۴۶
	مراتع درختچه‌ای	۶۰	۲۲	۸	۱/۲۹	۱۲۵۳	۲۹/۵	۱۰۰۷۷		
۲۰۵۴	اراضی کشاورزی	۶۵	۷	۳/۶	۱/۲	۱۱۷۸	۱۲/۴	۴۲۴۳		
	بوته‌زار	۴۶	۲۲	۷/۴	۲/۷۶	۲۶۶۶	۳۵/۲	۱۲۰۱۳	۰/۹۹	۵۸/۱۳
۲۰۵۴	مراتع درختچه‌ای	۵۴	۲۲/۹۶	۴/۵	۲/۴۷	۲۳۸۷	۵۲/۳	۱۷۸۴۸		
	اراضی کشاورزی	۱۲۴	۴/۳	۲۴	۰/۳۰	۲۹۱	۲۰/۶	۷۰۳۰		
۲۰۵۴	بوته‌زار	۹۴	۱۱/۳	۸۵	۰/۱۷	۱۶۷	۴۲	۱۴۳۴۴	۱/۰۲	۶۰/۰۲
	مراتع درختچه‌ای	۱۱۹	۸/۶	۵۵	۰/۲۳	۲۳۰	۳۷/۴	۱۲۷۳۰		

بحث و نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این مطالعه، نقشه‌های کاربری اراضی تهیه شده برای محدوده مورد مطالعه در ناحیه شمالی منطقه حفاظت‌شده کویر که تحت تأثیر رهاسازی برای انجام کشاورزی بوده است، از دقت بالایی برخوردار بودند. این موضوع نشان دهنده توانایی بالای تصاویر ماهواره‌ای لندست و همچنین الگوریتم ماشین بردار پشتیبان و برنامه‌نویسی در گوگل ارث انجین در تهیه نقشه کاربری اراضی است که با نتایج پژوهشگران [۲، ۲۵ و ۲۶] مطابقت دارد. این پژوهشگران نشان دادند که این الگوریتم یکی از بهترین و مناسب‌ترین تکنیک‌ها و ابزارها در طبقه‌بندی است.

نتایج حاصل از پردازش تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های کاربری ایجاد شده نشان داد که در سال ۲۰۲۰ نسبت به سال ۱۹۸۶ سطح اراضی کشاورزی افزایش زیادی داشته است، اما بوته‌زارها و مراتع درختچه‌ای کاهش یافته‌اند. بیشترین تغییر مربوط به تبدیل بوته‌زار به اراضی کشاورزی در لبه رودخانه گلو است. افزایش سطح اراضی

کشاورزی در این دوره می‌تواند به علت عدم وجود اشتغال‌های صنعتی و دوری از مراکز شهرهای پر جمعیت باشد. به عبارتی مردم روی به زراعت آورده‌اند و از اراضی هموار این دشت استفاده نموده و به کشت و زرع پرداخته‌اند. همچنین افزایش اراضی زراعی و کاهش اراضی مرتعی و بوته‌زار به دلیل تبدیل این اراضی به زراعی و توسعه کشاورزی برای تأمین غذای مورد نیاز بوده و نتیجتاً اراضی مستعد کشاورزی در این مناطق حفاظت‌شده به زیر کشت رفته است.

تکنیک آشکارسازی تغییرات سرزمین یکی از مدل‌های پرکاربرد در بررسی تغییرات پوشش اراضی و تبدیل یک کاربری به کاربری دیگر است [۱۶]. در پژوهش حاضر با استفاده از این مدل، مساحت تبدیل کاربری‌های اراضی به اراضی کشاورزی در محدوده مورد مطالعه محاسبه شد که نشان داد از سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۰ در طی ۳۴ سال، ۳۸۰۸ هکتار بر اراضی کشاورزی افزوده شده است که عمدتاً در بوته‌زارهای لبه رودخانه گلو بوده است.

نتایج بررسی متریک‌ها نشان داد که آثار تخریب بوت‌ه‌زارها و گسترش کشاورزی در محل بر روی شکل و اندازه کاربری‌ها هم تأثیر گذاشته است. متریک‌های قطعه‌قطعه‌شدگی شامل MNN، AWMSI، MPS، Pd و یا شاخص تنوع شانون همگی بیان‌گر این بودند که زیستگاه‌های بوت‌ه‌ای و مراتع درختچه‌ای طی سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۰ به سمت قطعه‌قطعه‌شدگی رفته‌اند. به عبارتی این زیستگاه‌ها تخریب شده‌اند؛ اما اراضی کشاورزی دارای پیوستگی و یکپارچگی است، چون که انسان این قطعات را به صورت پیوسته در دشت هموار و مجاور رودخانه گلو به زیرکشت برده و کشاورزی را گسترش داده است.

در منطقه بیابانی دهلران در ایلام نیز طی سال‌های ۱۳۶۴ تا ۱۳۸۶ (۱۹۸۵ تا ۲۰۰۶) اراضی مرتعی توسط اراضی کشاورزی و مسکونی از بین رفته است و متریک‌های سیمای سرزمین بیان‌گر قطعه‌قطعه‌شدگی و تخریب این مراتع است [۱]. در منطقه بیابانی شمال چین نیز طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸، مراتع و چمنزارها نظم خود را به‌واسطه گسترش کشاورزی از دست داده و متریک‌های پیوستگی کاهش یافته است [۳] که با نتایج این پژوهش همسان است و گسترش کشاورزی در اراضی مرتعی و بوت‌ه‌زارها موجب به هم خوردگی نظم، گسستگی و قطعه‌شدن لکه‌ها و اراضی مرتعی می‌شود.

می‌توان نتیجه گرفت که نیاز مردم شهرستان‌های جوادآباد، ورامین، گرمسار و روستاهای مجاور کویر به اشتغال و تأمین غذا و از طرفی نیز دسترسی به زمین بایر و مناسب و همچنین وجود رودخانه گلو در منطقه باعث شده است که اراضی ناحیه شمالی منطقه حفاظت‌شده کویر، به زیر کشت محصولات زراعی برود. هرچند گسترش کشاورزی بدون برنامه منجر به تخریب زیستگاه‌های طبیعی منطقه و به‌ویژه گونه‌های حساس و نادر در منطقه می‌شود. لکه‌های زیستگاهی مراتع و درختچه‌ها و همچنین بوت‌ه‌زارهای بخش شمالی منطقه حفاظت‌شده کویر به‌واسطه اراضی برای انجام کشاورزی قطعه‌قطعه‌شده و لکه‌ها پیوستگی و نظم خود را از دست داده‌اند که می‌تواند خطرناک باشد.

این مطالعه نشان داد که طی سال‌های آینده نیز اراضی کشاورزی گسترش خواهد یافت، اما با توجه به این‌که

در جنگل‌های بارانی برزیل، درختان بریده‌شده و بلوک‌های کشت نیشکر در درون جنگل‌ها توسعه یافت. از سال ۱۹۷۱ تا ۲۰۰۸ حدود ۳۹ درصد بر وسعت اراضی نیشکر افزوده شد [۵]. در منطقه حفاظت‌شده تاسک برا در مالزی نیز از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۴ جنگل‌های مرزی تخریب شده و به اراضی کشاورزی تبدیل شده است [۲۱]. در پارک ملی ژوان سای کشاورزان به دنبال توسعه زراعت خود با میل به سود برتر بوده و تالاب‌ها را خشکانده و جنگل‌های پارک ملی را به قطعات کشاورزی شامل کشت برنج، ذرت و سیب‌زمینی تبدیل کرده‌اند [۱۸].

این تغییرات در کشورهای مختلف دلایل متعددی دارد، اما همه این تغییرات به دلیل نیاز مردم به تأمین غذا و اشتغال دائم کشاورزی است. در منطقه حفاظت‌شده کویر نیز اشتغال دائم و بهره‌برداری از زمین‌های بایر و بوت‌ه‌زارهای پراکنده دلیل اصلی گسترش و توسعه اراضی کشاورزی در منطقه است.

تکنیک زنجیره مارکوف و سلول خودکار کاربرد فراوانی در پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی آینده دارد. در این مطالعه نیز برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی به‌ویژه توسعه کشاورزی از این مدل استفاده گردید. در حوضه آبخیز ناشه در اتیوپی با مدل زنجیره مارکوف پیش‌بینی شد که اراضی جنگلی، علفزارها و مراتع طی سال‌های ۲۰۳۵ و ۲۰۵۰ به اراضی کشاورزی تبدیل خواهند شد [۱۳]. در منطقه حفاظت‌شده انگورنگورو نیز پیش‌بینی شده است که طی سال‌های ۲۰۲۵ تا ۲۰۳۵ اراضی جنگلی و مرتعی تخریب شود و به اراضی کشاورزی و شهری تبدیل شود [۱۷].

در پژوهش حاضر نیز نتایج نشان داد که اراضی کشاورزی در منطقه حفاظت‌شده کویر افزایش خواهد یافت و دشت هموار و مجاور رودخانه گلو در سال ۲۰۵۴ حدود ۲۷۸۷ هکتار نسبت به سال ۲۰۲۰ افزایش خواهد یافت. این مطالعه نشان داد علاوه بر تغییر کاربری اراضی به‌ویژه گسترش اراضی کشاورزی در ناحیه شمالی منطقه حفاظت‌شده کویر در سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۰، خصوصیات مکانی هر یک از کاربری‌ها نیز تغییر کرده است که این تغییرات در پژوهش حاضر به‌وسیله متریک‌های سیمای سرزمین محاسبه شد.

پیش‌بینی‌ها را به هم بزند. ولی در طی ۳۴ سال گذشته، اراضی برای انجام کشاورزی بسیار زیاد بوده و از سال ۲۰۰۲ این روند تشدید شده و منجر به تبدیل بوته‌زارها و مراتع درختچه‌ای به اراضی کشاورزی شده است که لکه-های بوته‌زار را قطعه‌قطعه کرده و موجب افزایش پتانسیل تخریب اکوسیستم‌های طبیعی در منطقه شده است.

گسترش کشاورزی بستگی به تصمیمات مدیران و مسئولین دارد، نمی‌توان به قطعیت گفت که در سال ۲۰۵۶ اراضی کشاورزی چگونه گسترش خواهد یافت. نتایج مدل زنجیره مارکوف تنها بر مبنای تغییرات اتفاق افتاده در گذشته و معیارهای محیطی، نحوه پراکنش کاربری‌ها را پیش‌بینی می‌کند، در صورتی که یک تصمیم از طرف مدیر و مسئول می‌تواند تمام این معادلات و

References

- [1]. Arekhi, S. (2015). Application of Landscape Metrics in Assessing Land Use Changes' Trend by Using Remote Sensing and GIS Case study: Dehloran Desert Area. *Geography and Development*, 13(40), 59-68 (in Farsi).
- [2]. Awad, M. (2021, December). Google Earth Engine (GEE) cloud computing based crop classification using radar, optical images and Support Vector Machine Algorithm (SVM). In 2021 IEEE 3rd International Multidisciplinary Conference on Engineering Technology (IMCET) (pp. 71-76). IEEE.
- [3]. Chen, A., Yang, X., Guo, J., Zhang, M., Xing, X., Yang, D., Jiang, L. (2022). Dynamic of land use, landscape, and their impact on ecological quality in the northern sand-prevention belt of China. *Journal of Environmental Management*, 317, 115351.
- [4]. Chisanga, C. B., Shepande, C. C., & Nkonde, E. (2022). CA-Markov Approach in Dynamic Modelling of LULCC Using ESA CCI Products over Zambia.
- [5]. De Moraes, M. C. P., de Mello, K., & Toppa, R. H. (2017). Protected areas and agricultural expansion: Biodiversity conservation versus economic growth in the Southeast of Brazil. *Journal of Environmental Management*, 188, 73-84.
- [6]. Farashiani, M., Yarmand, H., Kazerani, F., Farahani, S., amani, M., & Alinejad, M. (2021). Conservation of planted rangelands and forests in desert areas of the country: Challenges and solutions. *Iran Nature*, 6(4), 23-32 (in Farsi)
- [7]. Feizizadeh, B., Blaschke, T., Nazmfar, H., Akbari, E., & Kohbanani, H. R. (2013). Monitoring land surface temperature relationship to land use/land cover from satellite imagery in Maraqeh County, Iran. *Journal of Environmental Planning and Management*, 56(9), 1290-1315.
- [8]. Gaurav Singh, V., Singh, S. K., Kumar, N., & Singh, R. P. (2022). Simulation of land use/land cover change at a basin scale using satellite data and Markov Chain model. *Geocarto International*, (just-accepted), 1-23.
- [9]. Kaboli, M. (2014). Habitat Evaluation of Wild Sheep (*Ovis orientalis*) in Kavir National Park using Ecological Niche Factor Analysis Method. *Journal of Natural Environment*, 67(2), 185-194. (in Farsi)
- [10]. Khoshnood Motlagh, S., Sadoddin, A., Haghnegahdar, A., Razavi, S., Salmanmahiny, A., & Ghorbani, K. (2021). Analysis and prediction of land cover changes using the land change modeler (LCM) in a semiarid river basin, Iran. *Land Degradation & Development*, 32(10), 3092-3105.
- [11]. Kline, O., & Joshi, N. K. (2020). Mitigating the effects of habitat loss on solitary bees in agricultural ecosystems. *Agriculture*, 10(4), 115.
- [12]. Lark, T. J., Spawn, S. A., Bougie, M., & Gibbs, H. K. (2020). Cropland expansion in the United States produces marginal yields at high costs to wildlife. *Nature communications*, 11(1), 1-11.
- [13]. Leta, M. K., Demissie, T. A., & Tränckner, J. (2021). Modeling and prediction of land use land cover change dynamics based on land change modeler (LCM) in Nashe watershed, upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *Sustainability*, 13(7), 3740.
- [14]. Li, K., Feng, M., Biswas, A., Su, H., Niu, Y., & Cao, J. (2020). Driving factors and future prediction of land use and cover

- change based on satellite remote sensing data by the LCM model: a case study from Gansu province, China. *Sensors*, 20(10), 2757.
- [15]. Lira, P. K., Tambosi, L. R., Ewers, R. M., & Metzger, J. P. (2012). Land-use and land-cover change in Atlantic Forest landscapes. *Forest Ecology and Management*, 278, 80-89.
- [16]. Mishra, V. N., Rai, P. K., & Mohan, K. (2014). Prediction of land use changes based on land change modeler (LCM) using remote sensing: A case study of Muzaffarpur (Bihar), India. *Journal of the Geographical Institute "Jovan Cvijic"*, SASA, 64(1), 111-127.
- [17]. Mwabumba, M., Yadav, B. K., Rwiza, M. J., Larbi, I., & Twisa, S. (2022). Analysis of land use and land-cover pattern to monitor dynamics of Ngorongoro world heritage site (Tanzania) using hybrid cellular automata-Markov model. *Current Research in Environmental Sustainability*, 4, 100126.
- [18]. Nhung, N. T. T. (2021). How to develop agriculture and protect the environment around protected areas: A case analysis of Xuan Thuy National Park, Vietnam (Doctoral dissertation, Gembloux Agro-Bio Tech-Université de Liège, Gembloux, Belgique).
- [19]. Pech-May, F., Aquino-Santos, R., Rios-Toledo, G., & Posadas-Durán, J. P. F. (2022). Mapping of Land Cover with Optical Images, Supervised Algorithms, and Google Earth Engine. *Sensors*, 22(13), 4729.
- [20]. Pricope, N. G., & Binford, M. W. (2012). A spatio-temporal analysis of fire recurrence and extent for semi-arid savanna ecosystems in southern Africa using moderate-resolution satellite imagery. *Journal of environmental management*, 100, 72-85.
- [21]. Rafaai, N. H., Abdullah, S. A., & Reza, M. I. H. (2020). Identifying factors and predicting the future land-use change of protected area in the agricultural landscape of Malaysian peninsula for conservation planning. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 18, 100298.
- [22]. Rao, Y., Zhou, M., Ou, G., Dai, D., Zhang, L., Zhang, Z., Yang, C. (2018). Integrating ecosystem services value for sustainable land-use management in semi-arid region. *Journal of Cleaner Production*, 186, 662-672.
- [23]. Rukundo, E., Liu, S., Dong, Y., Rutebuka, E., Asamoah, E. F., Xu, J., & Wu, X. (2018). Spatio-temporal dynamics of critical ecosystem services in response to agricultural expansion in Rwanda, East Africa. *Ecological Indicators*, 89, 696-705.
- [24]. Shao, S., Yu, M., Huang, Y., Wang, Y., Tian, J., & Ren, C. (2022). Towards a Core Set of Landscape Metrics of Urban Land Use in Wuhan, China. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(5), 281.
- [25]. Shelestov, A., Lavreniuk, M., Kussul, N., Novikov, A., & Skakun, S. (2017). Exploring Google Earth Engine platform for big data processing: Classification of multi-temporal satellite imagery for crop mapping. *Frontiers in Earth Science*, 5, 17.
- [26]. Shetty, S. (2019). Analysis of machine learning classifiers for LULC classification on Google Earth engine (Master's thesis, University of Twente).
- [27]. Thiam, S., Salas, E. A. L., Houngue, N. R., Almoradie, A. D. S., Verleysdonk, S., Adoukpe, J. G., & Komi, K. (2022). Modelling Land Use and Land Cover in the Transboundary Mono River Catchment of Togo and Benin Using Markov Chain and Stakeholder's Perspectives. *Sustainability*, 14(7), 4160.
- [28]. Wang, Q., & Wang, H. (2022). An integrated approach of logistic-MCE-CA-Markov to predict the land use structure and their micro-spatial characteristics analysis in Wuhan metropolitan area, Central China. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(20), 30030-30053.
- [29]. Wang, Q., Guan, Q., Lin, J., Luo, H., Tan, Z., & Ma, Y. (2021). Simulating land use/land cover change in an arid region with the coupling models. *Ecological Indicators*, 122, 107231.
- [30]. Wang, S., & Zheng, X. (2022). Dominant transition probability: combining CA-Markov model to simulate land use change. *Environment, Development and Sustainability*, 1-19.
- [31]. Yeh, A. G. O., & Li, X. (1997). An integrated remote sensing and GIS approach in the monitoring and evaluation of rapid urban growth for sustainable development in

the Pearl River Delta, China. *International Planning Studies*, 2(2), 193-210.

Spatial Analysis of Expansion of Farmland in the Protected Area of Kavir using Ecosystem Management Approach and its forecast in the coming years (Research Paper)

- 1- Amir Memarzadeh kiani, Ph.D. student of Environmental planning, Department of Environmental Planning, Management and Education, Kish International Campus, University of Tehran, Tehran, Iran.
- 2- Ahmad Nohegar*, Professor of Geomorphology, Department of Environmental Planning, Management and Education, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran.
nohegar@ut.ac.ir
- 3- Mohammad Javad Amiri, Assistant Professor of Environment, Department of Environmental Planning, Management and Education, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran.

Received: 05 Dec. 2021

Accepted: 16 May. 2022

Abstract

This study was conducted to investigate the expansion of Farmland in the protected area of Kavir. In order to achieve this approach, an area of 33933 ha was selected in the northern part of the region, where Farmlands are only expanded in this part. Land use maps were prepared for 1986, 1994, 2002, 2013 and 2020 using the images of Landsat's TM and OLI sensors and SVM algorithm by coding in Google Earth Engine. LUCC were calculated by the LCM model. The land use map for 2054 was predicted by CA Markov. Finally, the habitat changes were evaluated by landscape metrics. The results showed that the validation coefficient of SVM was more than 0.98. The land uses were divided into three classes: Farmlands, desert scrublands, and shrub pastures. The area of Farmland increased from 434.5 ha in 1986 to 4,243 ha in 2020, which has increased by 3,809 ha, of which 3,067 ha were related to the conversion of shrublands to agriculture and 822 ha were related to the conversion of shrub pastures to agriculture. Farmland has been extended towards the center of the district and along the Golu River. The most changes and increase in the cultivated area were related to the period from 2002 to 2013 (2104 ha). The forecast results for the year 2054 also indicate that the Farmlands will expand downstream along the Golu River and compared to 2020, about 2787 hectares of Farmlands will grow, of which about 2010 hectares are related to bush conversion. Shrublands to agriculture and 725 ha of it will be related to the conversion of shrub pastures to agriculture. The number and weighted profile of the shape of patches of shrubland and shrub meadows increases, the average area, contiguity and size of the patches decreases, which indicates destruction and decomposition.

Keywords: Land Use, LCM, CA-Markov, Landscape Metrics, Agriculture.