

پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی دشت سیرجان با استفاده از زنجیره مارکوف-سلولار

سعیده محمودآبادی- دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه هرمزگان.
ارشک حلی‌ساز*- استادیار گروه مهندسی ابخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه هرمزگان.
حنانه محمدی کنگرانی- دانشیار گروه مهندسی ابخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه هرمزگان.
حمید غلامی- دانشیار گروه مهندسی ابخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه هرمزگان.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۴/۲۸ تأیید نهایی: ۱۳۹۹/۰۲/۲۹

چکیده

سنجش از دور یک فناوری کلیدی جهت ارزیابی وسعت و میزان کاربری اراضی و تغییرات آن است. از آثار منفی تغییرات کاربری اراضی کاهش توان اکولوژیکی و بیولوژیکی زمین است که به عنوان عامل بیابان‌زایی نیز یاد می‌شود. آشکارسازی و پیش‌بینی این تغییرات لازمه یک اکوسیستم حساس به ویژه در مناطقی با تغییرات سریع و اغلب بدون برنامه ریزی در حال توسعه می‌باشد. هدف از این مطالعه بررسی روند کاربری اراضی و تغییرات آن در بازه زمانی ۲۷ ساله (۲۰۱۷-۱۹۹۰) و پیش‌بینی آن با استفاده از روش زنجیره مارکوف-سلولار خودکار برای سال ۲۰۲۶ در اکوسیستم خشک و بیابانی دشت سیرجان با استفاده از تصاویر ماهواره لندست سالهای ۱۹۹۰، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۷ می‌باشد. پس از انجام تصحیحات لازم بر روی تصاویر لندست نقشه‌های کاربری برای سه مقطع زمانی به چهار کلاس کاربری اراضی: بایر با پوشش گیاهی کم، شوره زار، مناطق مسکونی - انسان ساخت و کشاورزی طبقه بندی گردید. دقت کلی و ضریب کاپا برای سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۷ بالای ۰/۸۰ و ۰/۸۲ می‌باشد. برآورد کاربری اراضی نشان داد که بیش از ۹۰ درصد منطقه مورد مطالعه را اراضی بایر و شوره زار تشکیل داده است که نشان دهنده حساس بودن اکوسیستم منطقه به بیابان‌زایی است. نتایج حاصل از آشکار سازی تغییرات بین بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۷ نشان داد که اراضی بایر به میزان ۷۸۶۶/۷۵ هکتار (۴/۴۷ درصد) روند کاهشی داشته است. در مقابل اراضی شور ۱۷۱۹/۷۸ هکتار (۱۴/۲۱ درصد)، اراضی شهری-انسان ساخت ۱۲۴۴/۵۰ هکتار (۲۷۵/۵۲ درصد)، اراضی کشاورزی ۴۹۰۲/۴۸ هکتار (۴۳/۱۷ درصد) با روند افزایشی مواجه بوده است. نتایج حاصل از پیش‌بینی نشان داد که تا سال ۲۰۲۶ سطح اراضی بایر ۳۷۹۲/۴۸ هکتار کاهش و سطح اراضی شور ۳۱۵/۷۴ هکتار، اراضی شهری-انسان ساخت ۲۹۱/۵۱ هکتار و اراضی کشاورزی ۳۱۸۵/۲۳ هکتار افزایش پیدا خواهد کرد. نتایج این تحقیق حاکی از آن است که در این منطقه با اکوسیستم حساس تغییرات کاربری با سرعت در حال اتفاق است. بنابراین اگر راهبرد فعلی استفاده از زمین در این منطقه بدون ملاحظات توسعه پایدار تا سال ۲۰۲۶ ادامه داشته باشد، تخریب شدید اراضی و بیابانی شدن منطقه در آینده اجتناب ناپذیر است.

واژگان کلیدی: دشت سیرجان، اکوسیستم بیابانی، سنجش از دور، زنجیره مارکوف، تغییر کاربری اراضی.

مقدمه

استفاده از زمین مسئله بسیار مهمی در حفظ بقا انسان و برآورد نیاز های آن از طریق استفاده درست از توانایی اکوسیستم ها در دراز مدت می باشد (فولی و همکاران^۱، ۲۰۰۵). همچنین استفاده درست و متناسب با توانایی اراضی نقش ضروری در تغییرات محیط و توسعه پایدار آن دارد (بی همتا و همکاران، ۱۳۹۴). تغییرات سریع کاربری اراضی در مناطق مختلف جهان توجه زیادی بخود جلب کرده زیرا این امر بر شرایط فیزیکی و اقتصادی محیطها و اکوسیستم ها و جوامع موجود در آنها تاثیر بسزایی دارد (ولی پور و همکاران، ۱۳۹۶؛ فندال و همکاران^۲، ۲۰۱۷). تغییر در استفاده از زمین شاخص بسیار مهمی برای درک تعامل بین فعالیت های انسانی و محیط می باشد (لی و همکاران^۳، ۲۰۱۷). مدل های پیش بینی کاربری اراضی برای برنامه ریزی استفاده پایدار از زمین یک نیاز ضروری است. این مسئله بویژه در کشورهای در حال توسعه که فعالیت های نظیر جنگل زدایی، توسعه بی رویه اراضی کشاورزی، تخریب مراتع موجب شدت بخشیدن به پدیده بیابان زایی شده، مورد نیاز است. به علاوه پیش بینی تغییرات کاربری اراضی و برقراری ارتباط بین این تغییرات با عواقب اقتصادی و اجتماعی حاصل از آن اهمیت بسیار بالایی برای مدیریت پایدار اراضی دارد (رمضانی و همکاران، ۱۳۹۳). از آنجایی که تغییرات کاربری اراضی در سطوح وسیع و گسترده در طول زمان صورت می گیرد، استفاده از علم سنجش از دور در بررسی این پدیده ضروری می کند (هیش و همکاران^۴، ۲۰۱۸). این داده ها با استفاده از ویژگی هایی مانند چند زمانه بودن و پوشش وسیع می تواند با کمترین هزینه و در زمان کوتاه امکان تهیه نقشه کاربری و بررسی آن را در دوره زمانی مختلف امکان پذیر کنند که از نسبت تغییرات در بازه های زمانی می توان تغییرات را برای آینده پیش بینی کرد (وادروو و همکاران^۵، ۲۰۱۹). مدل زنجیره مارکوف- سلول های خودکار یا CA-Markov یکی از پرکاربردترین و کارآمدترین روش های پیش بینی تغییرات کاربری می باشد، زیرا این مدل از تلفیق سلول های خودکار و زنجیره مارکوف یا افزودن مشخصه مجاورت مکانی به مدل تصادفی زنجیره مارکوف کاربری برای سال های آینده شبیه سازی میکند (گایدی و همکاران^۶، ۲۰۱۷). در این مطالعه و مطالعات مشابه دیگر علاوه بر مشخص شدن وضعیت تغییرات کاربری اراضی در زمان مورد نظر با استفاده از مدل کومارکوف کارایی این مدل نیز در مطالعات پیش بینی تغییرات کاربری اراضی در تمام این مطالعات از گذشته تا کنون تأیید شده است:

وسلاویگ و راگان^۷ (۲۰۰۹) از مدل سازی تغییر زمین برای آشکار سازی تغییرات منطقه اولومک (Olomouc) در جمهوری چک استفاده کردند. نتایج تحقیقات حاکی از افزایش درصد مساحت جنگل های پهن برگ و مناطق مسکونی در منطقه بوده است. گوان و همکاران^۸ (۲۰۱۱) تغییرات کاربری اراضی در ساگا ژاپن را برای سال های ۲۰۴۲-۲۰۱۵ با استفاده از مدل زنجیره ای CA مارکوف مدل سازی کردند. نتایج این مطالعه، افزایش اراضی شهری و کاهش اراضی طبیعی و کشاورزی را نشان داد. این مطالعه بیان کرد که فرآیند مدل سازی، درک بهتر سیستم های پیچیده کاربری اراضی، توسعه و بهبود ابزارهای مدیریتی را برای توسعه پایدار در منطقه فراهم میکند. وانگ و همکاران^۹ (۲۰۱۲) تغییرات کاربری اراضی منطقه چانگپینگ در پکن را با استفاده از تصاویر ماهواره لندست برای سال ۲۰۰۰ پیش بینی کردند. رضانی و جعفری (۱۳۹۳) در تحقیقی آشکار سازی تغییرات کاربری و پوشش اراضی در افق ۱۴۰۴ با استفاده از مدل زنجیره ای CA مارکوف در منطقه اسفراین

¹-Foley et al

²-Findell et al

³-Li et al

⁴-Hish et al

⁵-Vadtervu et al

⁶-Gidey et al

⁷-Vaclavik and Rogan

⁸-Guan et al

- Wang et al⁹

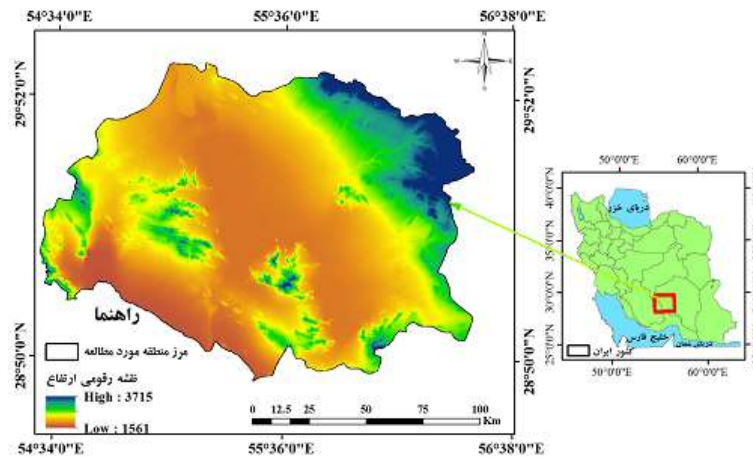
خراسان شمالی پرداختند. نتایج حاکی از کاهش سطح مراتع و اراضی کشاورزی بود. نتایج پیش بینی مدل نیز بیانگر افزایش سطح مراتع و اراضی مسکونی برای ۱۳ سال آینده (۱۳۸۸-۱۴۰۴) بوده است. عزیزی قلاتی و همکاران (۱۳۹۴) در مطالعه پیش بینی تغییرات کاربری اراضی در دو دوره زمانی با استفاده از مدل CA-Markov در منطقه کوهمره سرخی استان فارس بیان کردند که در دوره اول ۱۳۶۶-۱۳۷۹ مدل با ضریب کاپای ۸۳٪ و در دوره دوم ۱۳۹۷-۱۳۹۱ با ضریب کاپای ۸۸٪ پیش‌بینی را انجام داده که نشان دهنده دقت بالای مدل در پیش بینی کاربری در منطقه مورد مطالعه بوده است. شمسی پور و همکاران (۱۳۹۶) به پیش بینی روند گسترش شهر کرمانشاه با ترکیب مدل سلول خودکار زنجیره مارکوف و رگرسیون لجستیک پرداختند و با استفاده از تصاویر ماهواره ای لندست سالهای ۱۳۹۸، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۳ تهیه و آشکارسازی تغییرات را مورد بررسی قرار دادند و با مدل زنجیره مارکوف برآورد احتمال میزان تغییرات را برای سال ۲۰۲۶ پیش بینی نمودند. نتایج این مطالعه نشان داد که مناطق کوهستانی، پوشش گیاهی، صخره ای و سطوح آبی به کاربری شهری تبدیل شدند. یوسفی و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از تصاویر لندست سال ۱۳۷۹ و ۱۳۹۳ تغییرات کاربری اراضی شهر بجنورد را بررسی نمودند و روند تغییرات کاربری اراضی با استفاده از شبکه خودکار مارکوف تا سال ۱۴۰۷ مدل‌سازی شد. نتایج این تحقیق نشان داد که اراضی کشاورزی آبی و باغات دیم از ۱۴٫۵ درصد در سال ۱۳۷۹ به ۶٫۵ درصد کاهش و اراضی شهری از ۶٫۷ درصد در سال ۱۳۷۹ به ۱۱٫۵ درصد در سال ۱۴۰۷ افزایش پیدا کرد. صالحی و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از مدل CA-Markov در حوزه آبخیز صفارود رامسر به پیش بینی کاربری پرداختند. در این مطالعه پس از تهیه نقشه کاربری صحت مدل زنجیره ای مارکوف با استفاده از شاخص کاپا ۸۷٪ برآورد گردید. واسنجی مدل با استفاده از مقایسه نقشه کاربری ۲۰۱۴ مبنای نقشه کاربری پیش بینی شده ضریب کاپای ۸۷٪ را نشان داد. با بررسی منابع موجود در این زمینه ملاحظه می‌گردد که مدل زنجیره CA مارکوف در ترکیب با تصاویر سنجش از دور برای مدل‌سازی تغییرات کاربری / پوشش اراضی به طور گسترده در محیط‌های شهری و غیر شهری در مقیاس‌های بزرگ در مناطق مختلف دنیا استفاده شده است. ایران کشوری است که بیش از دو سوم آن دارای اقلیم خشک و نیمه خشک است و به طور طبیعی دارای اکوسیستم شکننده است. با وجود اینکه بسیاری از مناطق کشور تخریب منابع طبیعی و بیابان‌زایی به دلیل عواملی چون افزایش جمعیت، برداشت بی‌رویه از آبهای زیر زمینی، چرای مفرط و توسعه صنعتی مزید بر علت شده و موجب به مخاطره افتادن پایداری این نواحی شده است که با روند افزایشی نیز ادامه دارد (رمضانی و همکاران، ۱۳۹۳). از جمله راهکارهای مدیریتی که اجرای آن در کشور زمینه ساز تدوین برنامه‌های مدیریتی مناسب می‌شود، مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی است، که به فرآیند تصمیم‌گیری کمک میکند (راجیتا و همکاران، ۲۰۱۰). بنابراین ضرورت اجرای این تحقیق برای مناطق با اکوسیستم خشک و شکننده مانند دشت سیرجان وجود دارد. اکوسیستم طبیعی این دشت با توجه به روند رو به رشد تغییرات کاربری اراضی بدلیل فعالیتهای انسانی (شهرنشینی، کشاورزی غیر اصولی، حفر چاهها و استفاده بی‌رویه از منابع آب زیر زمینی جهت کشت باغات از جمله پسته کاری) با خطر جدی فرسایش و بیابان‌زایی رو به رو خواهد بود. هدف از این مطالعه مدل‌سازی با بهره‌گیری از مدل مارکوف در پیش بینی تغییرات کاربری اراضی این دشت برای سال ۲۰۲۶ می‌باشد، به امید اینکه نتایج آن بتواند راهگشای برنامه ریزی و جلوگیری از ادامه تخریب در منطقه باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه بخشی از حوضه کویر ابرقو- سیرجان است که در غرب استان کرمان قرار گرفته است. در این تحقیق دشت سیرجان و اراضی اطراف آن در محدوده ۵۴ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی و ۲۸ درجه و ۴۰

دقیقه تا ۳۰ درجه عرض شمالی به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شده است. شکل (۱) نمایی از موقعیت منطقه نشان داده شده است.

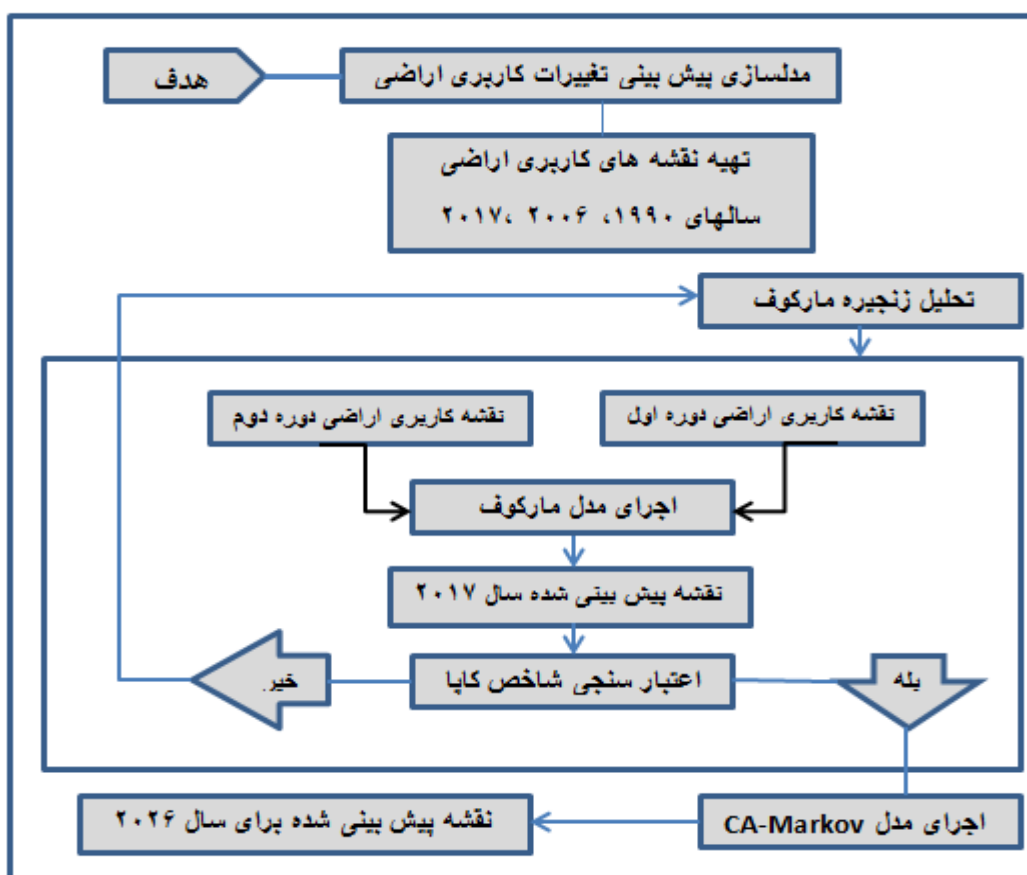


شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

در این محدوده بخشی از مناطق روستایی شهرستان سیرجان در استان کرمان است که بطور عمده در جنوب، شرق و شمال شرق شهرستان گسترش دارد و به لحاظ تقسیمات کشوری جزو بخش مرکزی از توابع شهرستان سیرجان محسوب می‌گردد. کفه آبی شور و مجتمع صنعتی و معدنی گل گهر در امتداد غرب و جنوب غربی آن واقع شده اند. به طور عمده در جنوب این دشت دارای سه رودخانه دائمی یا فصلی که عبارتند از تنگویی، اسطور و حسین آباد می باشد. متوسط دمای سالانه منطقه ۱۷/۵ درجه سانتی گراد و متوسط بارندگی سالانه در سطح کل دشت ۱۴۵ میلی متر است (پیری و بامری، ۱۳۹۲). حدود ۲۵۲۶۲۲ نفر (طبق نتایج سرشماری مرکز امار ایران، سال ۹۰) در این دشت زندگی می کنند که بر اساس نتایج سرشماری روند رو به رشد در حجم جمعیت این منطقه (نرخ رشد ۱/۸ طی سالهای ۷۵-۹۰) مشاهده میشود. که علت آن مهاجرت روستاییان واقع در غرب این دشت به دلیل کاهش امکانات تولید کشاورزی و شورشیدن منابع آب و خاک می باشد. رونق اقتصادی در این دشت بر پایه فعالیتهای کشاورزی بویژه پسته کاری استوار است بطوری که بر اساس اطلاعات سازمان مدیریت و برنامه ریزی استان کرمان (۱۳۸۵) حدود ۳۴۷۵۸ هکتار از این دشت زیر کشت درختان پسته قرار دارد. آبی مصرفی این دشت به دلیل خشک و بیابانی بودن آب و هوای آن از طریق سفره های آب زیر زمینی تامین میگردد. طبق گزارش شرکت سهامی آب منطقه ای کرمان (۱۳۸۷) حدود ۹۸٪ از کل آب برداشت شده از سفره آب زیر زمینی منطقه صرف فعالیتهای کشاورزی (پرورش باغات پسته) می شود. با توجه به مطالب ذکر شده رونق فعلی کشاورزی منطقه به معنی از دست رفتن بخش عظیمی از منابع آبی است که با کاهش بیشتر کمیت و کیفیت آب اقتصاد این منطقه با بحران جدی مواجه خواهد شد و اکوسیستم منطقه در معرض نابودی قرار گرفته و باعث فرسایش خاک و گسترش بیابان می شود (عباس نژاد و شاهی دشت، ۱۳۹۲).

روش تحقیق

مراحل کلی اجرای تحقیق شامل: تهیه نقشه های کاربری اراضی، تحلیل زنجیره مارکوف و اجرای مدل CA-Markov است که طی مراحل شکل ۲ انجام پذیرفت.



شکل ۲: فلوچارت مراحل اجرای تحقیق

داده ها و ابزار مورد استفاده

در این تحقیق به منظور تهیه نقشه ی کاربری / پوشش اراضی منطقه مورد مطالعه از تصاویر ماهواره لندست TM (۱۹۹۰)، TM (۲۰۰۶) و OLI (۲۰۱۷) با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر و نقشه های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ رقومی سازمان نقشه برداری استفاده شد. جزییات اطلاعات مربوط به تصاویر مورد استفاده در این تحقیق در جدول (۱) نشان داده شده است. تصاویر لندست استفاده شده در این تحقیق از سایت زمین شناسی آمریکا از سایت [\(https://earthexplorer.usgs.gov/\)](https://earthexplorer.usgs.gov/) تهیه گردید. برای ارزیابی دقت طبقه بندی از نقشه ها و داده های مربوط به Google Earth استفاده شده است. همچنین برای تفسیر، پردازش و تحلیل داده ها از نرم افزار ENVI، EDRISI و Arc GIS استفاده شده است.

جدول ۱: مشخصات تصاویر ماهواره ای مورد استفاده در این تحقیق

نام ماهواره	سنجنده	قدرت تفکیک (متر)	تاریخ شمسی (میلادی)
لندست ۵و۴	TM	۳۰	۱۳۶۹-۱۳۷۰ (۱۹۹۰)
لندست ۵و۴	TM	۳۰	۱۳۸۴-۱۳۸۵ (۲۰۰۶)
لندست ۸	OLI	۳۰	۱۳۹۵-۱۳۹۶ (۲۰۱۷)

طبقه بندی تصاویر

طبقه بندی تصاویر سنجش از دور فرآیند مشکلی است، زیرا بیشتر رو شهای طبقه بندی نظارت شده نیازمند داده های تعلیمی به اندازه کافی بزرگ است. از طرفی، نحوه انتخاب نمونه های تعلیمی نیز یکی از مهمترین عوامل در طبقه بندی پیکسلهاست (جعفریگلو و همکاران، ۱۳۹۶). قبل از طبقه بندی به منظور پیش پردازش تصاویر با توجه به اهمیت تاثیر اثرات رادیومتریکی و جوی بر نتایج نهایی برر سی تغییرات کاربری اراضی تمام تصاویر با استفاده از الگوریتم تصحیح اتمسفری FLAASH تصحیح شدند. این الگوریتم از مدل عبور اتمسفری MODTRAN4 برای تصحیح اتمسفری استفاده میکند که اطلاعات جانبی مانند زمان عبور ماهواره، ارتفاع سنجنده، موقعیت جغرافیایی منطقه، زاویه تابش خورشید و مدل اتمسفری را بکار می برد. از آنجایی که تفکیک و شناسایی پدیده ها به لحاظ رنگ نتایج بهتری ارائه می دهد، برای تصویر رنگی سال ۱۹۹۰ از ترکیب رنگی ۳۲۱ سنجنده TM، برای تصویر سال ۲۰۰۶ از ترکیب رنگی ۳۲۱ سنجنده TM و برای تصویر رنگی سال ۲۰۱۷ از ترکیب ۵۴۳ سنجنده OLI استفاده گردید.

در اولین گام یک طبقه بندی نظارت شده، تعریف مناطقی است که به مثابه نمونه های تعلیمی برای هر کلاس هستند، بر روی تصاویر انجام شد. بنابر این به منظور تهیه نمونه های تعلیمی روی تصاویر سالهای مورد نظر، از عکسهای هوایی، تصاویر Google Earth و نقاط برداشت شده با GPS در عملیات میدانی استفاده و تا حد امکان سعی شد که پراکنش نمونه های تعلیمی در سطح منطقه مطالعاتی در داخل منطقه همگن و با پراکنش مناسب باشد. تعداد پیکسل های انتخاب شده در هر نمونه تعلیمی حداقل باید به اندازه ده برابر تعداد باندهای طیفی تصویر مورد استفاده باشد (ریچارد و همکاران^۱، ۱۹۹۹) که این نکته در مطالعه حاضر رعایت شد؛ به این منظور برای اراضی بایر با پوشش کم از ۱۲۰ نمونه آموزشی، اراضی شور ۷۰ نمونه، مناطق شهری و انسان ساخت ۶۰ نمونه، کشاورزی ۱۰۰ نمونه جهت تهیه نقشه کاربری و پوشش اراضی استفاده شد.

مرحله دوم نمونه های تعلیمی تفکیک شدند و مرحله سوم طبقه بندی کاربری اراضی با الگوریتم حداکثر احتمال در طبقه بندی نظارت شده در چهار کلاس کاربری شامل اراضی بایر با پوشش کم، اراضی شور، اراضی شهری - انسان ساخت و کشاورزی که در جدول (۲) به تفکیک آورده شده است صورت گرفت.

جدول ۲: تعریف کلاسهای کاربری نقشه

تشریح کاربری ها	کلاس های پوشش و کاربری اراضی
مراتع تنک با پوشش کم و پراکنده، اراضی بدون پوشش و اراضی آیش و کشت سالانه همچنین رها شده	اراضی بایر با پوشش کم
اراضی پوشیده از نمک و با گیاهان شورپسند، دق رسی و دریاچه های کویری	اراضی شور
شهرها، ساختمان ها و اماکنی که برای سکونتگاه ها در حاشیه شهرها و روستاها ساخته شده اند.	اراضی شهری و انسان ساخت
شامل اراضی کشاورزی باغی و زمین های زارعی	کشاورزی

ارزیابی صحت نقشه های کاربری اراضی

ارزیابی نتایج طبقه بندی یکی از مراحل مهم پس از طبقه بندی است. برای ارزیابی دقت نتیجه ی طبقه بندی از اطلاعات حاصل از شناخت کامل نگارنده نسبت به منطقه ی مورد مطالعه، نقشه های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و

Google Earth استفاده شده است. در این تحقیق به منظور بررسی دقت و صحت طبقه بندی تصاویر از معیارهای ارزیابی به شرح زیر استفاده شده است:

ماتریس خطا: ارزیابی خطا و برآورد دقت طبقه بندی معمولاً بر اساس پارامترهای آماری است که از ماتریس خطا استخراج می‌شود. ماتریس خطا حاصل مقایسه ی پیکسل‌ها معلوم (در واقعیت زمینی) با پیکسل‌های متناظر در نتایج طبقه بندی است.

دقت کلی: دقت کلی میانگینی از دقت طبقه بندی است که نسبت پیکسل‌های صحیح طبقه بندی شده به پیکسل‌های معلوم را نشان می‌دهد (جعفری‌گلو و همکاران، ۱۳۹۶). با استفاده از رابطه (۱) که ضریب کاپا: یکی دیگر از پارامترهای دقت که از ماتریس خطا استخراج می‌شود. ضریب کاپا دقت طبقه بندی را نسبت به یک طبقه بندی کاملاً تصادفی محاسبه می‌کند از رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$OA = \left(\frac{X}{Y}\right) * 100 \quad \text{رابطه (۱)}$$

OA بیانگر دقت کلی، X، تعداد نقاط صحیح طبقه بندی شده در نقاط نمونه برداری شده و Y تعداد کل نقاط نمونه برداری شده از طبقه بندی رابطه (۲)

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r (X_{ii} * X + i)}{N^2 - \sum_{i=1}^r (X_{ii} * X + i)}$$

در این جا، K بیانگر ضریب کاپا، r تعداد ردیف‌ها در ماتریس خطاست، X_{ii} تعداد مشاهدات در ستون و ردیف X_{ii} کل مشاهدات در ردیف X_{ii} کل مشاهدات در ستون i و N تعداد کل مشاهدات را شامل می‌شود.

پیش بینی روند تغییرات با مدل CA-Markov

مدل تلفیقی زنجیره مارکوف-سلول خودکار ابزاری مناسب برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی است در حالی توصیف این تغییرات و فرآیندهای موثر بر آنها دشوار است. در این مدل همواره از دو نقشه ی رستری استفاده می‌شود که ورودی‌های مدل هستند. علاوه بر این دو نقشه، فاصله ی زمانی بین دو تصویر و فاصله زمانی پیش‌بینی نیز در نظر گرفته می‌شود. فرآیندی است که با استفاده از تغییرات شرایط گذشته و حال می‌توان شرایط آینده را شبیه‌سازی کرد. این شبیه‌سازی را با ایجاد یک ماتریس انتقال احتمال تغییرات کاربری بین سال اول و دوم انجام می‌دهد که مبنای پیش‌بینی تغییرات در آینده می‌باشد (لوگسدن و همکاران^۱، ۱۹۹۶). زنجیره مارکوف به صورت رابطه (۱) نشان داده می‌شود (جعفری‌گلو و همکاران، ۱۳۹۶).

رابطه (۳)

$$s(t + 1) = p_{ij} * s(t)$$

در رابطه (۳)، $s(t)$ و $s(t + 1)$ حالت‌های سیستم در زمان t و t+1 هستند و p_{ij} ماتریس احتمال انتقال در یک حالت است که از طریق رابطه (۴) محاسبه می‌شود.

$$P_{ij} = \begin{bmatrix} P_{11} & \cdots & P_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{n1} & \cdots & P_{nn} \end{bmatrix} \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$(0 \leq P_{ij} \leq 1 \text{ and } \sum_{j=1}^N P_{ij} = 1, (i, j = 1, 2, \dots, n))$$

سه خروجی اصلی زنجیره مارکوف عبارتند از: ماتریس احتمال انتقال، ماتریس مساحت و مدل مارکوف می باشد. در نهایت با استفاده از ماتریس مساحت انتقال در مدل CA مارکوف می توان نقشه شبیه سازی شده از کاربری اراضی در آینده را پیش بینی کرد. عملگر CA مارکوف در IDRISI Selva با لحاظ نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۷ به عنوان نقشه پایه و معرفی فایل مساحت انتقال حاصل از مرحله قبل اجرا، نقشه کاربری اراضی برای سال ۲۰۲۶ پیش بینی گردید.

تعیین اعتبار و ارزیابی الگوسازی مدل CA-Markov

تعیین اعتبار و ارزیابی مدل یک اصل اساسی در مدل سازی است. برای بررسی اعتبار پیش بینی کاربری با استفاده از مدل CA-Markov ابتدا کاربری سال ۲۰۱۷ با استفاده از کاربری های سال ۱۹۹۰ و ۲۰۰۶ تولید شد و سپس نقشه ۲۰۱۷ شبیه سازی شده با نقشه واقعی ۲۰۱۷ مقایسه گردید. برای این ارزیابی از شاخص های کاپا مانند کاپا برای اطلاعات^۱، کاپا برای موقعیت^۲، کاپا برای سطح مکان طبقات^۳، کاپا استاندارد^۴ استفاده گردید. مقدار شاخص کاپا بین (۱ تا -۱) می باشد که مقادیر نشان دهنده اعتبار بالا مدلسازی و مقادیر منفی آن نشان دهنده ناکافی بودن اعتبار مدل برای شبیه سازی است (مسموم و همکاران، ۲۰۱۶). پس از تایید اعتبار مدل، نقشه چهار کلاس کاربری اراضی برای سال ۲۰۲۶ پیش بینی گردید.

تغییرات کاربری و استفاده از زمین

آنالیز روند تغییرات کاربری و استفاده از زمین برای تصمیم گیری های آینده بسیار اهمیت دارد. برای بررسی تغییرات کلاس های

طبقه بندی سال های مورد نظر به بررسی تغییرات بین سال های ۱۹۹۰، ۲۰۰۶، ۲۰۱۷ و ۲۰۲۶ پرداخته شد. در این راستا یا

استفاده از رابطه های ۵ و ۶ تغییرات کلاس های مختلف بر حسب درصد و نرخ تغییرات به ترتیب محاسبه گردید.

$$\text{Percent of change} = \left(\frac{X-Y}{Y} \right) * 100 \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$\text{Rate of change (ha/year)} = \left(\frac{X-Y}{Z} \right) \quad \text{رابطه (۶)}$$

^۱ - kno

^۲ - Klocation

^۳ - Klocation Strata

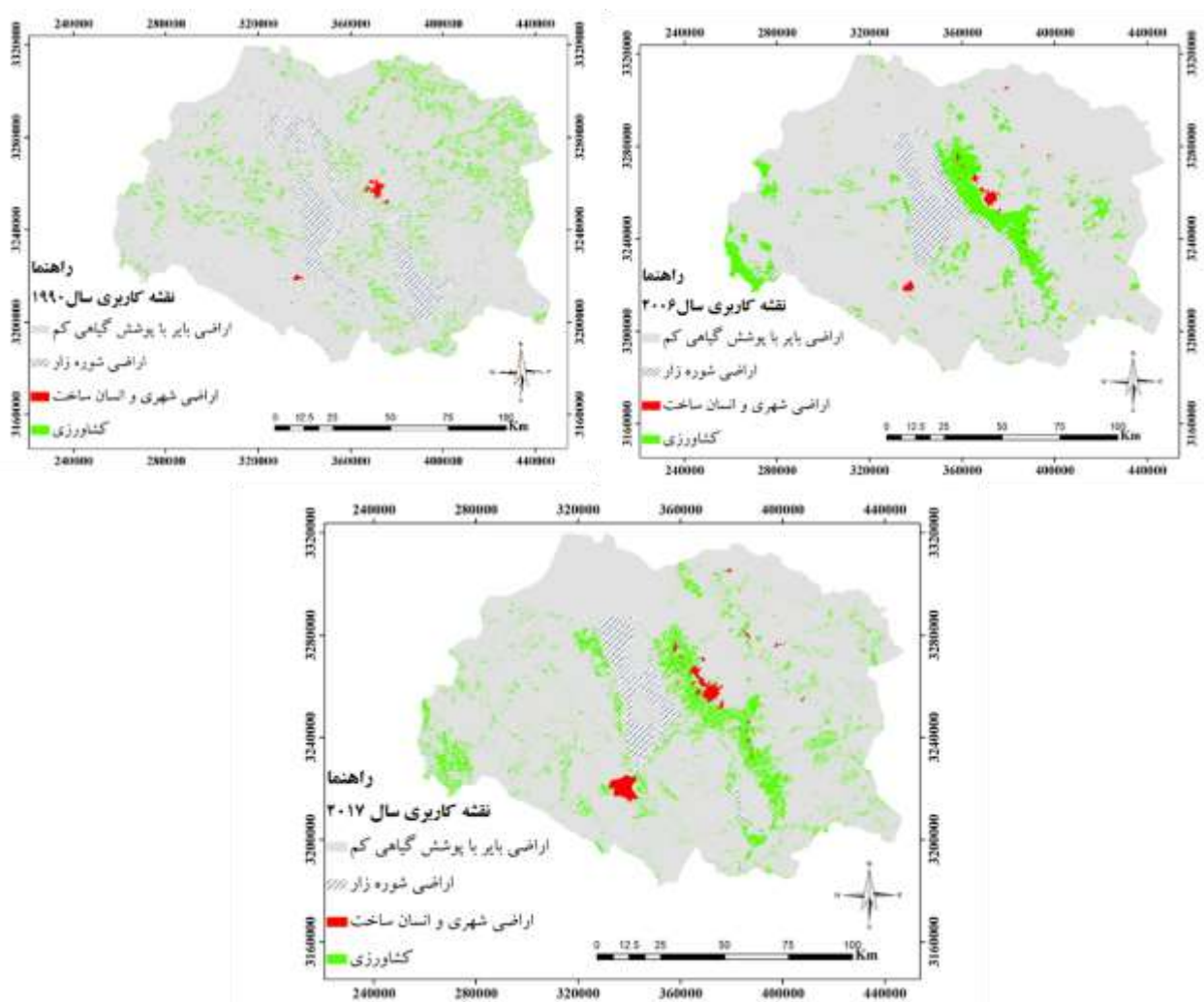
^۴ - Kstandard

که در اینجا X مساحت کاربری و پوشش اراضی در سال دوم، Y مساحت کاربری و پوشش اراضی در سال اول، Z فاصله زمانی بین سال دوم و اول است. و در نهایت روند تغییرات در بازه زمانی ۲۷ سال بدست آمد.

بحث و یافته ها

آشکارسازی تغییرات کاربری

پس از استخراج نقشه ها روند تغییرات کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه در سه بازه زمانی سالهای ۱۹۹۰، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۷ مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۳).



شکل ۳: نقشه کاربری/پوشش اراضی برای سالهای ۱۹۹۰، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۷

نتایج نشان داد که کاربری اراضی بایر با پوشش گیاهی کم روند کاهشی داشته این در حالی است که کاربری های اراضی شور، اراضی شهری - انسان ساخت و کشاورزی روند افزایشی داشته است. همانطور که نتایج نشان میدهد بیشترین وسعت منطقه تحت پوشش اراضی بایر با پوشش کم است. سطح این کاربری از ۸۸/۰۴ درصد در سال ۱۹۹۰ به حدود ۸۴/۱۱ درصد در سال ۲۰۱۷ کاهش یافته است. همچنین بررسی روند تغییرات این کاربری در بازه زمانی ۲۷ سال نشان میدهد

که این اراضی ۷۷۶۶/۷۵ هکتار (۴/۴۷ درصد) روند کاهشی داشته است. در طی دوره مطالعه وسعت اراضی شور، شهری- انسان ساخت و کشاورزی روند افزایشی داشته است. به طوری که کاربری اراضی شور با مساحت ۶/۰۵ درصد در سال ۱۹۹۰ به حدود ۶/۹۱٪ در سال ۲۰۱۷ افزایش داشته است. در جدول ۳ روند تغییرات این کاربری برای سه دوره زمانی (۲۷ سال) ۱۷۱۹/۷۸ هکتار (۱۴/۲۱ درصد) افزایش را نشان میدهد. مساحت اراضی شهری- انسان ساخت نیز با ۰/۲۳ درصد مساحت کل منطقه در سال ۱۹۹۰ به ۰/۸۵ درصد در سال ۲۰۱۷ روند افزایشی را نشان میدهد. روند تغییرات این کاربری در دوره اول (۲۰۰۶-۱۹۹۰) ۲۹۱/۵۱ هکتار به حدود ۹۵۲/۹۹ هکتار در دوره دوم (۲۰۱۷-۲۰۰۶) افزایش یافته است. همچنین بررسی روند تغییرات کاربری اراضی کشاورزی افزایش ۴۹۰۲/۴۸ هکتار (۴۳/۱۷ درصد) را نشان میدهد. مساحت این کاربری از ۵/۶۸ درصد در سال ۱۹۹۰ به ۸/۱۳ درصد در سال ۲۰۱۷ افزایش یافته است (جدول ۳ و شکل ۳).

جدول ۳: مساحت (هکتار) و درصد کلاسهای کاربری اراضی در طول سه دوره مطالعه (۱۹۹۰-۲۰۱۷)

سال ۲۰۱۷		سال ۲۰۰۶		سال ۱۹۹۰		کاربری اراضی
درصد مساحت	مساحت به هکتار	درصد مساحت	مساحت به هکتار	درصد مساحت	مساحت به هکتار	
۸۴/۱۱	۱۵۱۴۰۴۶/۰۰	۸۶/۱۵	۱۵۵۰۷۱۴/۵۰	۸۸/۰۴	۱۵۸۴۸۴۶/۷۷	اراضی بایر
۶/۹۱	۱۲۴۴۲۸/۷۳۳۸	۶/۲۱	۱۱۱۷۹۲/۳۸	۶/۰۵	۱۰۸۹۵۰/۷۳	شوره زار
۰/۸۵	۱۵۲۶۵/۷۰	۰/۳۷	۶۶۸۸/۷۸	۰/۲۳	۴۰۶۵/۲۲	اراضی شهری - انسان ساخت
۸/۱۳	۱۴۶۳۲۰/۲۳	۷/۲۷	۱۳۰۸۶۵/۰۱	۵/۶۸	۱۰۲۱۹۷/۹۴	اراضی کشاورزی
۱۰۰	۱۸۰۰۰۶۰/۶۷	۱۰۰	۱۸۰۰۰۶۰/۶۷	۱۰۰	۱۸۰۰۰۶۰/۶۷	

جدول ۴: درصد و نرخ تغییرات کاربری های مختلف در طول سه دوره مطالعه (۱۹۹۰-۲۰۱۷)

کاربری اراضی	درصد تغییرات			نرخ تغییرات (هکتار در سال)		
	۲۰۰۶-۱۹۹۰	۲۰۱۷-۲۰۰۶	۲۰۱۷-۱۹۹۰	۲۰۰۶-۱۹۹۰	۲۰۱۷-۲۰۰۶	۲۰۱۷-۱۹۹۰
اراضی بایر	-۲/۱۵	-۲/۳۶	-۴/۴۷	-۳۷۹۲/۴۸	-۴۰۷۴/۲۸	-۷۸۶۶/۷۵
شوره زار	۲/۶۱	۱۱/۳۰	۱۴/۲۱	۳۱۵/۷۴	۱۴۰۴/۰۴	۱۷۱۹/۷۸
اراضی شهری - انسان ساخت	۶۴/۵۴	۱۲۸/۲۳	۲۷۵/۵۲	۲۹۱/۵۱	۹۵۲/۹۹	۱۲۴۴/۵۰
اراضی کشاورزی	۲۸/۰۵	۱۱/۸۱	۴۳/۱۷	۳۱۸۵/۲۳	۱۷۱۷/۲۵	۴۹۰۲/۴۸

ارزیابی دقت نقشه‌های کاربری اراضی

پس از تهیه نقشه کاربری اراضی برای سال‌های مورد نظر به ارزیابی دقت نقشه‌های تولید شده پرداخته شد. جدول (۵) ماتریس خطا و دقت طبقه بندی مربوط به نقشه‌های کاربری اراضی را نشان می‌دهد. بر اساس این جدول، برای سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۷ دقت کلی به ترتیب برابر ۸۶/۷، ۸۹/۷ و ۸۸/۷ بود و ضریب کاپا نیز برای این سال‌ها به ترتیب برابر ۰/۸۲، ۰/۸۴ و ۰/۸۶ می‌باشد.

جدول ۵: ارزیابی صحت کلاس بندی در سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۷

۲۰۱۷		۲۰۰۶		۱۹۹۰		پوشش و کاربری اراضی
دقت تولید شده	دقت کاربر	دقت تولید شده	دقت کاربر	دقت تولید شده	دقت کاربر	
۸۵/۸	۹۰/۷	۸۸	۹۰/۵	۸۹	۸۲	اراضی بایر با پوشش کم
۸۵/۴	۸۷/۳	۸۶/۴	۸۷/۳	۹۰	۸۸	اراضی شور
۹۴/۶	۹۵/۴	۸۹/۲	۸۷/۳	۷۸/۵	۸۶	اراضی شهری - انسان ساخت
۸۲/۲	۸۰	۸۹/۳	۹۶	۸۸/۵	۸۵/۲	کشاورزی
۸۸/۷		۸۹/۷		۸۶/۷		دقت کلی (درصد)
۰/۸۶		۰/۸۴		۰/۸۲		ضریب کاپا

پیش بینی کاربری با استفاده از CA-Markov و ارزیابی آن

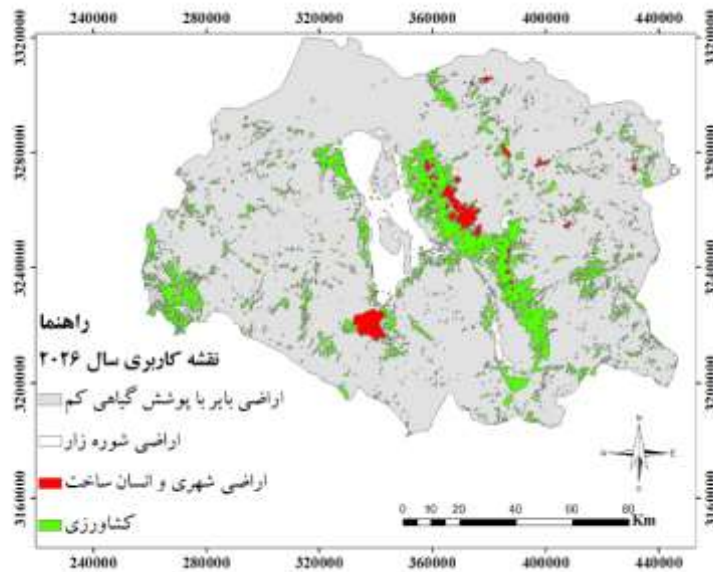
از نقشه کاربری سال ۱۹۹۰ و ۲۰۰۶ به ترتیب عنوان نقشه‌های ورودی دوره اول و دوره دوم برای برای شبیه سازی نقشه کاربری سال ۲۰۱۷ استفاده شد. پس از انجام مدل سازی ماتریس مساحت انتقال و ماتریس احتمال شرطی تولید گردید. نتایج شبیه سازی سال ۲۰۱۷ و مقایسه آن با نقشه ۲۰۱۷ نشان دهنده عملکرد منطقی مدل بوده است (جدول ۶). نتایج حاصل از تجزیه تحلیل ضریب کاپا کارایی بالای مدل سازی و شبیه سازی نقشه کاربری اراضی را تایید می‌کند به طوری نتایج k_{no} و دقت کلی در شبیه سازی بالا ۰/۸۵٪ بوده است (جدول ۷). علاوه بر این دیگر ضرایب کاپا مانند $k_{location} = 0/79$ و $k_{standard} = 0/79$ یا نزدیک به ۸۰ درصد می‌باشند (جدول ۶). این نتایج مناسب بودن مدل برای شبیه سازی و پیش بینی را نشان می‌دهد. بنابراین با استفاده ماتریس مساحت انتقال و ماتریس احتمال شرطی می‌توان با استفاده از مدل سازی کاربری اراضی را برای منطقه مورد نظر پیش بینی کرد.

جدول ۶: مساحت کاربری اراضی واقعی و شبیه سازی شده سال ۲۰۱۷ برحسب هکتار

مساحت کاربری ها سال ۲۰۱۷ برحسب هکتار		کلاس‌های کاربری
شبیه سازی شده	واقعه ای	
۱۴۷۴۱۰۹/۰۷	۱۵۱۴۰۴۶	اراضی بایر
۱۲۴۴۲۸/۷۲	۱۲۷۳۲۶/۷۴	شوره زار
۱۵۲۶۵/۷۰	۱۷۲۱۴/۱۹	شهری و انسان ساخت
۱۴۶۳۲۰/۲۳	۱۸۱۴۱۰/۶۷	اراضی کشاورزی
۱۸۰۰۰۶۰/۶۷	۱۸۰۰۰۶۰/۶۷	مجموع

جدول ۷. ضرایب کاپا برای ارزیابی نتایج

مقدار	ضریب کاپا
۰/۸۵	K_{no}
۰/۹۰	$K_{location}$
۰/۹۰	$k_{location}$
۰/۷۹	$k_{standard}$



شکل ۴: نقشه پیش بینی تغییرات کاربری سال ۲۰۲۶ با استفاده از مدل کو مارکوف

شبیه سازی تغییرات کاربری برای سال ۲۰۲۶ نشان داد که در این بازه زمانی ۲۰۱۷-۲۰۲۶ سطح اراضی بایر با کاهش ۲/۱۵ درصدی حدود ۳۷۹۲/۴۸ هکتار روند کاهش خواهد داشت و در مقابل سطح کاربری/پوشش اراضی شور زار، اراضی شهری - انسان ساخت و کشاورزی به ترتیب ۲/۶۱، ۶۴/۵۴ و ۲۸/۰۵ درصد و ۳۱۵/۷۴، ۲۹۱/۵۱ و ۳۱۸۵/۲۳ هکتار افزایش خواهند داشت (جدول ۸ و ۹- شکل ۴).

جدول ۸. مساحت (هکتار) و درصد کلاس های کاربری اراضی بین سال های ۲۰۱۷-۲۰۲۶

سال ۲۰۲۶		سال ۲۰۱۷		کاربری اراضی
درصد مساحت	مساحت به هکتار	درصد مساحت	مساحت به هکتار	
۸۱/۸۷	۱۴۷۳۶۳۷/۱۶	۸۴/۱۱	۱۵۱۴۰۴۶	اراضی بایر
۷/۲۷	۱۳۰۹۵۳/۲۰	۶/۹۱	۱۲۴۴۲۸/۷۲	شوره زار
۱/۳۰	۲۳۳۹۴/۰۹	۰/۸۵	۱۵۲۶۵/۷۰	اراضی شهری و انسان ساخت
۹/۵۶	۱۷۲۰۷۶/۲۲	۸/۱۳	۱۴۶۳۲۰/۲۳	اراضی کشاورزی
۱۰۰	۱۸۰۰۰۶۰/۶۷	۱۰۰	۱۸۰۰۰۶۰/۶۷	

جدول ۹: درصد و نرخ تغییرات کاربری های مختلف در طول سه دوره مطالعه (۲۰۲۶-۲۰۱۷)

کاربری اراضی	درصد تغییرات	نرخ تغییرات (هکتار در سال)
اراضی بایر	-۲/۱۵	-۳۷۹۲/۴۸
شوره زار	۲/۶۱	۳۱۵/۷۴
اراضی شهری و انسان ساخت	۶۴/۵۴	۲۹۱/۵۱
اراضی کشاورزی	۲۸/۰۵	۳۱۸۵/۲۳

نتیجه گیری

هدف از انجام این پژوهش بررسی و پیش بینی تغییرات کاربری/ پوشش اراضی در اکوسیستم بیابانی دشت سیرجان با استفاده از مدل کومارکوف می باشد. در این تحقیق تغییرات کاربری اراضی دشت سیرجان در سه بازه زمانی ۱۹۹۰، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۷ با استفاده از تصاویر لندست تهیه گردید. پس ارزیابی دقت کاربری ها استفاده از مدل زنجیره مارکوف و سلولار خودکار تغییرات کاربری اراضی برای سال ۲۰۲۶ پیش بینی گردید. دقت کلی و ضریب کاپا برای سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۷ به ترتیب بالای ۰/۸۰ و ۰/۸۲ می باشد که براساس نتایج تحقیقات محمدیان م س سم (۲۰۱۶) ضریب کاپا بین ۰/۷ و ۰/۸۵ و دقت کلی بالای ۰/۸۰ تایید کننده مناسب بودن طبقه بندی با نمونه های واقعه ای می باشد. برآورد کاربری اراضی نشان داد که بیش از ۹۰ درصد منطقه مورد مطالعه را اراضی بایر و اراضی شور تشکیل داده است که این نشان دهنده حساس بودن منطقه به بیابان زایی و تخریب است. همچنین نتایج پیش بینی کاربری اراضی نشان داد که روند این تغییرات کاربری به کاهش اراضی بایر و افزایش مناطق شوره زار که این خود نیز تایید کننده تاثیر فعالیتهای انسانی بر اکوسیستم طبیعی منطقه و افزایش بیابانی شدن دشت سیرجان می باشد که با نتایج تحقیقات هاشمی نسب و جعفری (۱۳۹۳) مطابقت دارد. علاوه بر این روند افزایش مناطق شهری - انسان ساخت در این بازه زمانی چشمگیر بوده به طوری روند تغییرات در دوره ۲۷ ساله (۲۰۱۷-۱۹۹۰) ۲۱۴۴/۵۰ هکتار در سال افزایش داشته است که نشان دهنده افزایش ۲۷۵/۵۲ درصدی این اراضی می باشد. همچنین نتایج پیش بینی این کاربری در بازه زمانی ۹ ساله (۲۰۲۶-۲۰۱۷) نیز روند افزایشی خواهد داشت. این نتایج مبنی بر تاثیر گذاری گسترش مناطق شهری - انسان ساخت که به سرعت و شدت بیابان زایی و تخریب اراضی می افزاید، با مطالعات دیگر زهتابیان و همکاران (۱۳۹۶) و اکبری و همکاران (۱۳۸۶) مطابقت دارد. روند تغییرات آینده کاربری کشاورزی نشان داد که روند پوشش گیاهی افزایشی خواهد بود به طوری از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۶ افزایش ۷۷۶۴/۲۵ هکتاری داشته که این نشان دهنده افزایش ۶۸/۳۸ درصدی در این بازه زمانی ۳۶ ساله بوده است. براساس نتایج زهتابیان و همکاران (۱۳۹۶) و محمدیان م س سم (۲۰۱۶) نیز علت این افزایش پوشش گیاهی را افزایش جمعیت روستاییان و مناطق شهری و فشارهای اقتصادی باعث تغییرات اراضی مخصوصا اراضی با پوشش کم به اراضی کشاورزی میتوان بیان کرد. با توجه به ادامه روند افزایشی اراضی شور تا سال ۲۰۲۶ و گزارش آب منطقه ای کرمان مبنی بر مصرف حدود ۹۸ در صد آب مصرفی در این منطقه به جهت فعالیت های کشاورزی بخصوص باغات پسته و تامین آب مصرفی این دشت از طریق سفره های آب زیر زمینی و رشد و توسعه مناطق شهری - انسان ساخت شرایط محیط برای تخریب و بیابان زایی فراهم خواهد شد که با نتایج مطالعه عباس نژاد وشاهی دشت (۱۳۹۲) مطابقت دارد. استفاده از داده های مبتنی بر سنجش از دور نشان داد که با استفاده از تصاویر لندست در بازه زمانی مختلف می توان روند تغییرات کاربری اراضی شهری، اراضی شور و کشاورزی برای بررسی روند تخریب سرزمین و بیابان زایی استفاده کرد. براساس این نتایج می توان دریافت با استفاده از تلفیق داده های سنجش از دور و

داده های مکانی و با استفاده ترکیب مدل های CA و MARKOV به عنوان ابزار کارآمد می توان به درستی تغییرات مکانی و زمانی بویژه در مناطق حساس با اکوسیستم خشک و نیمه خشک که در حال توسعه هستند و شاهد افزایش فعالیتهای انسانی نظیر توسعه کشاورزی، تخریب مراتع و افزایش مناطق مسکونی و فعالیتهای صنعتی می باشد که خود موجب شدت بخشیدن به پدیده بیابان زایی می شود، مورد نیاز است. بنابراین نتایج می تواند به عنوان راهکاری برای سیاستمداران عرصه منابع طبیعی و تصمیم گیرندگان شهری باشد تا با توجه به این روند رو به رشد نسبت به آن برنامه ریزی و سیاست گذاری مناسبی داشته باشند. در مطالعه حاضر با توجه به اینکه فقط روند تغییرات کاربری اراضی طی سالهای گذشته برای پیش بینی تغییرات در آینده استفاده شده است، پیشنهاد می گردد برای مطالعات آتی در این زمینه تاثیر پارامترهای اقلیمی و افت سطح آبهای زیرزمینی برای پیش بینی تغییرات کاربری اراضی در نظر گرفته شود.

منابع

- اکبری، مرتضی؛ کریم زاده، حمیدرضا؛ مدرس، رضا؛ چکشی، بهاره، ۱۳۸۶، ارزیابی و طبقه بندی بیابان زایی با فناوری سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: منطقه خشک شمال اصفهان)، تحقیقات مرتع و بیابان ایران، سال ۱۴، شماره ۲، صص ۱۴۲-۱۲۴.
- پیروی، حلیمه؛ بامری، ابوالفضل، ۱۳۹۳، بررسی روند تغییرات کمی سطح ایستابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از زمین آمار و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: دشت سیرجان)، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، سال ۱، شماره ۵، صص ۲۲-۴۴.
- جعفریگلو، منصور؛ نادى زاده، شورا به؛ سامان امامی، کامیار؛ مرادی پور، فاطمه، ۱۳۹۶، بررسی و پیش بینی تغییرات کاربری متاثر از تپه های ماسه ای در شرق شهر بشرویه با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، مجله پژوهشهای ژئومورفولوژی کمی، سال ۳، شماره ۶، صص ۱۱۷-۱۳۴.
- رضائی، نفیسه؛ جعفری، رضا، ۱۳۹۳، آشکارسازی تغییرات کاربری پوشش اراضی در افق ۱۴۰۴ با استفاده از مدل زنجیره ای CA مارکوف (مطالعه موردی: اسفراین)، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۴، شماره ۲۹، صص ۹۶-۸۳.
- زهتابیان، غلامرضا؛ پوررضا، مریم؛ خسروی، حسن؛ راهداری، محمدرضا، ۱۳۹۳، تاثیر تغییر کاربری اراضی بر روی تخریب زمین و بیابان زایی در حوزه آبخیز روانسر، فصلنامه مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، سال ۴، شماره ۱۶، صص ۸۵-۷۳.
- شمسی پور، علی اکبر؛ حیدری، سوسن؛ باقری، کیوان، ۱۳۹۶، پایش روند تغییرات پوشش زمین در شهر کرمانشاه با مدل CA مارکوف، پژوهشهای جغرافیایی برنامه ریزی شهری، سال ۵، شماره ۳، صص ۵۱۴-۴۹۵.
- صالحی، ناهید؛ اختصاصی، محمدرضا؛ طالبی، علی، ۱۳۹۸، پیش بینی روند تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل زنجیره مارکوف (CA-Markov) مطالعه موردی: حوزه آبخیز صفارود رامسر، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، سال ۱، شماره ۱۰، صص ۱۰۶-۱۲.
- عباس نژاد، احمد؛ شاهی دشت، علیرضا، ۱۳۹۲، بررسی آسیب پذیری دشت سیرجان با توجه به برداشت بی رویه از سفره آب زیرزمینی منطقه، جغرافیا و آمایش شهری-منطقه ای، شماره ۷، صص ۹۶-۸۵.
- عزیزی قلاتی، سارا؛ رنگزن، کاظم؛ سدیدی، جواد؛ حیدریان، پیمان؛ تقی زاده، ایوب، ۱۳۹۵، پیش بینی روند تغییرات مکانی کاربری اراضی با استفاده از مدل زنجیره مارکوف (CA) مطالعه موردی: منطقه کوهمره سرخی استان فارس)، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، سال ۷، شماره ۱، صص ۷۱-۵۹.
- هاشمی نسب، سیده نگار؛ جعفری، رضا، ۲۰۱۸، ارزیابی تغییرات کاربری اراضی به منظور پایش بیابان زایی با استفاده از تکنیک سنجش از دور، تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال ۵، شماره ۳، صص ۷۲-۶۸.
- یوسفی، مریم؛ مکانیکی، جواد؛ اشرفی، جواد؛ نیسانی سامانی، نجمه، ۱۳۹۶، آشکارسازی و مدل سازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از داده های سنجش از دور و مدل زنجیره مارکوف و سلولهای خودکار مطالعه موردی شهر بجنورد، مجله آمایش جغرافیایی فضا، سال ۷، شماره ۲۶، صص ۱-۱۶.
- Bihamta, N., Soffianian, A., Fakheran, S., & Gholamalifard, M. (2015). Using the SLEUTH Urban Growth Model to Simulate Future Urban Expansion of the Isfahan

- Metropolitan Area, Iran, Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 43 (2): 407 – 414.
- DongJie, G., HaiFeng, L., Takuro, I., Weici, S., Tadashi, N., & Kazunori, H. (2017). *Cellular automata and Markov Chain (CA_Markov) model-based predictions of future land use and land cover scenarios (2015–2033) in Raya, northern Ethiopia*, *Modeling Earth Systems and Environment*, 3(4):1245-1262.
 - Foley, J. A., Defries, R., Asner, G. P., Barford, C., & Bonan, G. (2005). *Global consequences of land use*. *Science*, 309 (5734): 570 – 574.
 - Findell, K. L., Berg, A., Gentine, P., Krasting, J. P., Lintner, B. R., Malyshev, S., Santanello, J. A., & Shevliakova, E. (2017). *The impact of anthropogenic land use and land cover change on regional climate extremes*, *Nature Communications*, 8 (1): 989.
 - Gidey, E., Dikinya, O., Sebege, R., Segosebe, E., & Zenebe, A. (2017). *Cellular automata and Markov Chain (CA_Markov) model-based predictions of future land use and land cover scenarios (2015–2033) in Raya, northern Ethiopia*, *Modeling Earth Systems and Environment*, 3(4):1245-1262.
 - Hishe, S., Bewket, W., Nyssen, J., & Lyimo, J. (2018). *Analysing past land use land cover change and CA-Markov-based future modelling in the Middle Suluh Valley, Northern Ethiopia*, *Geocarto International*, 35(3): 1-31.
 - Li, X., Chen, G., Liu, X., Liang, X., Wang, S., Chen, Y., Pei, F., & Xu, X. (2017). *A new global land-use and land-cover change product at a 1-km resolution for 2010 to 2100 based on human–environment interactions*, *Annals of the American Association of Geographers*: 1-20.
 - Logsdon, M. G., Bell, J. E., Westerlund, V. F. (1996). *Probability mapping of land use change: a GIS interface for visualizing transition probability*, *Comput Environ Urban Syst*, 20:389–398.
 - Rajitha, K., Mukherjee, C. K., Chandran, V. R., & Prakash Mohan, M. M. (2010). *Landcover change dynamics and coastal aquaculture development: a case study in the East Godavari delta, Andhra Pradesh, India using multi-temporal satellite data*, *International Journal of Remote Sensing*, 31 (16): 4423 -4442.
 - Richards, J. A. (1999). *Remote sensing digital image analysis*, 3, Springer.
 - Valipour, M., Amin, V., Zeidi, A. R., & Akbarpour, K. (2012). *The bankruptcy prediction of accepted companies in Tehran negotiable papers exchange by the use of artificial neural network and it's comparison with logistic regression statistical model*, *International Journal of Business and Technopreneurship*, 4(3):451-465.
 - Václavík, T., Rogan, J. (2009). *Identifying trends in land use/land cover changes in the context of postsocialist transformation in central Europe: a casestudy of the greater Olomouc region, Czech Republic*. *GIScience & Remote Sensing*, 46(1): 54-76.
 - Wang, Sh. Q., Zheng, X., & Zang, X. B. (2012). *Accuracy assessments of land use change simulation based on Markov-cellular automata model*, *Procedia Environmental Sciences*, 13: 1238-1245.
 - Mosammam, H. M., Nia, J. T., Khani, H., Teymouri, A., & Kazemi, M. (2017). *Monitoring land use change and measuring urban sprawl based on its spatial forms: The case of Qom city*. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 20(1), 103-116.