

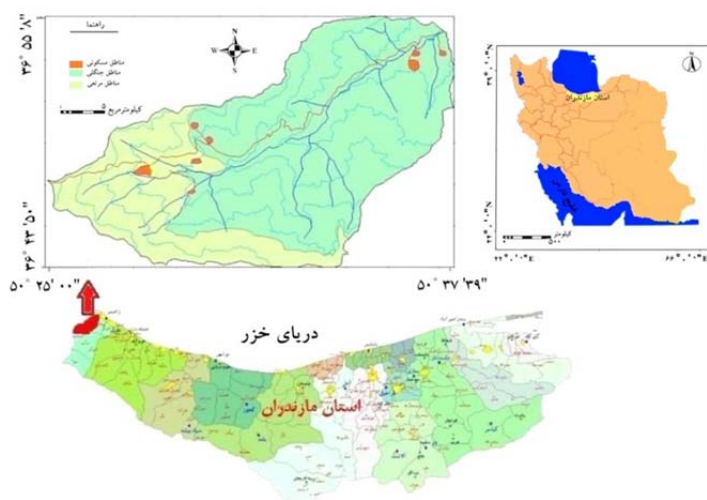
هدف از این مطالعه، بررسی تغییرات کاربری اراضی در یک دوره زمانی ۲۸ ساله (۲۰۱۴-۱۹۸۶) با استفاده از تصاویر ماهواره لندست، و تلفیق مدل سلول خودکار با مدل تصادفی زنجیره مارکوف برای مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی و در نهایت پیش‌بینی این تغییرات در آینده است. بهره‌گیری از مدل مارکوف در پیش‌بینی تغییرات و تهیه نقشه پیش‌بینی تغییرات کاربری‌های مختلف از جنبه‌های مهم نوآوری این مطالعه محسوب می‌شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز صفارود با موقعیت جغرافیایی $36^{\circ} 43' 50''$ تا $36^{\circ} 55' 8''$ عرض شمالی و $50^{\circ} 25' 00''$ و $50^{\circ} 37' 39''$ طول شرقی در دامنه‌های شمالی البرز در جهت شمال‌شرقی-جنوب‌غربی در جنوب‌غربی شهرستان رامسر واقع شده است (شکل ۱). شیب متوسط منطقه ۱۲/۷ درصد و مساحت حوزه آبخیز صفارود، ۱۳۷/۴۴ کیلومتر مربع است. متوسط بارندگی این حوزه در طول چهل سال گذشته در حدود ۱۱۶۹ میلی‌متر است. بر اساس مطالعات انجام‌شده، بخش اعظم اراضی منطقه تحت مطالعه دارای پوشش جنگلی با شرایط متراکم تا نیمه متراکم است.

گردید. تصاویر هر سه مقطع زمانی به چهار طبقه کاربری مرتع، اراضی کشاورزی دیم، اراضی مسکونی، و اراضی کشاورزی آبی طبقه‌بندی شدند. نتایج نشان داد به ترتیب ۲۱/۱۲ و ۲۱/۰ درصد از مساحت کاربری مرتع و اراضی دیم کاسته شده و به مساحت کاربری مسکونی افزوده شده است. کریمی و همکاران (۷) در بررسی روند تغییرات دشت عباس با استفاده از تصاویر لندست برای سال‌های ۱۳۶۸، ۱۳۸۲، ۱۳۹۲ دریافتند که تغییرات کاربری به سمت کشاورزی بوده است. یوسفی و همکاران (۱۱) 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 و دیم از ۱۴/۵ درصد در سال ۱۳۷۹ به ۶/۵ درصد کاهش و اراضی شهری از ۶/۷ درصد در سال ۱۳۷۹ به حدود ۱۱/۵ درصد در سال ۱۴۰۷ افزایش پیدا خواهد کرد. نتایج مطالعات پیشین نشان می‌دهد که طی دهه‌های اخیر در ایران و سایر مناطق دنیا تغییرات کاربری به صورت تبدیل کاربری جنگل و مرتع به سایر کاربری‌ها مانند مناطق مسکونی بوده است (۲۷). طی سال‌های اخیر در استان مازندران نیز تغییرات کاربری زیادی در جنگل‌های خزری و مناطق کشاورزی صورت گرفته است و منطقه صفارود رامسر نیز از این قاعده مستثنی نبوده است.

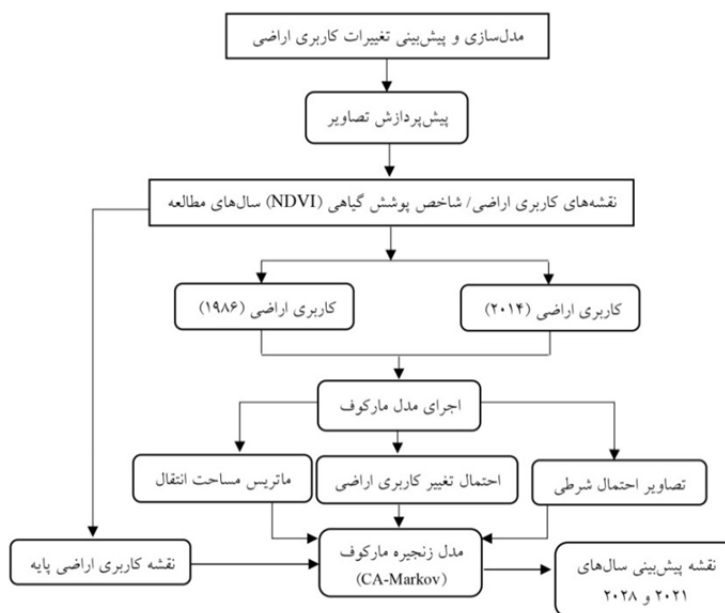


شکل ۱. موقعیت حوزه آبخیز صفارود رامسر

روش تحقیق

از نرم افزارهای ArcGIS[®] 10.3, ENVI[®] 4.8 و IDRISI Selva استفاده گردید. برای طبقه بندی کاربری ها از روش حداکثر احتمال و برای محاسبه تغییرات، پیش بینی و شبیه سازی تغییرات در سال های ۲۰۲۱ و ۲۰۲۸ از مدل سلول خودکار-مارکوف استفاده شد. نمودار جریان میانه مراحل تحقیق در شکل ۲ آورده شده است.

در این تحقیق از تصاویر ماهواره ای لندست TM (۱۹۸۶)، ETM⁺ (۲۰۰۰) و OLI (۲۰۱۴) و نقشه های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ رقومی سازمان نقشه برداری استفاده شد. مشخصات تصاویر ماهواره ای استفاده شده در این تحقیق در جدول ۱ آورده شده است. برای پردازش داده ها، مدل سازی، شبیه سازی



شکل ۲. نمودار مراحل انجام تحقیق

جدول ۱. مشخصات تصاویر ماهواره ای مورد استفاده در تحقیق

تاریخ میلادی	تاریخ شمسی	ماهواره	سنجنده	قدرت تفکیک مکانی
۱۹۸۶	۱۳۶۵	لندست ۴	TM	۳۰
۲۰۰۰	۱۳۷۹	لندست ۷	ETM	۳۰
۲۰۱۴	۱۳۹۳	لندست ۸	OLI	۳۰

پیش پردازش تصاویر

در مرحله پیش پردازش تصاویر تصحیحات هندسی و رادیومتریک روی تصاویر انجام شد. تصحیح رادیومتریک زمانی انجام می گیرد که، از تصاویر چند زمانه یعنی تصاویری که مربوط به فصول یا سال های مختلف و یا سنجنده های مختلف هستند، استفاده شود (۱۲). پیش از به کارگیری داده های ماهواره ای در تجزیه تحلیل رقومی، کیفیت آن ها از نظر وجود خطای هندسی،

پرتوسنجی مانند راه راه شدگی، زیر هم قرار نگرفتن خطوط اسکن، پیکسل های تکراری، خطاهای اتمسفری مانند وجود لکه های ابر مورد بررسی قرار گرفت. به منظور انجام تصحیحات رادیومتریک بر روی تصاویر نیاز است ارزش رقومی (DN) ثبت شده از یک پیکسل معین که در سال های مختلف، تحت تأثیر زاویه دید، موقعیت و زاویه خورشید و شرایط اتمسفری قرار می گیرد، خطاهای آن رفع گردد (۳۳). برای انجام تصحیح

است که به‌منابه نمونه‌های تعلیمی برای هر کلاس هستند، بر روی تصاویر انجام شد (۱۴). برای این مرحله با تفسیر بصری تصویر ترکیب رنگی کاذب و با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور، نمونه‌های تعلیمی برای هر کلاس تعریف شدند، سپس نمونه‌های تعلیمی به شیوه راقومی کردن روی صفحه رایانه راقومی شدند. در مرحله دوم، نمونه‌های تعلیمی تفکیک شدند و مرحله سوم طبقه‌بندی کاربری اراضی با الگوریتم حداکثر احتمال در طبقه‌بندی نظارت‌شده در چهار کلاس کاربری شامل جنگل، مرتع، کشاورزی و مسکونی صورت گرفت (۲۸). در این روش طبقه‌بندی از داده‌هایی مانند میانگین متوسط برآورد و واریانس‌های طبقات استفاده می‌کند که بعدها به‌منظور احتمال‌های برآورد بکار برده می‌شوند. الگوریتم حداکثر احتمال، فرض می‌کند که احتمال‌های برآورد برای همه طبقات برابر هستند و هیستوگرام باندهای ورودی جهت به دست آوردن یک خروجی دقیق، دارای توزیع نرمالی می‌باشند. این روش متوسط، واریانس‌ها و تغییرپذیری در ارزش‌های طیفی هر کلاس را به‌عنوان مجموعه‌ای از داده‌های زمینی به دست می‌آورد؛ بنابراین، نیازمند داده‌های زمینی دقیق است. مزیت اصلی این روش آمار مبنا بودن آن است که برآوردی از همپوشانی نواحی را فراهم می‌کند (۹). درنهایت برای حذف قطعات کوچک و ساده‌سازی تصاویر حاصل از طبقه‌بندی‌ها از فیلتر مد استفاده شد. پس‌ازاین فرآیند، طبقه‌بندی‌های به‌دست‌آمده در محیط ArcMap[®] 10.3 راقومی شدند، تا نقشه کاربری اراضی حوزه مورد مطالعه برای سال‌های موردبررسی به دست آید.

تهیه نقشه پوشش تراکم گیاهی

نقشه تراکم پوشش گیاهی منطقه با اعمال شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) در محیط نرم‌افزار ENVI[®] 4.8 با دستور NDVI بر روی تصاویر لندست تهیه گردید (رابطه ۳).

راديومتریک در ابتدا ارزش‌های راقومی به تابش طیفی (Radiance) با استفاده از ضرایب کالیبراسیون سنجنده و رابطه ۱ تبدیل شد (۶).

$$L = \text{Gain} \times \text{DN} + \text{Offset} \quad [1]$$

در این رابطه؛ L تابش طیفی، DN ارزش راقومی پیکسل (۰ - ۲۵۵) و Gain و Offset ضرایب کالیبراسیون سنجنده است. سپس مقدار تابش طیفی به بازتاب طیفی (Reflectance) از رابطه ۲ محاسبه شد (۲۴ و ۲۶).

$$P = \frac{\pi d^2}{\text{ESUN} \cdot \cos \text{SZ}} \quad [2]$$

در این رابطه؛ P بازتاب طیفی بین ۰ تا ۱، π ۳/۱۴، L تابش طیفی در دریچه سنجنده، d^2 مجذور فاصله زمین و خورشید، ESUN ارتفاع خورشید، SZ زاویه خورشید در هنگام تابش. با تبدیل مقادیر تابش طیفی به بازتاب طیفی آثار مربوط به تغییر شرایط نوردهی، فصل، عرض جغرافیایی، شرایط آب و هوایی روی تصاویر حذف می‌گردد و نتیجه حاصل نسبتاً استاندارد شده است که مستقیماً جهت مقایسه بازتاب پدیده‌ها بین تصاویر مختلف و یک تصویر در زمان‌های متفاوت قابل کاربرد است (۲۵).

طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و تهیه نقشه‌های کاربری اراضی

به‌منظور بررسی تغییرات کاربری اراضی، از تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۹۸۶، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۴ استفاده شد. از آنجاکه تفکیک و شناسایی پدیده‌ها به لحاظ رنگ نتایج بهتری ارائه می‌دهد ولی نمایش داده‌های حاصل از اسکنرها در تک باندها با استفاده از گام خاکستری است، تصویر رنگی کاذب هر تاریخ با استفاده از ترکیب باندهای ۲۳۴ به ترتیب بانگ‌های مادون قرمز، قرمز و سبز تولید در محیط نرم‌افزار ENVI[®] 4.8 تولید شد (۱۷). این تصاویر به تجسم انواع کاربری‌ها در منطقه کمک می‌کنند. از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده برای تهیه نقشه‌های پوشش اراضی استفاده شد.

در اولین گام یک طبقه‌بندی نظارت‌شده، تعریف مناطقی

$$\phi_2 = \frac{1}{n^2} \sum_i^n 1 p_{ix} p_i \quad [6]$$

در این رابطه‌ها؛ n برابر با تعداد کل نمونه‌های آموزشی، pii عناصر قطر اصلی، p_{ix} جمع ستون‌ها و p_i جمع ردیف‌ها است.

مدل زنجیره مارکوف (CA-Markov)

CA به‌عنوان روشی با پویایی زمانی- مکانی می‌تواند تغییرات را در فضای دوبعدی شبیه‌سازی کند. این روش به‌صورت گسترده‌ای در بسیاری از زمینه‌های جغرافیایی، خصوصاً به‌منظور پیش‌بینی رشد شهر و تغییرات کاربری سرزمین به کار برده شده است (۲۸). مدل سلول خودکار- مارکوف یک سیستم دینامیک و گسسته در مکان و زمان است که بر روی یک شبکه منظم از سلول‌ها عمل می‌کند و همچنین تغییرات پوشش کاربری زمین است و داده‌های سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌توانند به‌طور مؤثری مشارکت داده شوند (۲۳). در مدل سلول خودکار- مارکوف، پروسه زنجیره مارکوف تغییرات زمانی را میان کلاس کاربری زمین بر اساس احتمالات تبدیل کنترل می‌کند، درحالی‌که تغییرات مکانی به‌وسیله قوانین محلی تعیین CA یا نقشه‌های شایستگی کنترل می‌گردند (۱۴). بنابراین با استفاده از مدل سلول خودکار-مارکوف، وضعیت پیکسل‌ها برای پیش‌بینی تغییرات وضعیت آن‌ها در آینده از قوانین خاصی پیروی می‌کنند. به‌طور مثال پیکسل Cij (پیکسل قرارگرفته در سطر I و ستون J) در زمان t+1 به چهار عامل، وضعیت سلول در زمان t پنجره همسایگی (St Cij)، وضعیت همسایگان سلول در زمان Ωt (Cij) t و قوانین تبدیل (وضعیت هر یک از سلول‌ها درگذر زمان بر اساس قوانین تبدیل، به‌طور خودکار به‌روز می‌شوند) بستگی دارد. گام‌های به‌روزرسانی از زمان t₀ مبدأ زمانی تا t_n (زمان پایان عملیات) در اصطلاح تکرار نامیده می‌شود (۱۳). خروجی مدل نیز شامل احتمال تبدیل وضعیت، ماتریس مساحت‌های تبدیل‌شده (Transition areas matrix) هر طبقه و در پایان تصاویر احتمالات شرطی برای تبدیل کاربری‌های مختلف است (۱۸، ۲۹ و ۳۴). در این تحقیق از تصاویر

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad [3]$$

در این رابطه؛ NDVI شاخص نرمال شده تفاضل پوشش گیاهی، RED باند قرمز و NIR باند مادون‌قرمز نزدیک است. شاخص NDVI دارای مقادیر نرمال در بازه -۱ تا +۱ است که بررسی و نمایش مقادیر را به‌راحتی میسر می‌سازد. مقادیر مختلف NDVI نمایشگر وضعیت متفاوت پوشش گیاهی است به‌گونه‌ای که NDVI برای گیاهان همیشه مثبت خواهد بود. بعد از تهیه لایه NDVI، پوشش به چهار طبقه فاقد پوشش گیاهی، پوشش ضعیف، پوشش نیمه متراکم و پوشش متراکم طبقه‌بندی شد.

ارزیابی صحت نقشه‌های کاربری اراضی

با اعمال ۳۰ نقطه تعلیمی در هر کلاس کاربری بر روی تصویر گوگل ارث و برداشت میدانی توسط دستگاه موقعیت‌یاب زمینی (GPS) صحت نقشه تهیه‌شده سال ۲۰۱۴ با واقعیت زمینی، ارزیابی گردید. مقادیر ضریب کاپا بالای ۸۰ درصد، نشان‌دهنده این است که به‌طورکلی تطابق خوبی بین طبقه‌بندی و انواع طبقات کاربری موجود در زمین وجود دارد (۲۱). به‌منظور تولید نقشه‌های کاربری اراضی صحیح در سال‌های ۱۹۸۶ و ۲۰۰۰، از ضرایب کاپای به‌دست‌آمده و تطابق با نقشه‌های موجود از منطقه استفاده گردید.

ارزیابی صحت مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی

برای ارزیابی صحت مدل سلول‌های خودکار-مارکوف در شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی از شاخص کاپا استفاده شد. ضریب کاپا، صحت طبقه‌بندی را نسبت به یک طبقه‌بندی کاملاً تصادفی محاسبه می‌کند (۱۵). در این پژوهش جهت ارزیابی صحت مدل‌سازی (ضریب کاپا) از گزینه پس پردازش تصاویر (Post classification) موجود محیط نرم‌افزار ENVI[®] 4.8 با استفاده از رابطه‌های ۴، ۵ و ۶ استفاده گردید.

$$\phi_1 = \frac{1}{n} \sum_i^n 1 p_{ii} \quad [4]$$

$$k = \frac{\phi_1 - \phi_2}{1 - \phi_2} \quad [5]$$

طبقه‌بندی شده سال‌های ۱۹۸۶، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۴ به‌عنوان نقشه‌های پوشش برای تهیه ماتریس تبدیل وضعیت استفاده شد. فاصله زمانی هر دو تصویر ۱۴ سال است، که بازه زمانی ۷ و ۱۴ سال برای پیش‌بینی تغییر کاربری استفاده گردید. ماتریس تبدیل وضعیت با استفاده از نقشه‌های پوشش زمین به‌دست آمده برای هر دوره، ماتریس تبدیل وضعیت کلاس‌های پوشش زمین بین هر دو دوره زمانی محاسبه شد. از نقشه‌های پوشش سال‌های ۱۹۸۶ و ۲۰۰۰ ماتریس تبدیل وضعیت اول و از نقشه‌های پوشش سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۴ ماتریس تبدیل وضعیت دوم محاسبه گردید. این ماتریس‌ها حاوی اطلاعات درصد تبدیل هر کلاس به سایر کلاس‌ها هستند.

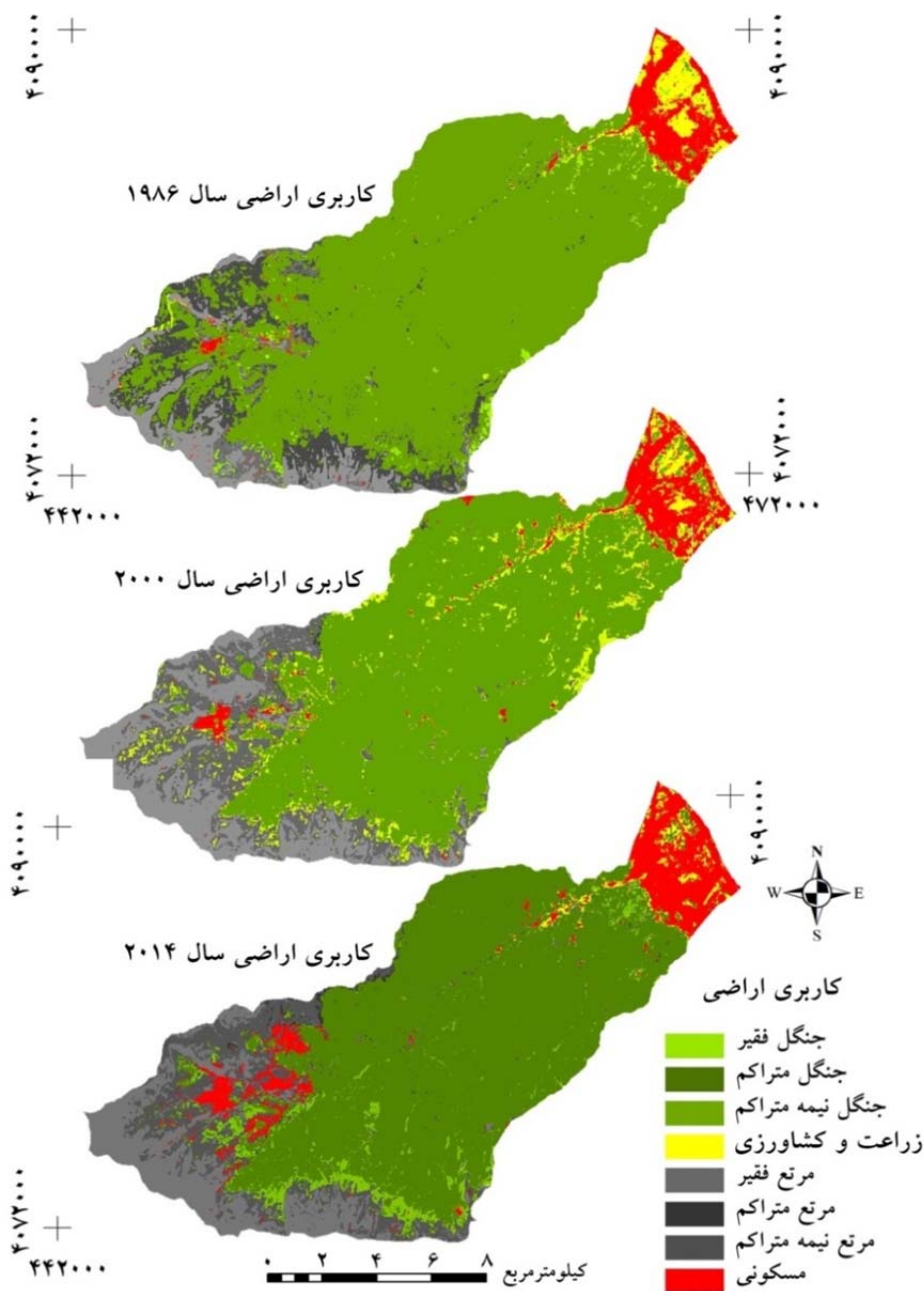
نتایج

پس از استخراج نقشه‌های کاربری اراضی و شاخص پوشش گیاهی از تصاویر لندست، و ادغام این دو نقشه با یکدیگر، روند تغییرات کاربری اراضی برای سه دوره زمانی سال‌های ۱۹۸۶، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۴ در حوزه مورد مطالعه طی دوره ۲۸ ساله مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مساحت انواع کاربری اراضی برای سال‌های ۱۹۸۶، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۴ در جدول ۲ آورده شده است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد بیشترین وسعت منطقه تحت پوشش جنگل‌های متراکم است و کمترین

سطح کاربری مربوط به جنگل‌های فقیر است. در سال ۱۹۸۶ مساحت جنگل‌های متراکم ۹۴/۹۹ کیلومترمربع بوده که در سال ۲۰۰۰ به ۸۲ کیلومترمربع و در سال ۲۰۱۴ به ۷۷/۴ کیلومترمربع کاهش یافته است (۱۲/۷ درصد از وسعت جنگل‌های متراکم طی ۲۸ سال کاسته شده است). در طی دوره مطالعه وسعت اراضی کشاورزی کاهش داشت، که از ۲/۴٪ در سال ۱۹۸۶ به حدود ۱٪ (۱/۵ کیلومترمربع) در سال ۲۰۱۴ رسیده است. در خلال دوره مطالعه سطح اراضی مسکونی افزایش داشته است به‌طوری‌که از ۸/۹ کیلومترمربع در سال ۱۹۸۶ (۶/۵٪) به ۱۱/۵ کیلومترمربع (۸/۳٪) و ۱۳/۴ کیلومترمربع (۹/۷٪) افزایش یافت (جدول ۲). نقشه تلفیق پوشش گیاهی با کاربری اراضی حوزه آبخیز صفارود رامسر برای سال‌های ۱۹۸۶، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۴ در شکل ۳ آورده شده است. مقایسه نقشه کاربری اراضی در سال‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که توسعه مناطق مسکونی در قسمت جنوب‌غربی منطقه و با تغییر کاربری جنگل‌های متراکم به کاربری مسکونی بوده است. پس از تهیه نقشه‌های کاربری اراضی، اقدام به آشکارسازی تغییرات و بررسی تغییرات اتفاق افتاده در طی دوره زمانی مورد مطالعه شد. این تغییرات شامل کاهش‌ها و افزایش‌ها و تغییرات خالص برای هر کلاس و انتقال از یک کلاس به کلاس‌های دیگر است.

جدول ۲. مساحت و درصد طبقات کاربری اراضی در طول سه دوره مطالعه (۲۰۱۴-۲۰۰۰-۱۹۸۶)

سال	۱۹۸۶		۲۰۰۰		۲۰۱۴	
	مساحت (km ²)	درصد	مساحت (km ²)	درصد	مساحت (km ²)	درصد
جنگل متراکم	۹۴/۹۹	۶۹	۸۲	۵۹/۶	۷۷/۴	۵۶/۳
جنگل نیمه‌متراکم	۳/۹۷	۲/۸	۱۳/۴	۹/۷	۷/۷	۵/۶
جنگل فقیر	۰/۲۹	۰/۲	۰/۱۸	۰/۱	۰/۰۴	۰/۰۲
مرتع متراکم	۱۱/۱۳	۸	۰/۰۴	۰/۰۲	۱	۰/۷
مرتع نیمه‌متراکم	۴/۶	۳/۴	۱۹/۷	۱۴/۳	۱۸/۳	۱۳/۳
مرتع فقیر	۱۰/۶	۷/۷	۸/۷	۶/۳	۱۸/۴	۱۳/۳۸
زراعت و کشاورزی	۳/۳	۲/۴	۱/۸	۱/۳	۱/۵	۱
مسکونی	۸/۹	۶/۵	۱۱/۵	۸/۳	۱۳/۴	۹/۷



شکل ۳. نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز صفارود رامسر (۱۹۸۶-۲۰۰۰-۲۰۱۴)

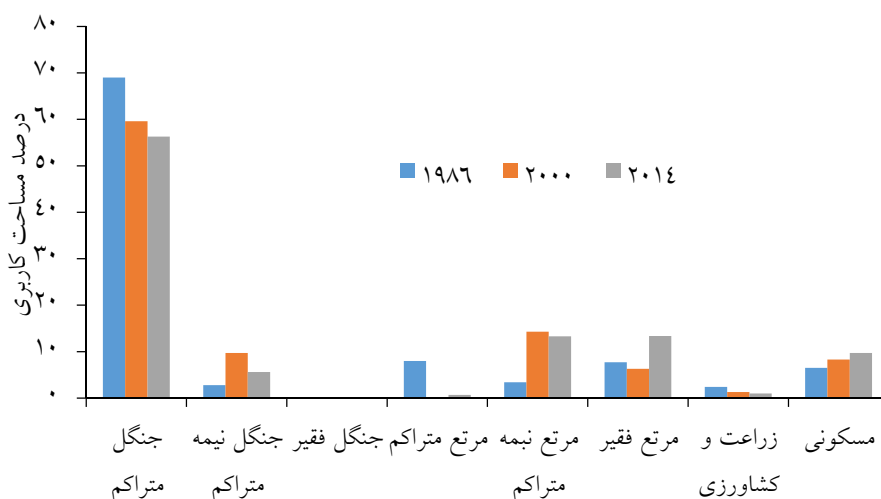
آشکارسازی تغییرات

برای درک اینکه طی دوره ۲۸ ساله، تغییرات منطقه چگونه بوده و کدام کلاس‌ها گسترش و کدام یک کاهش مساحت داشته‌اند، از نقشه‌های طبقه‌بندی شده استفاده شد. با مقایسه این نقشه‌ها و جدول تقاطعی به دست آمده، نقشه و درصد تغییرات هر کلاس مشخص و محاسبه گردید. با استفاده

از نقشه پوشش و کاربری اراضی تهیه شده برای هر دوره، درصد مساحت و محیط هر کلاس پوشش زمین محاسبه شد. همچنین درصد هر کلاس نسبت به کل منطقه، برای آگاهی از میزان تغییرات به وقوع پیوسته در دوره‌های بعدی به دست آمده است. شکل ۴ روند تغییرات درصد مساحت کاربری اراضی در دوره‌های زمانی ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۴ را نشان می‌دهد و در جدول ۳

درصد اراضی جنگلی است. اراضی مسکونی در سال ۱۹۸۶ برابر ۸/۹ کیلومترمربع (معادل ۶/۵ درصد کل حوزه)، و در سال ۲۰۱۴ به ۱۳/۴ کیلومترمربع (معادل ۹/۷ درصد کل حوزه)، که نشان‌دهنده افزایش ۳/۲ درصدی مساحت اراضی مسکونی است.

تغییرات در مقطع زمانی در هر دوره نسبت به سال ۱۹۸۶ آورده شده است. با توجه به شکل ۴ مشاهده می‌گردد، اراضی جنگلی در سال ۱۹۸۶ برابر با ۹۹/۲۵ کیلومترمربع (معادل ۷۲ درصد کل حوزه) و در سال ۲۰۱۴ به ۸۵/۱۴ کیلومترمربع (معادل ۶۱/۹۲ درصد کل حوزه)، که نشان‌دهنده کاهش ۱۰/۰۸



شکل ۴. روند تغییرات کاربری اراضی در سه دوره زمانی (۱۹۸۶ تا ۲۰۱۴)

رخ داده در دوره دوم، مدل مارکوف بر روی نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۴ اجرا شد. سپس با استفاده از مساحت انتقال یافته و تصاویر احتمال شرطی به منظور پیش‌بینی CA-Markov شرطی به دست آمده، مدل تغییرات کاربری اراضی سال ۲۰۲۱ و ۲۰۲۸ اجرا شد. جدول ۳ احتمال تغییر کاربری برای نقشه پیش‌بینی سال ۲۰۲۱ و جدول ۴ احتمال تغییر کاربری برای سال ۲۰۲۸ را نشان می‌دهد. مساحت طبقات کاربری اراضی برای سال‌های ۲۰۲۱ و ۲۰۲۸ در شکل ۵ آورده شده است.

به منظور پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده مدل زنجیره‌ای مارکوف (CA-Markov) از جدول مساحت انتقال یافته و تصاویر احتمال شرطی استفاده شد. نقشه کاربری اراضی حاصل از مدل‌سازی را می‌توان با نقشه کاربری اراضی به دست آمده از تصویر لندست سال ۲۰۱۴ به عنوان مرجع، مقایسه کرد. ضریب کاپای حاصل از ماتریس خطای نقشه به دست آمده از مدل‌سازی و نقشه کاربری اراضی به دست آمده از تصویر لندست سال ۲۰۱۴، ۸۲ درصد به دست آمد. برای ایجاد سناریوی پیش‌بینی برای سال‌های ۲۰۲۱ و ۲۰۲۸ از تغییرات

جدول ۳. احتمال تغییر کاربری اراضی برای نقشه پیش‌بینی سال ۲۰۲۱

کاربری	جنگل متراکم	جنگل نیمه متراکم	زراعت و کشاورزی	مرتع فقیر	مرتع نیمه متراکم	مسکونی	مرتع متراکم
جنگل متراکم	۰/۹۵۴۴	۰/۳۰۲	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۰	۰/۰۱۴۲	۰/۰۰۰۱
جنگل نیمه متراکم	۰/۱۹۵۱	۰/۲۵۹۲	۰/۰۰۰۴	۰/۰۱۸۱	۰/۳۱۰۴	۰/۲۱۲۸	۰/۰۰۰۴
زراعت و کشاورزی	۰/۰۳۹۴	۰/۰۲۲۹	۰/۲۹۰۸	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۶۴۶۹	۰/۰۰۰۰
مرتع فقیر	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۸۶۰۳	۰/۰۹۱۲	۰/۰۴۷۵	۰/۰۰۱۰
مرتع نیمه متراکم	۰/۰۱۳۷	۰/۰۳۹۵	۰/۰۰۰۰	۰/۱۲۹۰	۰/۶۵۸۳	۰/۱۵۹۴	۰/۰۰۰۱
مسکونی	۰/۰۱۶۷	۰/۰۰۱۱	۰/۰۱۴۲	۰/۰۱۸۴	۰/۰۸۸۳	۰/۸۶۱۲	۰/۰۰۰۲
مرتع متراکم	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۹۹۹۷

جدول ۴. احتمال تغییر کاربری اراضی برای نقشه پیش‌بینی سال ۲۰۲۸

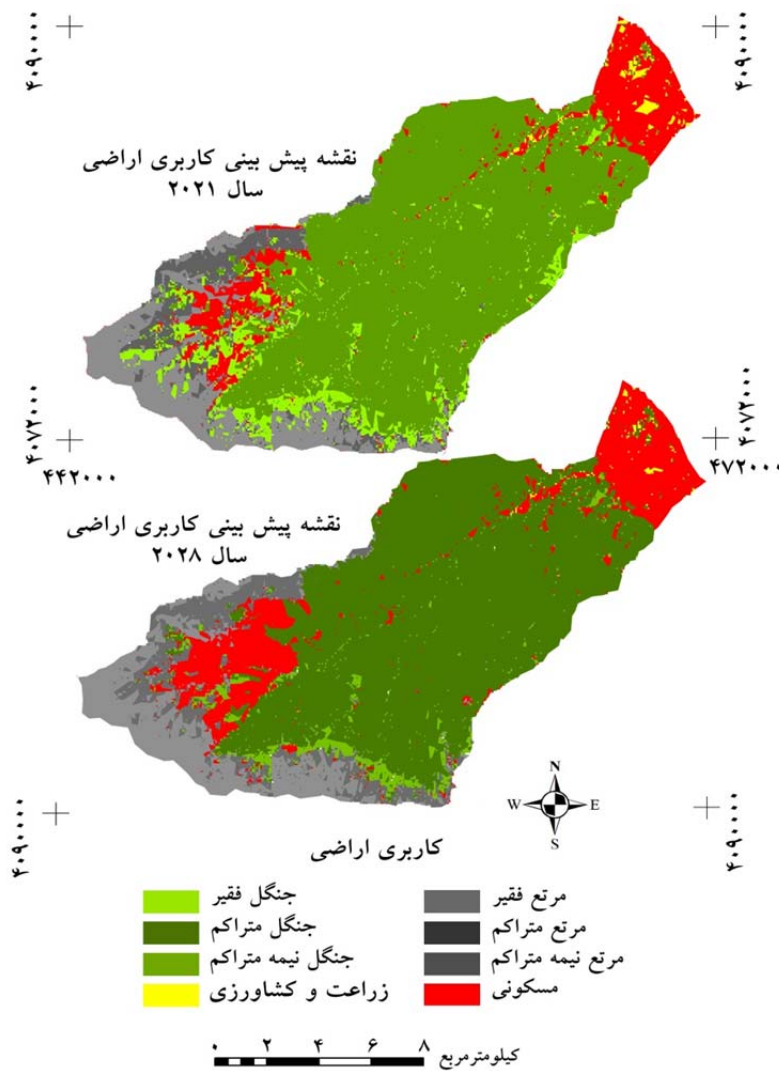
کاربری‌ها	جنگل متراکم	جنگل نیمه متراکم	زراعت و کشاورزی	مرتع فقیر	مرتع نیمه متراکم	مسکونی	مرتع متراکم
جنگل متراکم	۰/۹۱۹۲	۰/۳۷۵	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۲۶	۰/۰۰۳۲	۰/۰۳۶۳	۰/۰۰۰۳
جنگل نیمه متراکم	۰/۲۲۳۹	۰/۱۶۳۸	۰/۰۰۴۷	۰/۰۵۷۴	۰/۲۸۴۰	۰/۲۶۵۵	۰/۰۰۰۷
زراعت و کشاورزی	۰/۰۶۴۹	۰/۰۱۹۲	۰/۱۸۰۳	۰/۰۰۲۴	۰/۰۰۰۰	۰/۷۳۳۲	۰/۰۰۰۰
مرتع فقیر	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۲۴	۰/۰۰۰۲	۰/۷۶۶۵	۰/۱۲۹۱	۰/۰۹۷۱	۰/۰۰۱۹
مرتع نیمه متراکم	۰/۰۳۱۰	۰/۰۳۴۹	۰/۰۰۰۴	۰/۱۷۸۶	۰/۵۲۳۷	۰/۲۳۱۱	۰/۰۰۰۴
مسکونی	۰/۰۳۲۳	۰/۰۰۴۸	۰/۰۱۴۵	۰/۰۴۴۷	۰/۱۲۱۱	۰/۷۸۲۱	۰/۰۰۰۵
مرتع متراکم	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۱	۰/۹۹۹۴

نتایج نقشه پیش‌بینی تغییرات سال ۲۰۲۱ و ۲۰۲۸ نشان می‌دهد که با ادامه روند تغییرات، وسعت اراضی جنگلی در سال ۲۰۲۱ برابر با ۸۴/۰۵ کیلومترمربع (معادل ۶۱/۱ درصد کل حوزه) و در سال ۲۰۲۸ به ۷۸/۳۳ کیلومترمربع (معادل ۵۷ درصد کل حوزه) رسیده و اراضی مسکونی در سال ۲۰۲۱ برابر ۱۹/۱۸ کیلومترمربع (معادل ۱۳/۹۶ درصد کل حوزه)، و در سال ۲۰۲۸ به ۲۴/۳۸ کیلومترمربع (معادل ۱۷/۷۴ درصد کل

حوزه) خواهد رسید. مقایسه سال ۲۰۲۸ نسبت به سال ۲۰۱۴، نشان‌دهنده کاهش ۴/۲۹ درصد اراضی جنگلی و افزایش ۸/۰۴ درصد، مساحت مناطق مسکونی است. جدول ۵ مساحت و درصد کاربری اراضی پیش‌بینی شده برای سال‌های ۲۰۲۱ و ۲۰۲۸ را در صورت ادامه روند موجود تغییرات در منطقه را نشان می‌دهد (شکل ۵؛ جدول ۵).

جدول ۵. مساحت و درصد کاربری اراضی پیش‌بینی شده برای سال‌های ۲۰۲۱ و ۲۰۲۸

سال	۲۰۲۱		۲۰۲۸	
	مساحت (km ²)	درصد مساحت	مساحت (km ²)	درصد مساحت
جنگل متراکم	۷۴/۵۱	۵۴/۲۰	۷۳/۲۵	۵۳/۳
جنگل نیمه‌متراکم	۹/۵۴	۷	۵/۰۸	۳/۷
جنگل فقیر	۰	۰	۰	۰
مرتع متراکم	۰/۸۲	۰/۶	۰	۰
مرتع نیمه‌متراکم	۱۳/۲۳	۹/۶	۱۴/۴۷	۱۰/۵۱
مرتع فقیر	۱۹/۳۰	۱۴/۰۴	۱۹/۹۹	۱۴/۵۵
زراعت و کشاورزی	۰/۸۲	۰/۶	۰/۲۷	۰/۲
مسکونی	۱۹/۱۸	۱۳/۹۶	۲۴/۳۸	۱۷/۷۴



شکل ۵. نقشه پیش‌بینی تغییرات با استفاده از مدل زنجیره‌ای مارکوف (CA-Markov)

بحث و نتیجه گیری

تغییر کاربری اراضی به عنوان عاملی پایه در تغییرات زیست محیطی عمل کرده و به یک خطر جهانی تبدیل شده است. بازبینی این تغییرات از طریق تصاویر ماهواره ای و پیش بینی و ارزیابی پتانسیل آن‌ها از طریق مدل سازی می تواند به برنامه ریزان منابع طبیعی برای تصمیمات آگاهانه تر کمک کند. داشتن آمار و اطلاعات به هنگام از کاربری ها موجود، لازمه مدیریت صحیح عرصه های طبیعی است. یکی از مبانی مدیریت منابع طبیعی، اطلاعات مربوط به تغییرات کاربری اراضی است (۱۸). یکی از مهم ترین عوامل تأثیرگذار در سیل های استان مازندران، تغییرات کاربری اراضی و پوشش اراضی است. از این رو، تهیه نقشه های مدل سازی تغییرات کاربری اراضی برای مشخص کردن این مسئله که کجا، چگونه و چه زمانی تغییرات رخ داده اشتباه و ناقص است، از نظر کمک به فرآیند برنامه ریزی و تصمیم گیری مدیران حائز اهمیت است. لذا در تحقیق حاضر، تغییرات کاربری اراضی حوزه آبخیز صفارود رامسر در سه بازه زمانی ۱۹۸۶، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۴ با استفاده از تصاویر لندست ارزیابی شد و با استفاده از مدل زنجیره مارکوف، تغییرات کاربری اراضی برای سال ۲۰۲۱ و ۲۰۲۸ پیش بینی گردید. با توجه به نتایج آشکار سازی، در دوره مطالعاتی ۲۸ ساله، نتایج نشان داد در فاصله زمانی ۲۰۱۴-۱۹۸۶، اراضی جنگلی، مراتع متراکم، اراضی کشاورزی به ترتیب به میزان ۱۰/۲۶، ۷/۳ و ۱/۴ درصد کاهش و در مقابل اراضی مرتعی فقیر و اراضی مسکونی به ترتیب ۵/۶۸ و ۳/۲۷ افزایش داشته اند. این نتایج نشان می دهد، بیشترین تخریب در اراضی جنگلی صورت گرفته است. ادامه این روند می تواند به تشدید آسیب های زیست محیطی و کاهش هر چه بیشتر سطح اراضی جنگلی در منطقه منجر شود.

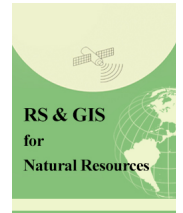
نتایج این پیش بینی می تواند هشدار برای وضعیت کاربری ها در آینده باشد. اصلی ترین قابلیت مدل مارکوف توانایی آن ها در پیش بینی آینده بر اساس وضعیت تغییرات در گذشته است. نتایج حاصل از ماتریس پیش بینی تغییرات بر

مبنای نقشه های سال های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۴ نشان داد که احتمال می رود در فاصله زمانی ۲۰۱۴-۲۰۲۸، اراضی جنگلی و اراضی مرتعی به ترتیب به میزان ۴/۹۲ و ۱/۷ درصد کاهش و در مقابل اراضی مسکونی به میزان ۸/۰۴ درصد افزایش و اراضی کشاورزی به میزان ناچیزی تغییر یابد. این موضوع نشان دهنده این است که در مناطق شمالی به علت افزایش ساخت و سازهای بی رویه روزه روز از اراضی جنگلی کاسته و به اراضی مسکونی افزوده می گردد، که این موضوع را می توان مرتبط با کمبود قوانین گویا در زمینه تغییر کاربری اراضی در کشور دانست. نتایج به دست آمده در این تحقیق اراضی جنگلی روند نزولی داشته است و مناطق جنگلی به میزان ۴/۹۲ درصد تخریب گردید که با نتایج حاصل از پژوهش های عزیزی قلاتی و همکاران (۴) در حوزه کوهمره سرخی استان فارس که بیشترین تغییر کاربری در ناحیه جنگل بوده هم راستا است. همچنین روند افزایش مناطق مسکونی به میزان ۸/۰۴ درصد نسبت به گذشته که این امر نشان دهنده تخریب مناطق مرتعی و جنگلی و تبدیل به کاربری مسکونی است. نتایج این تحقیق با نتایج تحقیقات یوسفی و همکاران (۱۱) مطابقت دارد. آن ها نیز تغییر کاربری را برای ۱۴ سال آینده پیش بینی کرده اند که نتایج حاکی از آن است که اراضی کشاورزی و آبی و دیم روند کاهشی و اراضی شهری و بایر روند افزایشی خواهند داشت. ممبئی و همکاران (۸) نیز در تحقیقی در حوزه شوشتر خوزستان، از میزان اراضی مرتع و دیم به ترتیب ۲۱/۱۲ و ۲۱٪ درصد مساحت تشکیل دهنده هر کاربری کاسته و بر مناطق مسکونی افزوده شده است، که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. اصلاح و همکاران (۱) در برآورد تغییرات کاربری اراضی از داده های لندست، مدل مارکوف استفاده کردند. آن ها بیان داشتند که پیش بینی تغییرات کاربری با مدل مارکوف قابل قبول است، که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.

بهره گیری از مدل مارکوف در پیش بینی تغییرات و تهیه نقشه پیش بینی تغییرات کاربری های مختلف از جنبه های مهم نوآوری این مطالعه محسوب می شود. نقشه های شبیه سازی شده در این بررسی می تواند راهنمای مناسبی برای مدیران و

۸. ممینی، م. و ح. ر. عسگری. ۱۳۹۷. پایش، بررسی و پیش‌بینی روند تغییرات مکانی کاربری اراضی / پوشش زمین با استفاده از مدل زنجیره‌ای مارکوف (مطالعه موردی: شوشتر-خوزستان). فصلنامه اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، ۲۷(۱۰۵): ۳۵-۴۷.
۹. میرزایی زاده، و. م. نیک نژاد و ج. اولادی قادیکلایی. ۱۳۹۴. ارزیابی الگوریتم‌های طبقه‌بندی نظارت شده غیرپارامتریک در تهیه نقشه پوشش زمین با استفاده از تصاویر لندست ۸. نشریه سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۶(۳): ۲۹-۴۴.
۱۰. میرعلیزاده فرد، س. ر. و س. م. علی بخشی. ۱۳۹۵. پایش و پیش‌بینی روند تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل زنجیره مارکوف و مدل‌ساز تغییر کاربری اراضی (مطالعه موردی: دشت برتش دهلران، ایلام). نشریه سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۷(۲): ۳۳-۴۵.
۱۱. یوسفی، م. ج. مکانیکی، ع. اشرفی و ن. نیسانی سامانی. ۱۳۹۶. آشکارسازی و مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور، مدل زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار (مطالعه موردی: شهر بجنورد). مجله آمایش جغرافیایی فضا، ۷(۲۶): ۱-۱۶.
12. Du Y, Teillet PM, Cihlar J. 2002. Radiometric normalization of multitemporal high-resolution satellite images with quality control for land cover change detection. *Remote sensing of Environment*, 82(1): 123-134.
13. Eastman JR, McKendry JE, Fulk MA. 1994. Change and time series analysis. *Unitar*. United Nations Institute for Training and Research, 325 pp.
14. Eastman JR. 2006. *IDRISI Andes guide to GIS and image processing*. Clark University, Worcester, 328 pp.
15. Gross J, Nemani R, Turner W, Melton F. 2006. Remote sensing for the national parks. *Park Science*, 24(1): 30-36.
16. Guan D, Gao W, Watari K, Fukahori H. 2008. Land use change of Kitakyushu based on landscape ecology and Markov model. *Journal of Geographical Sciences*, 18(4): 455-468.
17. Khoi DD, Murayama Y. 2010. Forecasting areas vulnerable to forest conversion in the Tam Dao National Park Region, Vietnam. *Remote sensing*, 2(5): 1249-1272.
18. Kohonen T. 2012. *Self-organization and associative memory*. Springer Science & Business
- برنامه‌ریزان در بخش منابع طبیعی باشد. علاوه بر این، نقشه‌های کاربری شبیه‌سازی شده می‌توانند، به‌عنوان سامانه هشداردهنده پیامدها و تأثیر آینده تغییر کاربری مورد استفاده قرار گیرد.
- ### منابع مورد استفاده
- اصلاح، م.، س. ع. المدرسی، م. مفیدی فروش. ملک‌زاده بافقی. ۱۳۹۳. بررسی کارایی مدل زنجیره‌ای مارکوف در برآورد تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست. نخستین همایش ملی کاربرد مدل‌های پیشرفته تحلیل فضایی (سنجش‌ازدور GIS) در آمایش سرزمین، ۵ و ۶ اسفندماه، یزد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد و شهرداری یزد، ۱۰ صفحه.
 - سادات ابراهیمی، ف و ا. کمالی. ۱۳۹۶. پیش‌بینی تغییرات احتمالی کاربری اراضی دشت جوپار با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای CA-Markov. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب‌و‌خاک، ۲۴(۴): ۲۵۹-۲۷۱.
 - شمسی‌پور، ع.، س. حیدری و ک. باقری. ۱۳۹۶. پایش روند تغییرات پوشش زمین در شهر کرمانشاه با مدل CA مارکوف. پژوهش‌های جغرافیایی برنامه‌ریزی شهری، ۳(۵): ۴۹۵-۵۱۴.
 - عزیزی قلاتی، س.، ک. رنگزن، ج. سدیدی، پ. حیدریان و ا. تقی‌زاده. ۱۳۹۵. پیش‌بینی روند تغییرات مکانی کاربری اراضی با استفاده از مدل زنجیره مارکوف-CA (مطالعه موردی: منطقه کوهمره سرخی استان فارس). نشریه سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۷(۱): ۵۹-۷۱.
 - علوی‌پناه، س. ک. ۱۳۹۷. کاربرد سنجش‌ازدور در علوم زمین (علوم خاک). چاپ اول، دانشگاه تهران، ۴۹۶ صفحه.
 - فرزادمهر، ج. ح. ارزانی، ع. ا. درویش صفت و م. جعفری. ۱۳۸۳. بررسی قابلیت داده‌های ماهواره لندست ۷ در برآورد تاج پوشش و تولید گیاهی (مطالعه موردی: منطقه نیمه استپی حنا - سمیرم). مجله منابع طبیعی ایران، ۵۷(۲): ۳۳۹-۳۵۲.
 - کریمی، ک.، غ. ر. زهتابیان، م. فرامرزی و ح. خسروی. ۱۳۹۵. پایش و تغییرات کاربری اراضی با استفاده از زنجیره‌های مارکوف به‌منظور پیش‌بینی آن (بررسی موردی: دشت عباس). مجله مرتع و آبخیزداری، ۶۹(۳): ۷۱۱-۷۲۴.

- Media, 3 illustrated, 312 pp.
19. Lambin EF. 1997. Modelling and monitoring land-cover change processes in tropical regions. *Progress in Physical Geography*, 21(3): 375-393.
 20. Lambin EF, Geist HJ. 2008. Land-use and land-cover change: local processes and global impacts. Springer Science & Business Media, 222 pp.
 21. Landis JR, Koch GG. 1977. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*: 159-174.
 22. Lausch A, Herzog F. 2002. Applicability of landscape metrics for the monitoring of landscape change: issues of scale, resolution and interpretability. *Ecological Indicators*, 2(1-2): 3-15.
 23. Li H, Reynolds J. 1997. Modeling effects of spatial pattern, drought, and grazing on rates of rangeland degradation: A combined Markov and cellular automaton approach. New York: Lewis Publishers, 211-230.
 24. Lillesand T, Kiefer RW, Chipman J. 2014. Remote sensing and image interpretation. John Wiley & Sons, 704 pp.
 25. Mitsova D, Shuster W, Wang X. 2011. A cellular automata model of land cover change to integrate urban growth with open space conservation. *Landscape and Urban Planning*, 99(2): 141-153.
 26. Richards JA, Richards J. 2013. Remote sensing digital image analysis, vol 3. Springer, doi: 10.1007/978-3-642-30062-2.
 27. Schulz JJ, Cayuela L, Echeverria C, Salas J, Benayas JMR. 2010. Monitoring land cover change of the dryland forest landscape of Central Chile (1975–2008). *Applied Geography*, 30(3): 436-447.
 28. Stevens D, Dragicevic S, Rothley K. 2007. iCity: A GIS–CA modelling tool for urban planning and decision making. *Environmental Modelling & Software*, 22(6): 761-773.
 29. Stephenne N, Lambin E. 2001. A dynamic simulation model of land-use changes in Sudano-sahelian countries of Africa (SALU). *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 85(1-3): 145-161.
 30. Suriya S, Mudgal B. 2012. Impact of urbanization on flooding: The Thirusoolam sub watershed–A case study. *Journal of Hydrology*, 412: 210-219.
 31. Tang J, Wang L, Yao Z. 2008. Analyses of urban landscape dynamics using multi-temporal satellite images: A comparison of two petroleum-oriented cities. *Landscape and Urban Planning*, 87(4): 269-278.
 32. Václavík T, Rogan J. 2009. Identifying trends in land use/land cover changes in the context of post-socialist transformation in central Europe: a case study of the greater Olomouc region, Czech Republic. *GIScience & Remote Sensing*, 46(1): 54-76.
 33. Wang Y, Mitchell BR, Nugranad-Marzilli J, Bonyng G, Zhou Y, Shriver G. 2009. Remote sensing of land-cover change and landscape context of the National Parks: A case study of the Northeast Temperate Network. *Remote Sensing of Environment*, 113(7): 1453-1461.
 34. Weng Q. 2002. Land use change analysis in the Zhujiang Delta of China using satellite remote sensing, GIS and stochastic modelling. *Journal of Environmental Management*, 64(3): 273-284.



Predicting locational trend of land use changes using CA-Markov model (Case study: Safarod Ramsar watershed)

N. Salehi^{1*}, M. R. Ekhtesasi¹, A. Talebi^{1,2*}

1. MSc. Graduated of Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University

2. Prof. Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University

ARTICLE INFO

Article history:

Received 15 July 2018

Accepted 2 April 2019

Available online 20 May 2019

Keywords:

Land use change

Change detection

Markov model

Satellite images

Safarood Watershed

ABSTRACT

Predicting land use changes using satellite imagery is now a useful tool for helping planners in complex situations. The purpose of this study was to detect and predict land use changes during the 28-year period (1986-2014) by CA-Markov model in the Safarood-Ramsar watershed of Mazandaran province. In this research, land use and NDVI maps were prepared using Landsat TM (1986), ETM⁺ (2000) and OLI (2014) satellite images. The accuracy of the CA-Markov model was estimated using the Kappa index of 87%. In order to calibrate the CA-Markov model, the land use map was prepared in 2014, and the Kappa coefficient of the mapping from modeling and user base map (2014) was 82%. The results showed that during the period between 1986 and 2014, the area of forest lands decreased by 10.26% and the total area of residential areas increased by 3.27%. The land use map for the years 2021 and 2028 was predicted by the CA-Markov model. The results showed that during the period 2014-2028, forested lands and rangelands decreased by 4.92% and 1.7%, respectively. Residential areas will increase by 8.04% and the agricultural land will change slightly, indicating the changes in land use to residential land.

* Corresponding author e-mail address: N.salehi88@ymail.com