



فصلنامه علوم محیطی، دوره هجدهم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹

۱۶۱-۱۸۲

پایش و مدل‌سازی تغییرهای زمانی - مکانی پوشش گیاهی با استفاده از NDVI و مدل CA-Markov (مطالعه موردی: شهرستان کرمانشاه)

شادمان درویشی^۱ و کریم سلیمانی^{۲*}

^۱ گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم محیطی، موسسه آموزش عالی آبان هراز آمل، مازندران، ایران
^۲ گروه مهندسی ابخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۲۲

درویشی، ش. و ک. سلیمانی. ۱۳۹۹. پایش و مدل‌سازی تغییرهای زمانی - مکانی پوشش گیاهی با استفاده از NDVI و مدل CA-Markov (مطالعه موردی: شهرستان کرمانشاه). فصلنامه علوم محیطی. ۱۸(۴): ۱۶۱-۱۸۲.

سابقه و هدف: امروزه با رشد جمعیت بیشتر فضاهای طبیعی دستخوش تغییرات کاربری زمین‌ها شده‌اند. در این میان، زمین‌ها پوشش گیاهی به دلیل تأثیر دیگر زمین‌ها بر روند تخریب آن و پیامدهای نامطلوب آن بر زندگی انسان و جانوران از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. توسعه منطقه‌های شهری به منظور برآوردن نیازهای ساخت‌وساز جمعیت رشد یافته و همچنین رشد زمین‌های کشاورزی برای تأمین امنیت غذایی انسان و پاسخگویی به نیازهای مصرف‌کنندگان از مهمترین دلایل تخریب زمین‌های پوشش گیاهی در یک منطقه است. امروزه رشد سریع فناوری سنجش از دور، GIS و همچنین علوم کامپیوتری موجب ظهور مدل‌های زیادی جهت ارائه الگوهای حال و آینده تغییرهای کاربری زمین‌ها بویژه زمین‌های پوشش گیاهی شده است. شهرستان کرمانشاه به عنوان یکی از منطقه‌های روبه رشد در سالیان اخیر دچار رشد جمعیت زیادی شده است و با توجه به نقش جمعیت در تغییرهای کاربری زمین‌ها و پوشش گیاهی بنابراین این مسئله ضرورت آگاهی از وضعیت پوشش گیاهی این ناحیه را جهت مدیریت صحیح منابع طبیعی می‌طلبد. پیرو این مسئله هدف مطالعه حاضر، پایش و پیش‌بینی تغییرات پوشش گیاهی شهرستان کرمانشاه با استفاده از سنجه NDVI و مدل CA-Markov است.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه تراکم پوشش گیاهی شهرستان کرمانشاه با استفاده از سنجه NDVI در چهار کلاس بدون پوشش گیاهی، ضعیف، متوسط و متراکم از تصاویر Landsat در سال‌های ۱۹۸۷، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۷ استخراج گردید و سپس نتایج با استفاده از نقاط کنترل زمینی، اعتبارسنجی گردیدند. همچنین به منظور پیش‌بینی تراکم پوشش گیاهی برای سال ۲۰۳۲ ابتدا نقشه پوشش گیاهی سال ۲۰۱۷ با اعمال مدل CA-Markov شبیه‌سازی گردید و سپس نتایج با استفاده از نقشه واقعی پوشش گیاهی همان سال با کمک ماژول validate در نرم‌افزار IDRISI Terrset اعتبارسنجی گردید و در ادامه پیرو نتایج اعتبارسنجی و با اعمال مدل بیان شده نقشه تراکم پوشش گیاهی در سال ۲۰۳۲ پیش‌بینی گردید.

نتایج و بحث: نتایج بررسی نقشه‌های پوشش گیاهی با دقت بیش از ۸۷ درصد نشان می‌دهد که مساحت طبقه‌های بدون پوشش گیاهی، ضعیف و متراکم در دوره‌ی ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۷ روند کاهشی و پوشش گیاهی متوسط دارای روند افزایشی بوده است. تغییرهای مکانی

* Corresponding Author: *Email Address*. K.solaimani@sanru.ac.ir
<http://doi.org.10.52547/envs.18.4.161>

پوشش گیاهی طی دوره‌ی ۳۰ سال نشان می‌دهد که نواحی بدون پوشش گیاهی، پوشش گیاهی ضعیف و متوسط در طبقات ارتفاعی ۱۰۴۲ تا ۱۵۸۷، ۱۵۸۷ تا ۲۱۳۳ و ۲۱۳۳ تا ۲۶۷۸ متری روند افزایشی و پوشش گیاهی متراکم نیز در طبقه‌های ۱۰۴۲ تا ۱۵۸۷ روند افزایشی ولی در طبقات ۱۵۸۷ تا ۲۱۳۳ و ۲۶۷۸ تا ۳۲۲۴ متری روند کاهش داشته است. همچنین تراکم پوشش گیاهی در طبقه‌های شیب نشان می‌دهد که شیب ۰ تا ۲۵ درصد بیشترین و شیب‌های ۵۰ تا ۷۵ درصد و بیشتر از ۷۵ درصد کمترین تراکم پوشش گیاهی را داشته است و تغییرات پوشش گیاهی در شیب ۰ تا ۲۵ درصد بیشترین و در شیب‌های ۵۰ تا ۷۵ و بیشتر از ۷۵ درصد کمترین مقدار بوده است. همچنین نتایج مدل CA-Markov با دقت بیش از ۸۰ درصد در سال ۲۰۳۲ نشان می‌دهد که پوشش گیاهی ضعیف، بیشترین مساحت پوشش گیاهی را در شهرستان کرمانشاه خواهند داشت. روند افزایشی و کاهش طبقه‌های پوشش گیاهی نسبت به سال ۲۰۱۷ نشان می‌دهد که پوشش گیاهی ضعیف، کاهش و طبقات بدون پوشش گیاهی، پوشش گیاهی متوسط و متراکم روند افزایشی خواهند یافت. همچنین بررسی طبقه‌های پوشش گیاهی در طبقه‌های ارتفاعی و شیب نشان می‌دهد که در ارتفاعات ۱۰۴۲ تا ۱۵۸۷، ۱۵۸۷ تا ۲۱۳۳ و ۲۱۳۳ تا ۲۶۷۸ متری و طبقه‌های شیب ۰ تا ۲۵ درصد، پوشش گیاهی متوسط و متراکم پوشش غالب است ولی در ارتفاعات ۲۶۷۸ تا ۳۲۲۴ متری و شیب ۵۰ تا ۷۵ و بیشتر از ۷۵ درصد مساحت پوشش گیاهی ضعیف و نواحی بدون پوشش بیشتر از طبقات دیگر خواهد بود.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی یافته‌های این مطالعه نشان داد طبقه‌بندی سنجه NDVI با استفاده مقادیر میانگین، انحراف معیار سنجه بیان شده و همچنین داده‌های جانبی مانند داده‌های کنترل زمین برای تهیه نقشه پوشش گیاهی و همچنین مدل CA-Markov برای پیش‌بینی این تغییرات روش‌های دقیق بشمار می‌روند.

واژه‌های کلیدی: تراکم پوشش گیاهی، سلول خودکار، شیب، طبقه‌های ارتفاعی، کرمانشاه.

مقدمه

پوشش گیاهی به‌دلیل تأثیر دیگر زمین‌ها بر روند تخریب آن و پیامدهای نامطلوب آن بر زندگی انسان و جانوران از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Dadi et al., 2016; Bhat et al., 2017; Liu et al., 2019; Bento et al., 2020). توسعه منطقه‌های شهری به‌منظور برآوردن نیازهای ساخت‌وساز جمعیت رشد یافته و همچنین رشد زمین‌های کشاورزی برای تأمین امنیت غذایی انسان و پاسخگویی به نیازهای مصرف‌کنندگان از مهمترین دلایل تخریب زمین‌های پوشش گیاهی در یک منطقه است. تخریب زمین‌های پوشش گیاهی موجب ظهور پیامدهای مخربی در محیط زیست می‌شود که از جمله این پیامدها، افزایش دمای سطح زمین، شکل‌گیری پدیده جزایر حرارتی، وقوع سیلاب در صورت بارندگی شدید، شوری خاک و شکل‌گیری پدیده بیابان‌زایی، تغییرات اقلیمی، از بین رفتن زیستگاه حیات‌وحش و در نتیجه کاهش تنوع زیستی در یک ناحیه است و این امر موجب شده است که پایش تغییرات پوشش گیاهی به یکی از مطالعات مهم و ضروری در علوم محیطی و طبیعی تبدیل شود (Tarigan, 2016; Liu and Shi, 2017; Choudhury

پایش و ارزیابی وضعیت پدیده‌های سطح زمین یکی از نیازهای اساسی در بررسی تغییرهای ایجادشده در سطح-های مختلف جهانی، منطقه‌ای و محلی است که شامل تغییرهای محیط زیستی و اقلیمی می‌باشد (Anonymous, 2019). داده‌ها و اطلاعات مربوط به نقشه‌های کاربری زمین-ها در مقیاس‌های مختلف، بخش مهمی از پایگاه داده‌های مکانی مربوط به اطلاعات محیط زیستی هستند که در مدل‌سازی تغییرات، حفاظت و مدیریت اکوسیستم، درک بهتر روابط و کنش‌های متقابل بین انسان و محیط طبیعی جهت استفاده بهینه از منابع نقش مهمی دارند (Lu et al., 2004; Salehi et al., 2019). امروزه با رشد جمعیت، بیشتر فضاهای طبیعی دستخوش تغییرات عمده شده‌اند. عمده تغییرات فضاهای طبیعی شامل تغییرهای کاربری زمین‌ها می‌باشد که به‌دلیل عامل‌های طبیعی یا انسانی در طول زمان در یک محیط به وجود می‌آید که سهم عامل‌های انسانی به‌مراتب بیش از عامل‌های طبیعی است. روند تغییرات طبقه‌های مختلف زمین‌ها منجر به تخریب برخی از طبقات زمین‌های دیگر می‌شود که در این میان زمین‌های

آبخیز ونیت در استان ایلام بررسی و پیش‌بینی کردند. نتایج نشان داد ۱۲۳۳/۴ و ۲۱۰/۴ هکتار به ترتیب از اراضی پوشش گیاهی تنک و متراکم به اراضی بدون پوشش گیاهی تبدیل شده است. همچنین ۲۴۶/۲ و ۳۸/۸ هکتار از وسعت زمین‌های بدون پوشش به‌ترتیب به زمین‌های با پوشش گیاهی تنک و متراکم تبدیل شده است. نتایج پیش‌بینی تغییرات پوشش گیاهی برای سال ۲۰۲۰ نشان می‌دهد زمین‌های بدون پوشش گیاهی سطحی معادل ۸۷ درصد این منطقه را به خود اختصاص خواهند داد در حالی که در سال ۱۹۸۸ و ۲۰۰۲ به‌ترتیب ۶۲ درصد و ۷۱ درصد زمین‌ها بدون پوشش گیاهی بوده است. (Yu et al., 2017) در تحقیقی پوشش گیاهی شمال چین را با استفاده از سنجه NDVI بررسی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که طی دوره‌ی مورد مطالعه (۱۹۸۲ تا ۲۰۱۵) پوشش گیاهی این ناحیه، تغییرهای قابل توجهی داشته است. همچنین طی این دوره، تغییرهای اقلیمی مانند خشک‌سالی، رشد پوشش گیاهی این ناحیه را محدود کرده است. (Wang et al., 2018) در تحقیقی تغییرهای سنجه NDVI در حوضه آبخیز Weihe را با استفاده از مدل CA-Markov پیش‌بینی کردند. نتایج نشان داد تراکم پوشش گیاهی در منطقه سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۵ در وضعیت خوب است. همچنین نتایج پیش‌بینی برای سال ۲۰۲۰ نشان داد که مساحت مناطق دارای مقادیر بالای NDVI نسبت به سال ۲۰۱۵ حدود ۱۳/۶۰ درصد بیشتر شده است. (Rokni et al., 2019) در تحقیقی یک سنجه جدید را برای پایش تغییرات پوشش گیاهی معرفی کردند. نتایج نشان داد سنجه جدید نسبت به سنجه‌های NDVI و EVI از دقت بالاتری برای پایش تغییرهای پوشش گیاهی برخوردار است. (Zhang et al., 2020) مقاله‌ای تغییرهای زمانی-مکانی پوشش گیاهی را با استفاده از محصولات NDVI داده‌های AVHRR GIMMS و MODIS بررسی کردند. نتایج نشان داد که داده‌های MODIS و AVHRR برای پایش تغییرهای پوشش گیاهی نتایج متفاوتی را بیان می‌کند و داده‌های GIMMS و

et al., 2019; Du et al., 2019; Ullah et al., 2019; Sun et al., 2020). برای پایش تغییرهای پوشش گیاهی، روش‌های سنتی به دلیل زمان‌بر و پرهزینه بودن و نیز کمبود داده و اطلاعات، به میزان کافی مؤثر نیستند. امروزه رشد سریع در علوم سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی و همچنین پیشرفت در علم رایانه و کاربرد آن در مطالعات محیطی سبب به وجود آمدن روش‌های مدل‌سازی مکانی جدیدی چون Cellular Automata، شبکه‌های عصبی هوشمند، رگرسیون لجستیک و مدل‌های آماری شده است (Clarke et al., 1997; Pijanowskia et al., 2002; Cheng and Masser, 2003; Subedi et al., 2013). در بین مدل‌های دینامیکی، مدل سلول‌های خودکار با تعیین احتمال تغییرهای پوشش زمین در فرآیند زنجیره مارکف و نیز شبیه‌سازی تغییرات مکانی آن از راه تعیین قوانین محلی با استفاده از فیلتر مکانی سلول‌های خودکار و نقشه شایستگی کاربری‌ها به مدل‌سازی تغییرات زمانی-مکانی پوشش زمین می‌پردازد و به یک ابزار مفید در زمینه‌ی برنامه‌ریزی محیطی تبدیل شده است (Lambin et al., 2001; Booth and Tueller, 2003; Mubea et al., 2010). این روش، ابزارهای عملی و مناسبی را به لحاظ دسترسی به داده‌ها در نواحی با مساحت زیاد نشان می‌دهد (Jiang et al., 2008; Jiménez-Muñoz et al., 2009). تاکنون مطالعات زیادی به منظور پایش و پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین با استفاده از مدل زنجیره مارکف و تکنیک سنجش از دور و GIS انجام شده است. (Mohammadyari et al., 2015) در مطالعه‌ای تغییرهای پوشش گیاهی شهرستان بهبهان را با استفاده از سنجش از دور و سنجه NDVI بررسی کردند. نتایج نشان داد تغییرات کمی و کیفی پوشش گیاهی در طی ۱۴ سال برای منطقه مورد مطالعه گسترده بوده است به‌طوری‌که زمین‌های با پوشش عالی، بسیار خوب و ضعیف، افزایش و مساحت زمین‌ها با پوشش خوب کاهش داشته است. (Mirzaeizadeh et al., 2016) در تحقیقی تغییرات تراکم پوشش گیاهی را با استفاده از سنجش از دور و مدل CA-Markov در حوضه

روند این تغییرها را در برنامه‌ریزی‌های آینده کاهش و مدیریت نمود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شهرستان کرمانشاه به‌عنوان مرکز استان کرمانشاه از لحاظ جغرافیایی در $47^{\circ} 4' 26''$ طول شرقی و $34^{\circ} 25' 19''$ عرض شمالی در غرب ایران قرار دارد (شکل ۱). مساحت این ناحیه 15647 کیلومترمربع است. ویژگی‌های اقلیمی مناسب مانند دمای هوای پایین و متوسط بارندگی سالانه (438 میلی‌متر) موجب شده است که تنوع پوشش زمین در این ناحیه بویژه در فصل بهار بسیار مناسب باشد. در سالیان اخیر رشد جمعیت این ناحیه بویژه جمعیت شهر کرمانشاه تأثیرهای مخربی را بر زمین‌های این ناحیه بویژه زمین‌های پوشش گیاهی داشته است و موجب تغییرات گسترده زمین‌های این ناحیه شده است (Shamsipour *et al.*, 2017; Hataminejad *et al.*, 2019). بنابراین آگاهی از الگوی تغییرها و تخریب زمین‌های این ناحیه به‌منظور مدیریت و برنامه‌ریزی مناسب لازم و ضروری است.

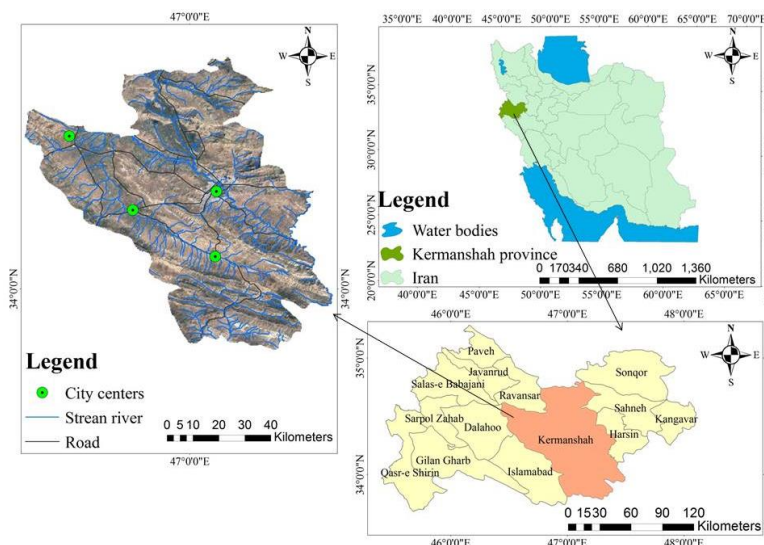
داده‌های ورودی

تصاویر Landsat به‌منظور ارزیابی نحوه‌ی استفاده از زمین مفیدند و از این تصاویر در بسیاری مطالعات محیطی به‌منظور مطالعه و بررسی وضعیت پوشش گیاهی استفاده شده است. در این مطالعه تصاویر لندست و لایه DEM از سایت سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده در ردیف ۳۶ و گذر ۱۶۷ دریافت شدند. سپس از این تصاویر و لایه DEM به ترتیب برای استخراج سنجه NDVI و پایش مکانی تغییرهای پوشش گیاهی در طبقه‌های ارتفاعی استفاده شد. هم‌چنین از نقشه توپوگرافی با مقیاس $1:250000$ نقشه کاربری زمین‌ها (دریافت شده از اداره منابع طبیعی و آبخیزداری استان کرمانشاه) تصاویر گوگل ارث و نقاط کنترل زمینی برای تصحیح هندسی تصاویر، تهیه نقشه پوشش گیاهی و ارزیابی صحت کلی نقشه‌ها استفاده شد (جدول ۱).

MODIS دارای توزیع مکانی و زمانی مکمل هستند. Mustafa (2020) در مطالعه‌ای، تغییرهای پوشش گیاهی منطقه کردستان در عراق را با استفاده از محصول‌های MOD13Q1-MODIS بررسی کرد. نتایج این مطالعه نشان داد که بیشترین تراکم پوشش گیاهی در بخش‌های شمال شرق تا جنوب شرق توزیع شده است و بخش‌های شرقی کمترین تراکم پوشش گیاهی را دارد.

بازنگری ادبیات تحقیق و مطالعات مرتبط نشان می‌دهد، بررسی تغییرات پوشش گیاهی گامی مؤثر برای مدیریت و کنترل این تغییرها است. از این‌رو در هر یک از این مطالعات، تغییرهای پوشش گیاهی با استفاده از یک روش خاص مورد بررسی قرار گرفته است. وجه شباهت مطالعات مرتبط با مطالعه حاضر استفاده از سنجه NDVI و مدل CA-Markov برای پایش و پیش‌بینی تغییرهای پوشش گیاهی است. ولی وجه تفاوت این مطالعه با مطالعات مرتبط پایش و پیش‌بینی کمی و کیفی پوشش گیاهی در چهار کلاس بدون پوشش گیاهی، ضعیف، متوسط و متراکم و همچنین تحلیل و مدل‌سازی تغییرات و تبدیل‌های کلاس‌های پوشش گیاهی در طبقه‌های ارتفاعی و شیب طی دوره‌ی مورد مطالعه است. به‌عبارت‌دیگر تغییرهای پوشش گیاهی در این مطالعه به‌طور دقیق پایش و پیش‌بینی شده است.

شهرستان کرمانشاه به‌عنوان یکی از منطقه‌های پرجمعیت و روبه رشد در غرب کشور در سالیان اخیر دچار رشد جمعیت زیادی شده است و مطابق بررسی‌های انجام شده تغییرات جمعیت و رشد شهر کرمانشاه موجب تخریب بیش از 10 هکتار از زمین‌های پوشش گیاهی، زمین‌های کشاورزی و باغ‌های این ناحیه شده است که تمامی این تغییرها به‌دلیل وجود نداشتن برنامه‌ریزی صحیح، نبود توجه کافی به تغییرهای پوشش زمین و کمبود مطالعات پوشش زمین در این ناحیه بوده است (Shamsipour *et al.*, 2017; Hataminejad *et al.*, 2019). بنابراین ضروری است که روند تغییرهای پوشش گیاهی این ناحیه مورد بررسی قرار گیرد و هم‌چنین با بیان الگوی تغییرهای آینده پوشش گیاهی، بتوان



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی شهرستان کرمانشاه
 Fig. 1- Geographic location of Kermanshah City

جدول ۱- ویژگی‌های داده‌های مورد استفاده

Table 1. Characteristics of the used data

تاریخ Date	سنجنده sensor	داده Data	تاریخ Date	سنجنده sensor	داده Data
2017	-	نقشه توپوگرافی Topography map	1987, 2002, 2017	TIRS/OLI TM	تصاویر لندست Landsat images
1987, 2002, 2017	-	تصاویر گوگل ارث Google earth images	2012	Aster	لایه DEM DEM layer
1987, 2002, 2017	-	نقاط کنترل زمینی Ground control points	2017	-	نقشه کاربری زمین‌ها Land use map

مقادیر Digital Number تصاویر به Radiance و اعمال الگوریتم Fast Line of sight Atmospheric Analysis of Hypercube در محیط نرم‌افزار ENVI5.3 انجام گردید.

سنجه تفاضل نرمال شده‌ی پوشش گیاهی

با توجه به بازتاب طیفی پوشش گیاهی در محدوده‌ی طول موج‌های قرمز و مادون قرمز، سنجه NDVI در بسیاری از مطالعات محیطی برای بررسی وضعیت پوشش گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در حقیقت سنجه NDVI یکی از سنجه‌های دقیق در پایش و استخراج پوشش گیاهی است (Sobrino et al., 2004; Campbell and Wynne, 2011).

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

پیش پردازش تصاویر

در مطالعه حاضر ابتدا پیش پردازش تصاویر شامل تصحیحات هندسی، رادیومتریک و اتمسفری در محیط نرم‌افزارهای ENVI5.3 و ARCGIS10.4 انجام گرفت. برای انجام تصحیحات هندسی تصاویر ابتدا تصویر سال ۲۰۱۷ با استفاده نقاط کنترل زمین و نقشه توپوگرافی با خطای میانگین مربعات کمتر از ۰/۷ پیکسل زمین مرجع گردید (Pal and Ziaul, 2019). سپس با اعمال روش Image to Image تصحیح هندسی تصاویر سال ۱۹۸۷ و ۲۰۰۲ با استفاده از تصویر زمین مرجع شده‌ی ۲۰۱۷ در محیط نرم‌افزار ENVI5.3 انجام شد و مختصات تصاویر به مختصات واقعی زمین (WGS1984UTM 38N) تبدیل شدند (Joorabian Shoostari and Gholamalifard, 2015). در ادامه، تصحیحات رادیومتریک و اتمسفری با تبدیل

کلاس بدون پوشش گیاهی طبقه‌بندی گردیدند. لازم به بیان است در مطالعات پوشش گیاهی که از روش آستانه‌گذاری استفاده شده است، بیشتر ارزش‌های بزرگتر از ۰/۲ به‌عنوان منطقه‌های دارای پوشش گیاهی و مقادیر کمتر از ۰/۲ به‌عنوان منطقه‌های بدون پوشش گیاهی تعریف شده است (Hashemi *et al.*, 2013; Adayeri *et al.*, 2019; Solaimani *et al.*, 2017). بعد از تفکیک مناطق پوشش گیاهی از مناطق بدون پوشش گیاهی در ادامه با استفاده از مقادیر میانگین و انحراف معیار سنجه NDVI و همچنین داده‌های جانبی (داده‌های کنترل زمینی، نقشه‌های وکتوری کاربری زمین‌ها و تصاویر گوگل ارث) طبقه‌های پوشش گیاهی ضعیف، متوسط و متراکم از سنجه بیان شده استخراج گردید و به‌طور کلی سنجه NDVI در چهار کلاس بدون پوشش گیاهی، ضعیف متوسط و متراکم طبقه‌بندی گردید (جدول‌ها ۲ و ۳). همچنین لازم به بیان است کلاس‌بندی سنجه NDVI با استفاده از مقادیر میانگین و انحراف معیار سنجه بیان شده یکی از روش‌های دقیق برای تهیه نقشه پوشش گیاهی یک ناحیه محسوب می‌شود (Mohammadyari *et al.*, 2015; Karimi *et al.*, 2018).

در این رابطه، NDVI سنجه نرمال شده‌ی تفاضل پوشش گیاهی، RED باند قرمز و NIR باند مادون‌قرمز نزدیک در تصاویر است. ارزش‌های سنجه NDVI بین ۰+ و ۱- است. مقادیر ۰+ نشان‌دهنده‌ی پوشش گیاهی با تراکم بالا و مقادیر ۱- نشان‌دهنده‌ی وجود نداشتن پوشش گیاهی در منطقه است (Sobrino *et al.*, 2004).

طبقه‌بندی سنجه NDVI

در مطالعه حاضر برای طبقه‌بندی سنجه NDVI با توجه به ماهیت منطقه مورد مطالعه ابتدا با استفاده از داده‌های کنترل زمینی، نقشه‌های وکتوری کاربری زمین-های (این داده‌ها از اداره منابع طبیعی شهرستان کرمانشاه تهیه شد) و تصاویر گوگل ارث منطقه‌هایی که بدون پوشش گیاهی بودند مانند نواحی مسکونی اعم از شهری و روستایی، زمین‌های بایر و بدون پوشش، صخره‌ها، پهنه‌های آب و ... از دیگر منطقه‌ها با پوشش گیاهی در سطح شهرستان کرمانشاه مشخص گردیدند و با بررسی مقادیر طیفی این نواحی در سنجه NDVI، مشخص شد که ارزش‌های طیفی این منطقه‌ها کمتر از ۰/۲ می‌باشند. بنابراین این مناطق با استفاده از روش آستانه‌گذاری در

جدول ۲- ویژگی‌های طبقه‌های پوشش گیاهی

Table 2. Characteristics of vegetation classes

توضیحات Description	طبقه‌های پوشش گیاهی Vegetation classes
نواحی بایر، مسکونی، صخره، پهنه‌های آب، ماسه‌زار، زمین‌های شخم خورده بدون پوشش گیاهی Bare lands, Build up, Rock, Water bodies, Sand, Plowed lands without vegetation	بدون پوشش گیاهی No vegetation
دامنه‌های با پوشش گیاهی تنک، درختچه‌ها، چمن‌زارها Areas with sparse vegetation, Grasslands, Shrubs	پوشش گیاهی ضعیف Low vegetation
زمین‌های کشاورزی دیم، مرتع‌های مرغوب و استپی، مرتع‌های متوسط در کوهستان‌ها Rainfed agricultural lands, High quality and steppe rangelands, Medium rangelands in the mountains	پوشش گیاهی متوسط Medium vegetation
زمین‌های جنگلی مانند جنگل‌های راش، بلوط و پهن‌برگ، زمین‌های کشاورزی در مرحله رشد، کشاورزی آبی، Forest lands such as beech, oak and deciduous forests, Agricultural lands at the growth stage, Water agriculture	پوشش گیاهی متراکم Dense vegetation

جدول ۳- ارزش‌های سنجه NDVI

Table 3. The values of NDVI index

پوشش گیاهی متراکم Dense vegetation	پوشش گیاهی متوسط Medium vegetation	پوشش گیاهی ضعیف Low vegetation	بدون پوشش گیاهی No vegetation	سال Year
>0.540447	0.36 تا 0.54	0.2 تا 0.36	<0.2	1987
>0.604967	0.40 تا 0.60	0.20 تا 0.40	<0.2	2002
>0.595281	0.40 تا 0.59	0.2 تا 0.40	<0.2	2017

ارزیابی صحت طبقه‌بندی سنجه NDVI

در این مطالعه برای بررسی صحت کلی و ضرایب کاپای نقشه‌های پوشش گیاهی از داده‌های کنترل زمینی و نقشه کاربری زمین‌های شهرستان کرمانشاه استفاده شد و سپس صحت کلی، صحت کاربر، صحت تولیدکننده و ضرایب کاپای هر نقشه با توجه به روابط (۲) و (۳) محاسبه شدند (Tilahun and Teferie, 2015; Malarvizhi et al., 2016; Darvishi et al., 2019).

$$OA = \frac{1}{N(\sum P_{ij})} \quad (2)$$

$$k = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ji} - \sum_{i=1}^r (X_i + X + i)}{N^2 - \sum_{i=1}^r (X_i + X + j)} \quad (3)$$

در رابطه ۲، OA صحت کلی، N تعداد کل پیکسل‌ها و $\sum P_{ij}$ مجموع پیکسل‌های درست طبقه‌بندی شده و در رابطه ۳، r تعداد سطرها و ستون‌ها در ماتریس ابهام، X_{ij} ماتریس ابهام، $X_i + i$ و $X + i$ به ترتیب مجموع کل سطر i و ستون j و N تعداد کل پیکسل‌ها است (Smits et al., 1999; Mather and Tso, 2009).

آماده‌سازی لایه‌ها

در مطالعه حاضر برای پایش مکانی تغییرهای پوشش گیاهی در طبقه‌های ارتفاعی از لایه‌ی DEM منطقه مورد مطالعه استفاده شد. لایه مربوطه از سایت سازمان زمین‌شناسی ایلات متحده مربوط به سال ۲۰۱۲ و سنجنده Aster با دقت ۳۰ متر دریافت گردید و در محیط ARCGIS10.4 ارزش‌های این لایه به چهار طبقه مساوی تقسیم‌بندی گردید. همچنین از لایه DEM لایه‌ی شیب نیز استخراج شد و این لایه نیز به چهار کلاس طبقه‌بندی شد و سپس میزان تغییرهای پوشش گیاهی در هر یک از این طبقه‌ها بررسی و میزان تغییرهای آن مورد مطالعه قرار گرفت.

شبیه‌سازی و مدل‌سازی تغییرهای

پوشش گیاهی

بررسی تغییرهای پوشش گیاهی یکی از مهمترین عامل‌های مؤثر در مدیریت منابع است و با پیش‌بینی این

تغییرها می‌توان به روند الگوی تغییرهای آینده پوشش گیاهی پی برد و با به‌کارگیری این الگوها در برنامه‌ریزی‌های آینده می‌توان اقدام‌های مقتضی را در جهت کاهش این منابع انجام داد (Jenerette and Wu, 2001; Hathout, 2002). امروزه یکی از مدل‌های پرکاربرد در پیش‌بینی تغییرهای کاربری‌های زمین‌ها و بویژه پوشش گیاهی مدل زنجیره‌ی مارکف است که در بسیاری از مطالعات محیطی به منظور پیش‌بینی تغییرهای کاربری زمین‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. مدل زنجیره مارکف یک مدل فرآیند تصادفی است که احتمال تغییر یک نوع کاربری زمین را به کاربری دیگر با استفاده از یک ماتریس احتمالی گذار توصیف می‌کند و هر تغییر حالت به‌عنوان یک گام تعریف می‌شود. ادغام حالت‌های همسایه از طریق ترکیبی از رویکردهای Markov و Cellular Automata (CA-Markov) می‌تواند مدل‌هایی را که الگوهای پیچیده طبیعی را توصیف می‌کنند، بهبود دهد (Cabral and Zamyatin, 2009; Guan et al., 2011).

$$\sum_{i=1}^m P_{ij} = 1 \quad i = 1, 2, \dots$$

$$P = (P_{ij}) = P \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{1m} \\ P_{21} & P_{22} & P_{2m} \\ P_{m1} & P_{m2} & P_{mm} \end{pmatrix} \quad (4)$$

در رابطه ۴، P_{ij} احتمال انتقال یک پیکسل از یک کاربری به کاربری دیگر و m نوع کاربری در منطقه است. مقادیر ارزش P_{ij} بین ۰-۱ است (Quintero et al., 2016). برای انجام فرآیند پیش‌بینی تغییرهای پوشش گیاهی ابتدا با استفاده از ماتریس احتمال انتقال نقشه‌های سنجه NDVI مربوط به سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۰۲، نقشه پوشش گیاهی سال ۲۰۱۷ شبیه‌سازی شد. سپس با استفاده از نقشه واقعی سال ۲۰۱۷ اعتبارسنجی گردید و در ادامه با توجه به نتایج اعتبارسنجی و با استفاده از ماتریس احتمال انتقال نقشه‌های سنجه NDVI در سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۱۷ نقشه پوشش گیاهی سال ۲۰۳۲ در چهار کلاس پیش‌بینی گردید (Mirzaeizadeh et al., 2016; Emami and Emami, 2017; Shayesteh

(and Mohammadyary, 2018; Wang *et al.*, 2018)

اعتبارسنجی مدل

اعتبارسنجی نتایج، یکی از مهمترین اقدام‌های مؤثر در دادن اطلاعات دقیق و معتبر می‌باشد. از این‌رو مطالعه حاضر اعتبارسنجی نتایج نقشه شبیه‌سازی شده‌ی سال ۲۰۱۷ با استفاده از نقشه واقعی همان سال در محیط نرم‌افزار IDRISI Terrset و با استفاده از ماژول Validate انجام گرفت. اعتبارسنجی نتایج با این روش که به صورت مقایسه‌ای صورت می‌گیرد، در بسیاری از مطالعات مورد استفاده قرار گرفته است (Hendrik Prinz *et al.*, 2011; Memarian *et al.*, 2012; SurabuddinMondal *et al.*, 2016). این ماژول برای ارزیابی دقت مدل چهار ضریب کاپای K, K location Strata, K location, K no و K standard بیان می‌کند. در این آزمون، نسبت طبقه‌بندی صحیح نسبی را به طبقه‌بندی صحیح پیش‌بینی شده توسط شبیه‌سازی، بدون توجه به یک دقت ویژه بیان می‌کند، K location نشان می‌دهد که

چقدر از سلول‌های شبکه در موقعیت‌های صحیح خود قرار گرفته‌اند. K location strata بیان‌کننده‌ی میزان سلول‌هایی از شبکه است که به‌درستی طبقه‌بندی شده‌اند، K standard نسبت صحت واقعیت زمینی یک رویداد را به صحت پیش‌بینی مورد انتظار نشان می‌دهد (Pointius, 2000).

نتایج و بحث

در مطالعه حاضر به منظور ارائه نتایج دقیق، صحت کلی و ضرایب کاپای نقشه‌های پوشش گیاهی با استفاده از داده‌های کنترل زمین محاسبه شدند. صحت کلی نقشه‌ها در سال‌های ۱۹۸۷، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۷ به ترتیب ۹۱، ۸۹ و ۹۳ درصد و همچنین ضرایب کاپا برای سال‌های ۱۹۸۷، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۷ به ترتیب ۸۴، ۸۷ و ۹۱ درصد بوده است که این نتایج، گویای معتبر بودن نقشه‌های طبقه شده‌ی پوشش گیاهی است (جدول ۴). بعد از ارزیابی نتایج صحت طبقه‌بندی، تغییرهای پوشش گیاهی در چهار کلاس کیفی در طبقه‌های ارتفاعی و شیب مورد بررسی قرار گرفت.

جدول ۴- گزارش صحت کلی و ضرایب کاپای نقشه‌های پوشش گیاهی (درصد)
Table 4. Report of overall accuracy and kappa coefficient of vegetation maps (percent)

سال Year	صحت کلی Overall accuracy	صحت کاربر User's accuracy	صحت تولیدکننده Producer's accuracy				ضریب کاپا Kappa coefficient
			1	2	3	4	
1987	87	89	92	90	82	94	84
2002	90	95	81	90	93	86	87
2017	94	92	95	87	92	96	91

راهنمای جدول: ۱= بدون پوشش گیاهی، ۲= ضعیف، ۳= متوسط، ۴= متراکم

Table legend: 1= No vegetation, 2= Low, 3= Medium, 4= Dense

طبقه‌های بدون پوشش گیاهی و پوشش گیاهی متوسط از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۲ روند کاهشی و طبقه‌های با پوشش گیاهی ضعیف و متراکم روند افزایشی داشته است و همچنین این تغییرها برای دوره‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۷ به صورت روند کاهشی طبقه‌های با پوشش گیاهی ضعیف و متراکم و روند افزایشی طبقه‌های بدون پوشش گیاهی و

بررسی پوشش گیاهی در سنجه NDVI

مساحت طبقه‌های سنجه NDVI در طی دوره‌ی مورد مطالعه نشان می‌دهد که طبقه‌های با پوشش گیاهی ضعیف و متوسط، بیشترین و طبقه‌های با پوشش گیاهی متراکم و بدون پوشش، کمترین مساحت پوشش گیاهی را در شهرستان کرمانشاه داشته‌اند (شکل ۲). مساحت

پوشش گیاهی متوسط بوده است. در دوره ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۲ طبقه‌های بدون پوشش و پوشش گیاهی متوسط به ترتیب ۵/۲۲ و ۴/۴۴ درصد کاهش و پوشش گیاهی ضعیف و متراکم به ترتیب ۵/۷۲ و ۲/۴۶ درصد کاهش و کلاس‌های بدون پوشش گیاهی و پوشش گیاهی متوسط به ترتیب ۱/۱۰ و ۷/۰۸ درصد افزایش مساحت داشته‌اند (جدول ۵).

پوشش گیاهی متوسط بوده است. در دوره ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۲ طبقه‌های بدون پوشش و پوشش گیاهی متوسط به ترتیب ۵/۲۲ و ۴/۴۴ درصد کاهش و پوشش گیاهی ضعیف و متراکم در همین دوره به ترتیب ۷/۸۰ و ۱/۸۶ درصد افزایش یافته‌اند ولی در دوره

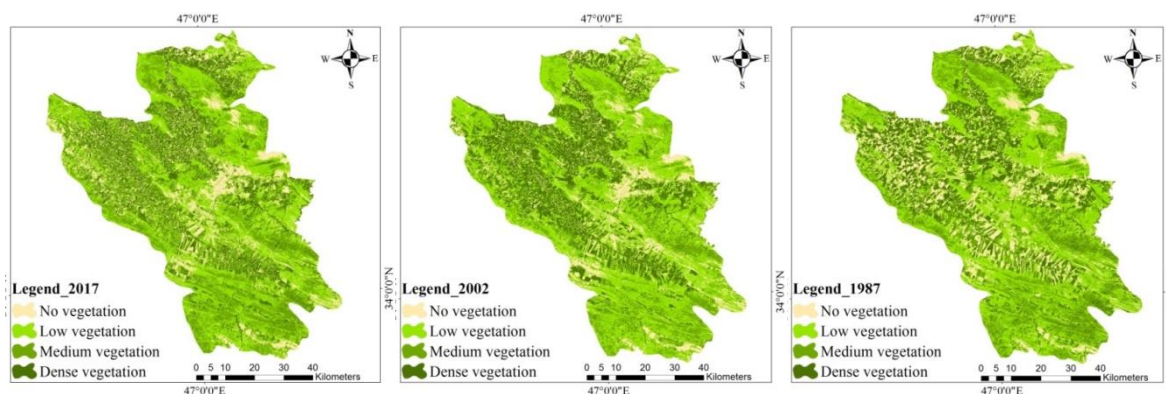
جدول ۵- مساحت طبقه‌های پوشش گیاهی در سنجه NDVI (کیلومتر مربع)

Table 5. Area of vegetation classes in NDVI index (km²)

سال	1	2	3	4	درصد	3	2	1	سال
Year	Percent	Percent	Percent	Percent	Percent	Percent	Percent	Percent	Year
1987	962.09	2265.48	1455.94	1075.17	16.71	39.34	25.28	18.67	1987
2002	662.14	2714.79	1199.46	1182.29	11.49	47.14	20.84	20.53	2002
2017	725.13	2385.65	1608.27	1039.63	12.59	41.42	27.92	18.07	2017
میزان تغییرات (1987 تا 2002)									میزان تغییرات (2002 تا 2017)
Amount of changes									Amount of changes
1.86									107.12
-4.44									-256.48
7.80									449.31
-5.22									-299.95
-2.46									-142.66
7.08									408.81
-5.72									-329.14
1.10									62.99

راهنمای جدول: ۱= بدون پوشش گیاهی، ۲= پوشش گیاهی ضعیف، ۳= پوشش گیاهی متوسط، ۴= پوشش گیاهی متراکم

Table legend: 1= No vegetation, 2= Low vegetation, 3= Medium vegetation, 4= Dense vegetation



شکل ۲- نقشه‌های پوشش گیاهی شهرستان کرمانشاه در دوره مورد مطالعه

Fig. 2- Vegetation maps in Kermanshah City during the studied period

داشتند. همچنین کلاس پوشش گیاهی ضعیف در طبقه‌ها ۱۰۴۲ تا ۱۵۸۷ و ۱۵۸۷ تا ۲۱۳۳ متری روند افزایشی را نشان می‌دهد. کلاس پوشش گیاهی متراکم نیز در طبقه ارتفاعی ۱۰۴۲ تا ۱۵۸۷ متری روند افزایشی و در طبقه‌های دیگر روند کاهشی داشته است (جدول ۶). همچنین تراکم پوشش گیاهی در طبقه‌های شیب در طی دوره مورد مطالعه نشان می‌دهد که شیب ۰ تا ۲۵ درصد بیشترین و شیب‌های ۵۰ تا ۷۵ و ۷۵ تا ۱۰۰ درصد کمترین تراکم پوشش گیاهی را دارند و پوشش گیاهی

پایین مکانی پوشش گیاهی در طبقه‌های ارتفاعی طی دوره ۳۰ ساله (۱۹۸۷ تا ۲۰۱۷) نشان می‌دهد که طبقه‌های ۱۰۴۲ تا ۱۵۸۷ و ۲۶۷۸ تا ۳۲۲۴ متری به ترتیب دارای بیشترین و کمترین تراکم پوشش گیاهی هستند. به عبارت دیگر با افزایش ارتفاع، تراکم پوشش گیاهی کاهش می‌یابد (جدول ۶). تغییرهای کیفی پوشش گیاهی در طبقه‌های ارتفاعی طی دوره ۳۰ ساله نشان می‌دهد که طبقه‌های بدون پوشش گیاهی و پوشش گیاهی متوسط در تمامی طبقه‌ها ارتفاعی به ترتیب روند کاهشی و افزایشی

مسئله با بررسی مساحت این طبقه‌ها در سال‌های مورد مطالعه به روشنی دیده می‌شود و مساحت این طبقه‌ها در شیب‌های پایین، زیاد اما در شیب‌های بالا به شدت کاهش می‌یابد که این امر در دو طبقه دیگر پوشش گیاهی کمتر دیده می‌شود.

ضعیف در تمامی طبقه‌های شیب، پوشش گیاهی غالب می‌باشد (جدول ۷). بررسی تراکم پوشش گیاهی در شیب‌های مختلف نیز نشان می‌دهد که پوشش گیاهی متوسط و متراکم با افزایش شیب منطقه بیشتر از دیگر طبقه‌ها پوشش گیاهی تحت تأثیر قرار می‌گیرد که این

جدول ۶- مساحت طبقه‌های پوشش گیاهی در طبقه‌های ارتفاعی (کیلومتر مربع)
Table 6. Area of vegetation classes in elevation classes (km²)

سال Year	طبقه‌های پوشش گیاهی / طبقه‌های ارتفاعی (متر) Vegetation classes / Elevation classes (meter)	1	2	3	4
1987	1587 تا 1042	676.81	1192.83	831.32	877.42
	2133 تا 1587	196.17	895.66	567.60	149.60
	2678 تا 2133	59.36	153.99	48.02	7.75
	3224 تا 2678	29.75	23.33	-	-
2002	1587 تا 1042	403.66	1454.35	767.01	1039.19
	2133 تا 1587	184.95	1091.25	387.99	141.69
	2678 تا 2133	46.59	162.85	41.63	1.41
	3224 تا 2678	26.94	6.34	2.83	-
2017	1587 تا 1042	508.40	1295.77	948.74	889.22
	2133 تا 1587	149.49	903.89	601.62	142.66
	2678 تا 2133	40.27	178.23	56.50	7.75
	3224 تا 2678	26.97	7.76	1.41	-

راهنمای جدول: ۱= بدون پوشش گیاهی، ۲= پوشش گیاهی ضعیف، ۳= پوشش گیاهی متوسط، ۴= پوشش گیاهی متراکم

Table legend: 1= No vegetation, 2= Low vegetation, 3= Medium vegetation, 4= Dense vegetation

جدول ۷- مساحت طبقه‌های پوشش گیاهی در طبقه‌های شیب (کیلومتر مربع)
Table 7. Area of vegetation classes in slope classes (km²)

سال Year	طبقه‌های پوشش گیاهی / طبقه‌های شیب (درصد) Vegetation classes / Slope classes (percent)	1	2	3	4
1987	0 تا 25	842.40	1663.75	1147.70	1031.78
	25 تا 50	80.96	450.87	260.43	37.98
	50 تا 75	28.17	117.05	42.05	4.12
	بیشتر از 75 More than 75	10.56	33.81	5.76	1.29
2002	0 تا 25	515.45	1987.02	995.01	1168.55
	25 تا 50	100.85	557.90	178.19	10.76
	50 تا 75	32.45	134.78	23.49	1.74
	بیشتر از 75 More than 75	13.39	35.09	2.77	1.24
2017	0 تا 25	623.62	1757.15	1289.14	1007.34
	25 تا 50	69.38	445.58	266.64	28.48
	50 تا 75	22.84	147.06	46.69	3.34
	بیشتر از 75 More than 75	9.29	35.86	5.80	0.47

راهنمای جدول: ۱= بدون پوشش گیاهی، ۲= پوشش گیاهی ضعیف، ۳= پوشش گیاهی متوسط، ۴= پوشش گیاهی متراکم

Table legend: 1= No vegetation, 2= Low vegetation, 3= Medium vegetation, 4= Dense vegetation

پیش‌بینی تغییرهای پوشش گیاهی

مدل استفاده‌شده در این مطالعه برای پیش‌بینی تغییرهای پوشش گیاهی شهرستان کرمانشاه، مدل CA-Markov می‌باشد. با توجه به ماهیت مدل CA-Markov برای شبیه‌سازی و مدل‌سازی تغییرات، ابتدا ماتریس پتانسیل احتمال انتقال نقشه‌های پوشش گیاهی در سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۰۲ تهیه شد و در ادامه با استفاده از این نقشه‌ها، نقشه پوشش گیاهی در سال ۲۰۱۷ شبیه‌سازی گردید و با استفاده از نقشه واقعی سال ۲۰۱۷ اعتبارسنجی شد، سپس بنابر نتایج اعتبارسنجی و با توجه به ماتریس احتمال انتقال کلاس‌های پوشش گیاهی در دوره‌ی مورد مطالعه نقشه پوشش گیاهی برای سال ۲۰۳۲ پیش‌بینی گردید. نتایج اعتبارسنجی مدل با ضرایب کاپای بیش از ۸۵ درصد گویای

معتبر بودن نتایج مدل برای شبیه‌سازی و مدل‌سازی تغییرهای پوشش گیاهی است (جدول ۸). بدیهی است هرچه مساحت طبقه‌های پوشش گیاهی در دو نقشه به یکدیگر نزدیکتر باشند، گویای معتبر بودن نتایج مدل می‌باشد. بعد از بررسی دقت مدل، ماتریس احتمال انتقال کلاس‌های پوشش گیاهی مورد بررسی قرار گرفت. ماتریس احتمال نشان می‌دهد که در دوره‌ی ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۲ بالاترین مقادیر ماتریس احتمال تبدیل، مربوط به کلاس‌های متوسط و ضعیف بوده که حدود ۰/۴۶ درصد از پوشش گیاهی متوسط به کلاس ضعیف تبدیل شده است. همچنین حدود ۰/۳۷ و ۰/۳۱ درصد به ترتیب کلاس بدون پوشش گیاهی به پوشش گیاهی متراکم و از کلاس متراکم به ضعیف در این دوره تبدیل شده است.

جدول ۸- گزارش اعتبارسنجی مدل CA-Markov (درصد)
Table 8. Report of validation of CA-Markov model (percent)

Information of location	Information of quantity			
	No[n]	Medium[m]	Perfect[p]	
Perfect [P(x)]	P(n)= 0.6642	P(n)= 0.9943	P(n)= 1.000	
Perfect stratum [K(x)]	K(n)= 0.6642	K(n)= 0.9943	K(n)= 1.000	
Medium grade [M(x)]	M(n)= 0.6158	M(n)= 0.9158	M(n)= 0.912	
Medium stratum [H(x)]	H(n)= 0.2000	H(n)= 0.3347	H(n)= 0.334	
No [N(x)]	N(n)= 0.2000	N(n)= 0.3347	N(n)= 0.334	
Agreement grid cell	0.5811	Disagree Grid cell	0.0758	
Agreement strata	0.0000	K standard	0.8735	
Agreement quantity	0.1347	K no	0.8947	
Agreement chance	0.2000	K location	0.8810	
Disagree quantity	0.0057	K location Strata	0.8810	
Disagree strata	0.0000			

ضعیف (۰/۲۳ درصد) و از پوشش گیاهی متوسط به ضعیف (۰/۲۲ درصد) تبدیل شده است. به‌طور کلی ماتریس تبدیل طبقه‌های پوشش گیاهی نشان می‌دهد که روند تبدیل کلاس بدون پوشش گیاهی به دیگر کلاس‌ها در دوره‌ی ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۲ بیشتر از دوره‌ی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۷ بوده است ولی این روند در کلاس متراکم وارونه بوده است و بیشترین تبدیلات کلاس متراکم در دوره‌ی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۷ بوده است (جدول ۹).

از طرف دیگر در دوره‌ی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۷، حدود ۰/۳۱ و ۰/۲۴ درصد به ترتیب از کلاس بدون پوشش گیاهی به پوشش گیاهی ضعیف و از کلاس پوشش گیاهی ضعیف به متوسط تبدیل شده که نشان‌دهنده‌ی روند تغییرهای مثبت پوشش گیاهی است. افزون بر وقوع تغییرهای مثبت پوشش گیاهی، تغییرهای منفی نیز در این دوره رخ داده است که عمده این تغییرها مربوط به کلاس‌های متوسط و متراکم بوده است و مقادیری از پوشش گیاهی متراکم به

جدول ۹- ماتریس احتمال تبدیل نقشه‌های پوشش گیاهی در دوره‌ی مورد مطالعه (درصد)
Table 9. Probability transition matrix vegetation maps in the studied period (percent)

دوره	طبقات پوشش گیاهی Vegetation classes			
	4	3	2	1
1987 تا 2002	0.37	0.14	0.17	0.31
	0.12	0.11	0.66	0.09
	0.11	0.37	0.46	0.04
	0.34	0.25	0.31	0.08
2002 تا 2017	0.11	0.08	0.31	0.49
	0.09	0.24	0.59	0.05
	0.19	0.51	0.22	0.06
	0.38	0.22	0.23	0.14

راهنمای جدول: ۱= بدون پوشش گیاهی، ۲= پوشش گیاهی ضعیف، ۳= پوشش گیاهی متوسط، ۴= پوشش گیاهی متراکم

Table legend: 1= No vegetation, 2= Low vegetation, 3= Medium vegetation, 4= Dense vegetation

تغییرهای پوشش گیاهی برای سال ۲۰۳۲

بررسی مساحت طبقه‌های پوشش گیاهی در نقشه پیش‌بینی شده برای سال ۲۰۳۲ نشان می‌دهد که همانند دوره‌های قبل، پوشش گیاهی ضعیف بیشترین مساحت پوشش گیاهی را در شهرستان کرمانشاه خواهد داشت. همچنین بررسی روند افزایشی و کاهش طبقه‌های پوشش گیاهی نشان می‌دهد که طبقه پوشش گیاهی ضعیف نسبت به سال ۲۰۱۷ کاهش و طبقه‌های بدون پوشش گیاهی، متوسط و متراکم افزایش خواهند یافت (شکل ۳). روند کاهش طبقه پوشش گیاهی ضعیف از سال ۲۰۱۷ تا ۲۰۳۲، ۲۳۹/۲۹ کیلومترمربع و روند افزایشی در طبقه‌های بدون پوشش، متوسط و متراکم به ترتیب ۱۳۳/۵۲، ۱۰۰/۳۴ و ۵/۴۳ کیلومترمربع خواهد بود (جدول ۱۰). همچنین تراکم پوشش گیاهی در طبقه‌های ارتفاعی و شیب‌های مختلف گویای آن است که همانند دوره‌های قبل، طبقه‌های ارتفاعی ۱۰۴۲ تا

۱۵۸۷ متری بیشترین و طبقه‌های ۲۶۷۸ تا ۲۱۳۳ و ۲۱۳۳ تا ۳۲۲۴ متری کمترین تراکم پوشش گیاهی را خواهند داشت و در طبقه‌های ارتفاعی نیز، ارتفاعات ۱۰۴۲ تا ۱۵۸۷، ۱۵۸۷ تا ۲۱۳۳ و ۲۱۳۳ تا ۲۶۷۸ متری بیشترین تراکم پوشش گیاهی مربوط به پوشش گیاهی ضعیف، متوسط و متراکم، اما در ارتفاعات ۲۶۷۸ تا ۳۲۲۴ متری، کمترین تراکم پوشش گیاهی مربوط به پوشش گیاهی متوسط و متراکم خواهد بود (جدول ۱۱).

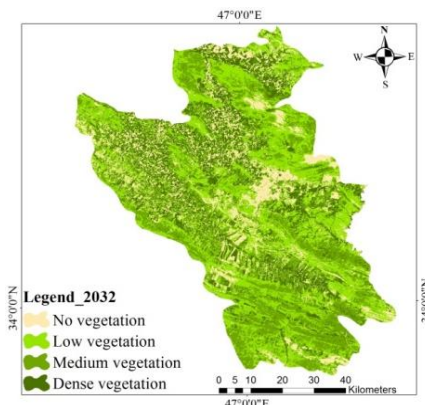
همچنین با بررسی نتایج پوشش گیاهی در طبقه‌های شیب، پیش‌بینی می‌شود که همانند سال‌های قبل بیشترین و کمترین تراکم پوشش گیاهی در شیب ۰ - ۲۵ و ۱۰۰ - ۷۵ درصد باشد و با افزایش شیب منطقه، تراکم پوشش گیاهی کاهش یابد و در شیب‌های ۵۰ تا ۷۵ و بیشتر ۷۵ درصد پوشش گیاهی ضعیف بیشتر از دیگر طبقه‌های خواهد بود (جدول ۱۲).

جدول ۱۰- مساحت طبقه‌های پوشش گیاهی در نقشه پیش‌بینی شده‌ی سال ۲۰۳۲ (کیلومترمربع)
Table 10. The area of vegetation classes in the projected map of 2032 (km²)

سال Year	1	2	3	4	درصد Percent	درصد Percent	درصد Percent	درصد Percent
2032	858.65	2146.36	1708.61	1045.06	14.91	32.27	29.67	18.14
تغییرهای پیش‌بینی شده (2017 تا 2032)	133.52	-239.29	100.34	5.43	2.32	-9.15	1.75	0.07
Projected changes								

راهنمای جدول: ۱= بدون پوشش گیاهی، ۲= پوشش گیاهی ضعیف، ۳= پوشش گیاهی متوسط، ۴= پوشش گیاهی متراکم

Table legend: 1= No vegetation, 2= Low vegetation, 3= Medium vegetation, 4= Dense vegetation



شکل ۳- نقشه پیش‌بینی‌شده‌ی پوشش گیاهی برای سال ۲۰۳۲

Fig. 3- Projected vegetation map in 2032

جدول ۱۱- مساحت پیش‌بینی‌شده طبقه‌های پوشش گیاهی در طبقه‌های ارتفاعی (کیلومتر مربع)

Table 11. Projected area of vegetation classes in elevation classes (km²)

4	3	2	1	پوشش گیاهی در طبقه‌های ارتفاعی (متر) Vegetation in elevation classes (meter)	سال Year
894.03	950.23	1166.61	625.78	1587 تا 1042	2032
143.95	691.93	833.18	164.27	2133 تا 1587	
7.08	65.75	141.64	38.13	2678 تا 2133	
-	0.70	4.93	30.47	3224 تا 2678	

راهنمای جدول: ۱= بدون پوشش گیاهی، ۲= پوشش گیاهی ضعیف، ۳= پوشش گیاهی متوسط، ۴= پوشش گیاهی متراکم
Table legend: 1= No vegetation, 2= Low vegetation, 3= Medium vegetation, 4= Dense vegetation

جدول ۱۲- مساحت پیش‌بینی‌شده طبقه‌های پوشش گیاهی در طبقه‌های شیب (کیلومتر مربع)

Table 12. Projected area of vegetation classes in slope classes (km²)

4	3	2	1	پوشش گیاهی در طبقه‌های شیب (درصد) Vegetation in Slope classes (percent)	سال Year
1018.64	1322.69	1591.05	751.58	25 تا 0	2032
23.71	325.60	408.81	76.02	50 تا 25	
2.50	54.10	111.28	21.74	75 تا 50	
0.21	6.22	35.22	9.31	بیشتر از 75 More than 75	

راهنمای جدول: ۱= بدون پوشش گیاهی، ۲= پوشش گیاهی ضعیف، ۳= پوشش گیاهی متوسط، ۴= پوشش گیاهی متراکم
Table legend: 1= No vegetation, 2= Low vegetation, 3= Medium vegetation, 4= Dense vegetation

پرشیب است. چراکه در این نواحی مطابق بررسی انجام شده پوشش گیاهی غالب از نوع ضعیف یا بدون پوشش گیاهی است و همچنین به دلیل دسترسی محدود انسان به این نواحی تغییرهای آن بسیار کم بوده است و عمده تغییرهای پوشش گیاهی این نواحی بیشتر به عامل‌های طبیعی و محیطی وابسته است. برای دوره‌ی پیش‌بینی‌شده (۲۰۱۷ تا ۲۰۳۲) نیز طبقه پوشش گیاهی ضعیف در چهار طبقه ارتفاعی، روند کاهشی خواهد داشت و طبقه بدون پوشش گیاهی و پوشش گیاهی متراکم نیز در ارتفاع‌های ۱۰۴۲

بررسی تغییرهای پوشش گیاهی نشان می‌دهد که بیشترین تغییرهای کاهشی پوشش گیاهی در دوره‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۲ و ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۷ به ترتیب مربوط به طبقه‌های بدون پوشش گیاهی و پوشش گیاهی ضعیف بوده است که بیشترین تغییرها در ارتفاعات ۱۰۴۲ تا ۱۵۸۷ و ۱۵۸۷ تا ۲۱۳۳ متری و شیب ۰ تا ۲۵ درصدی و کمترین تغییرها در طبقه‌های ارتفاعی ۲۶۷۸ تا ۳۲۲۴ متری و شیب بیش از ۷۵ درصدی رخ داده است (جدول‌های ۱۳ و ۱۴) که این مسئله به دلیل تراکم پایین پوشش گیاهی در ارتفاع‌های بلند و دامنه‌های

به‌منظور مشخص کردن تبدیل‌های هر کلاس پوشش گیاهی به کلاس دیگر از ابزار Crosstab در نرم‌افزار IDRISI Terrset استفاده شد و میزان تغییر و تبدیل هر کلاس پوشش گیاهی به کلاس دیگر با محاسبه ضریب کاپای تبدیلات استخراج گردید. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده با ضریب کاپای ۸۳ درصد، بیشترین تبدیلات مربوط به کلاس‌های پوشش گیاهی ضعیف و متوسط در دوره‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۲ و ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۷ بوده است. به‌عبارت‌دیگر در دوره‌ی ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۲ حدود ۶۶۹/۳۳ کیلومترمربع از پوشش گیاهی ضعیف به متوسط و در دوره‌ی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۷ حدود ۶۵۶/۸۴ کیلومترمربع از پوشش گیاهی متوسط به ضعیف تبدیل شده است. در دوره‌ی پیش‌بینی شده نیز بیشترین میزان تبدیل‌ها در همین کلاس‌ها (پوشش گیاهی متوسط و ضعیف) بوده که در این دوره ۲۴۵/۲۰ کیلومترمربع از پوشش گیاهی متوسط به ضعیف تبدیل خواهد شد. این روند تبدیل‌ها نشان می‌دهد در طی سه دوره‌ی بیان شده میزان تبدیل‌های منفی (از پوشش گیاهی متوسط و متراکم به پوشش گیاهی ضعیف و بدون پوشش گیاهی) بیشتر از تغییرهای مثبت (تبدیل طبقه‌ها بدون پوشش گیاهی و پوشش گیاهی ضعیف به پوشش گیاهی متوسط و متراکم) بوده است (جدول ۱۵).

تا ۱۵۸۷ و ۱۵۸۷ تا ۲۱۳۳ متری روند افزایشی اما در ارتفاعات ۲۱۳۳ تا ۲۶۷۸ متری روند کاهشی خواهند داشت. به‌طور کلی نتایج بررسی انجام‌شده در سه دوره (۱۹۸۷ تا ۲۰۰۲، ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۷ و ۲۰۱۷ تا ۲۰۳۲) گویای آن است که کلاس بدون پوشش گیاهی و پوشش گیاهی متوسط در دوره‌ی ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۲ بیشترین تغییرهای کاهشی و در همین دوره، کلاس پوشش گیاهی ضعیف بیشترین تغییرهای افزایشی را داشته است. از طرف دیگر کلاس پوشش گیاهی متوسط بیشترین تغییرهای افزایشی را در دوره‌ی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۷ داشته است و در دوره پیش‌بینی شده (۲۰۱۷ تا ۲۰۳۲) نیز بیشترین تغییرهای کاهشی و افزایشی به‌ترتیب مربوط به پوشش گیاهی ضعیف و متوسط خواهد بود. همچنین افزایش نواحی بدون پوشش گیاهی در این مطالعه به‌طور کامل با رشد جمعیت شهر کرمانشاه همسو بوده است چرا در دوره ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۲ که جمعیت این ناحیه کمتر بوده است، این نواحی نیز روند کاهشی داشته است ولی با رشد جمعیت این ناحیه در دوره‌ی بعدی (۲۰۰۲ تا ۲۰۱۷) نواحی بدون پوشش گیاهی در سطح شهرستان نیز افزایش یافته است و این روند در دوره‌ی ۲۰۱۷ تا ۲۰۳۲ نیز ادامه‌دار خواهد بود که این مطلب تأثیر مستقیم انسان بر تخریب پوشش گیاهی را نشان می‌دهد. همچنین

جدول ۱۳- تغییرهای پوشش گیاهی در طبقات ارتفاعی طی دوره‌ی مورد مطالعه (کیلومترمربع)

Table 13. Vegetation changes in elevation classes in the studied period (km²)

4	3	2	1	پوشش گیاهی در طبقات ارتفاعی (متر) Vegetation in elevation classes (meter)	دوره Period
161.77	-64.31	261.52	-273.15	1587 تا 1042	1987 تا 2002
-7.91	-179.61	195.59	-11.22	2133 تا 1587	
-6.34	-6.39	8.86	-12.77	2678 تا 2133	
-	2.83	-16.99	-2.81	3224 تا 2678	
-149.97	181.73	-158.58	104.74	1587 تا 1042	2002 تا 2017
0.97	213.63	-187.36	-35.46	2133 تا 1587	
6.34	14.87	15.38	-6.32	2678 تا 2133	
-	-1.42	1.42	0.03	3224 تا 2678	
4.81	1.49	-129.16	117.38	1587 تا 1042	2017 تا 2032
1.29	90.31	-70.71	14.78	2133 تا 1587	
-0.67	9.25	-36.59	-2.14	2678 تا 2133	
-	-0.71	-2.83	3.50	3224 تا 2678	(دوره پیش‌بینی شده) (Projected period)

راهنمای جدول: ۱= بدون پوشش گیاهی، ۲= پوشش گیاهی ضعیف، ۳= پوشش گیاهی متوسط، ۴= پوشش گیاهی متراکم

Table legend: 1= No vegetation, 2= Low vegetation, 3= Medium vegetation, 4= Dense vegetation

جدول ۱۴- تغییرهای پوشش گیاهی در طبقه‌های شیب طی دوره‌ی مورد مطالعه (کیلومتر مربع)

Table 14. Vegetation changes in slope classes in the studied period (km²)

4	3	2	1	در طبقه‌های شیب (درصد) پوشش گیاهی Vegetation in elevation classes (meter)	دوره Period
136.77	-152.69	323.27	-326.95	0 تا 25	1987 تا 2002
-27.22	-82.24	107.03	19.89	25 تا 50	
-2.38	-18.56	17.73	4.28	50 تا 75	
-0.05	-2.99	1.28	2.83	بیشتر از 75	
-161.21	294.13	-299.87	108.17	0 تا 25	2002 تا 2017
17.76	88.45	-112.32	-31.47	25 تا 50	
1.60	23.20	12.38	-9.61	50 تا 75	
-0.77	3.03	0.77	-4.10	بیشتر از 75	
11.30	33.55	-166.10	127.96	0 تا 25	2017 تا 2032 (دوره پیش‌بینی شده) (Projected period)
-4.77	58.96	-36.77	6.64	25 تا 50	
-0.84	7.41	-35.78	-1.10	50 تا 75	
-0.26	0.42	-0.64	0.02	بیشتر از 75	

راهنمای جدول: ۱= بدون پوشش گیاهی، ۲= پوشش گیاهی ضعیف، ۳= پوشش گیاهی متوسط، ۴= پوشش گیاهی متراکم

Table legend: 1= No vegetation, 2= Low vegetation, 3= Medium vegetation, 4= Dense vegetation

زمین‌ها تا سال ۲۰۳۲ نسبت به سال ۲۰۱۷ یک روند روبه‌رشدی خواهند داشت و ادامه این روند منجر به بهبودی تراکم پوشش گیاهی در سطح شهرستان خواهد شد و در نتیجه تأثیرهای منفی تخریب زمین‌های پوشش گیاهی (افزایش دمای سطح زمین، شکل‌گیری پدیده جزایر حرارتی، وقوع سیلاب در صورت بارندگی شدید، شوری خاک و شکل‌گیری پدیده بیابان‌زایی، تغییرهای اقلیمی، از بین رفتن زیستگاه حیات‌وحش و در نتیجه کاهش تنوع زیستی و بسیاری از مشکل‌های محیط زیستی دیگر) در سطح شهرستان از بین خواهد رفت. بنابراین پایش و پیش‌بینی تغییرهای پوشش گیاهی، گامی مؤثر برای آگاهی از روند این تغییرها در گذشته، حال و آینده است و این مسئله در مطالعه حاضر همانند مطالعات مرتبط مورد توجه قرار گرفته است به طوریکه بررسی نتایج مطالعه حاضر با تحقیق‌های مرتبط و بیان شده در ادبیات تحقیق نشان داد که نتایج این مطالعه با مطالعات (Yu et al.، Mohammadyari et al. (2015)، Karimi et al. (2017)، Wang et al. (2018)، Mustafa (2020) به لحاظ استفاده از سنجه NDVI و کلاس‌بندی سنجه بیان شده با استفاده از مقادیر میانگین و انحراف معیار سنجه NDVI همسو بوده و در این

به‌طور کلی روند تغییرهای پوشش گیاهی در سطح شهرستان کرمانشاه نشان می‌دهد که تراکم پوشش گیاهی این ناحیه نیاز به برنامه‌ریزی صحیح دارد چراکه پوشش گیاهی ضعیف بیشتر نواحی را به خود اختصاص داده و همچنین زمین‌های بدون پوشش گیاهی نیز یک روند به رشد را در دوره مورد مطالعه نشان می‌دهد. از طرف دیگر بیشتر دامنه‌های پرشیب و ارتفاعات بلند نیز بدون پوشش گیاهی و پوشش گیاهی ضعیف هستند و با توجه به اینکه وجود پوشش گیاهی در ارتفاعات بلند و دامنه‌های پرشیب نقش مؤثری در کاهش جریان‌های سطحی، فرسایش خاک و شکل‌گیری پدیده بیابان‌زایی دارد، بنابراین این نواحی باید مورد توجه ویژه برنامه‌ریزان قرار گیرد. یکی از برنامه‌های که در این نواحی می‌تواند مؤثر باشد، جنگل‌کاری، احیا مرتع‌های تخریب‌شده و جلوگیری از چرای مفرط دام در این نواحی است. این اقدام با توجه به ویژگی‌های اقلیمی مناسب این ناحیه یکی از اقدام‌های مؤثر در جهت رشد زمین‌های پوشش گیاهی و جلوگیری از تخریب این زمین‌ها است. همچنین لزوم توجه و نظارت ویژه بر نواحی پوشش گیاهی متوسط و متراکم در این شهرستان با توجه به مساحت اندک این طبقه‌ها در سطح شهرستان بسیار مهم و اساسی است. این

مطالعات هم‌اندک مطالعه حاضر استفاده از مقادیر میانگین و انحراف معیار سنجه NDVI برای طبقه‌بندی سنجه بیان شده و استخراج نقشه‌های پوشش گیاهی نتایج دقیقی ارائه نموده است. همچنین به لحاظ استفاده از مدل CA-Markov برای پیش‌بینی تغییرهای زمانی - مکانی

مطالعات هم‌اندک مطالعه حاضر استفاده از مقادیر میانگین و انحراف معیار سنجه NDVI برای طبقه‌بندی سنجه بیان شده و استخراج نقشه‌های پوشش گیاهی نتایج دقیقی ارائه نموده است. همچنین به لحاظ استفاده از مدل CA-Markov برای پیش‌بینی تغییرهای زمانی - مکانی

جدول ۱۵- میزان تبدیل‌های طبقه‌های پوشش گیاهی (کیلومتر مربع)
Table 15. The amount of transition between vegetation classes (km²)

2032 تا 2017	2017 تا 2002	2002 تا 1987	طبقه‌های پوشش گیاهی Vegetation classes
8.99	145.32	203.68	1 to 2
40.09	77.43	65.56	1 to 3
72.30	174.97	93.49	1 to 4
91.15	200.34	167.85	2 to 1
33.09	267.78	669.33	2 to 3
22.24	280.72	338.65	2 to 4
-	54.47	135.06	3 to 1
245.20	656.84	259.42	3 to 2
34.91	261.56	267.58	3 to 4
0.54	77.72	360.59	4 to 1
11.89	263.94	275.35	4 to 2
114.88	236.29	168.21	4 to 3

راهنمای جدول: ۱= بدون پوشش گیاهی، ۲= پوشش گیاهی ضعیف، ۳= پوشش گیاهی متوسط، ۴= پوشش گیاهی متراکم

Table legend: 1= No vegetation, 2= Low vegetation, 3= Medium vegetation, 4= Dense vegetation

نشان داد طبقه‌بندی سنجه NDVI براساس روش آستانه‌گذاری و با استفاده از مقادیر میانگین و انحراف معیار و همچنین داده‌های جانبی مانند داده‌های کنترل زمین، نقشه‌های وکتوری کاربری زمین‌ها و تصاویر گوگل ارث به-منظور تفکیک طبقه‌های کیفی پوشش گیاهی در سنجه NDVI. یکی از روش‌های دقیق برای تهیه نقشه پوشش گیاهی یک ناحیه محسوب می‌شود و این روش با توجه به دقت قابل قبول ارائه شده در این تحقیق برای مطالعات مرتبط پیشنهاد می‌شود. همچنین استفاده از مدل CA-Markov در این مطالعه برای مدل‌سازی تغییرهای پوشش گیاهی، نتایج دقیقی بیان کرده است بنابراین این روش نیز در مطالعات مرتبط پیشنهاد می‌شود.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی بررسی پوشش گیاهی در گذشته، حال و آینده و همچنین بررسی تغییرهای آن در یک مقیاس زمانی متفاوت در مناطق روبه رشد می‌تواند در بسیاری از مطالعات محیط زیستی، طبیعی و شهری مورد استفاده قرار گیرد چراکه یکی از مهمترین دلایل‌های از بین رفتن پوشش گیاهی در یک ناحیه رشد مناطق شهری است به همین دلیل تهیه نقشه پوشش گیاهی آینده یکی از نیازهای اساسی در این زمینه است. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که طبقه پوشش گیاهی ضعیف و متراکم به ترتیب بیشترین و کمترین تراکم پوشش گیاهی در شهرستان کرمانشاه است ولی این طبقه‌ها در طی دوره ۳۰ ساله (۱۹۸۷ تا ۲۰۱۷) به ترتیب روند افزایشی و کاهشی داشته‌اند و طبقه‌های پوشش گیاهی متوسط و بدون پوشش گیاهی نیز در این دوره به ترتیب روند افزایشی و کاهشی را نشان می‌دهند. همچنین در دوره ۲۰۱۷ تا ۲۰۳۲ پیش‌بینی انجام شده گویای روند افزایشی طبقه‌ها بدون پوشش گیاهی متوسط و متراکم و روند کاهشی پوشش گیاهی ضعیف است. به‌طور کلی یافته‌های این مطالعه

پی‌نوشت‌ها

- Cellular Automata (CA)
- Normalized Difference Vegetation Change Index (NDVCI)
- Root Mean Square Error (RMSE)
- Digital Number (DN)
- Fast Line of sight Atmospheric Analysis (FLAASH)
- Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

- Anonymous, 2019. Satellite monitoring greenness and vegetation. Available online at: <https://isa.ir>.
- Adeyeri, O.E., Akinsanola, A.A. and Ishola, K.A., 2017. Investigating surface urban heat island characteristics over Abuja, Nigeria: Relationship between land surface temperature and multiple vegetation indices. *Remote Sensing Applications Society and Environment*. 7, 57-68
- Bento, V.A., Gouveia, C.M., DaCamara, C.C., Libonati, R. and Trigo, I.F., 2020. The roles of NDVI and land surface temperature when using the vegetation health Index over dry regions. *Global and Planetary Change*. 190, 1-11.
- Booth, T.D. and Tueller, P.T., 2003. Rangeland monitoring using remote sensing. *Arid Land Research and Management*. 17, 455-467.
- Bhat, P.A., Shafiq, M., Mir, A.A. and Ahmed, A., 2017. Urban sprawl and its impact on land use/land cover dynamics of Dehradun City, India. *International Journal of Sustainable Built Environment*. 6, 513-521.
- Cabral, P. and Zamyatin, A., 2009. Markov processes in modeling land use and land cover changes in Sintra-Cascais, Portugal. *Dyna*. 76, 191-198.
- Campbell, J.B. and Wynne, R., 2011. *Introduction to remote sensing*, fifth ed. Guilford Press, New York, USA.
- Cheng, J. and Masser, I., 2003. Urban growth pattern modeling: a case study of Wuhan City, PR China. *Landscape and Urban Planning*. 62, 199-217.
- Choudhury, D., Das, K. and Das, A., 2019. Assessment of land use land cover changes and its impact on variations of land surface temperature in Asansol-Durgapur Development Region. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*. 22, 203-218.
- Clarke, K.C., Hoppen, S. and Gaydos, L., 1997. A self-modifying cellular automaton model of historical urbanization in the San Francisco Bay Area. *Environment and Planning B Planning & Design*. 24, 247-261.
- Dadi, D., Azadi, H., Senbeta, F., Abebe, K. and Taheri, F., 2016. Urban sprawl and its impacts on land use change in Central Ethiopia. *Urban Forestry & Urban Greening*. 16, 132-141.
- Darvishi, S.H., Solaimani, K. and Rashidpour, M., 2019. Impact of vegetation indices and urban surface characteristics on land surface temperature changes (case study: Sanandaj city). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*. 10, 17-35. (In Persian with English abstract).
- Du, J., Fu, Q., Fang, S., Wu, J., He, P. and Quan, Z., 2019. Effects of rapid urbanization on vegetation cover in the metropolises of China over the last four decades. *Ecological Indicators*. 107, 1-9.
- Emami, S. and Emami, E., 2017. Detecting and predicting vegetation cover changes using sentinel 2 Data (a case study: Andika Region). *Journal of Radar and Optic Remote Sensing*. 1, 38-54.
- Guan, D, J., Li, H. F., Inohae, T., Su, W., Nagaie, T. and Hokao, K., 2011. Modeling urban land use change by the integration of cellular automaton and Markov model. *Ecological Modeling*. 222, 3761-3772.
- Hathout, S., 2002. The use of GIS for monitoring and predicting urban growth in East and West St Paul, Winnipeg, Manitoba, Canada. *Journal of Environmental Management*. 66, 229-238.

- Hataminejad, H., Ghorbani, R. and Farhadi, E., 2019. Surveying the trend of Kermanshah Metropolis physical development and developing optimal growth directions. *Geographical Planning of Space Quarterly Journal*. 9, 91-112. (In Persian with English abstract).
- Hashemi, S.M., Alavipanah, S.K. and Dinarvandi, M., 2013. LST Assessment using thermal remote sensing in urban environment. *Environmental Studies*. 39, 81-92. (Persian with English abstract).
- Hendrik Prinz, J., Wu, H., Sarich, M., Keller, B., Senne, M., Held, M., Chodera, J.D., Schütte, C. and Noé, F., 2011. Markov models of molecular kinetics: generation and validation. *Journal of Chemical Physics*. 134, 1-23.
- Jenerette, G. and Wu, J., 2001. Analysis and simulation of land use change in the central Arizona-Phoenix region, USA. *Landscape Ecology*. 16, 611-626.
- JoorabianShoostari, S. and Gholamalifard, M., 2015. Scenario-based land cover change modeling and its implications for landscape pattern analysis in the Neka Watershed, Iran. *Remote Sensing Applications Society and Environment*. 1, 1-19.
- Jiménez-Muñoz, J.C., Sobrino, J.A., Plaza, A., Guanter, L., Moreno, J. and Martínez, P., 2009. Comparison between fractional vegetation cover retrievals from vegetation indices and spectral mixture analysis: case study of PROBA/CHRIS data over an agricultural area. *Sensors*. 9, 768-793.
- Jiang, Z., Huete, A.R., Didan, K. and Miura, T., 2008. Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. *Remote Sensing of Environment*. 112, 3833-3845.
- Karimi, A., Abdollahi, S., Kabiri Balajadeh, H.R., Askari, O.A.K., Eslamian, S. and Singh, V., 2018. The use of remote sensing techniques in detecting and predicting forest vegetation change using MODIS Satellite Data, Golestan, Iran. *American Journal of Engineering and Applied Science*. 11, 387-396.
- Lambin, E.F., Turner, B.L. and Geist, H.J., 2001. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change*. 11, 261-269.
- Liu, S., Huang, S., Xie, Y., Wang, H., Huang, Q., Leng, G., Li, P. and Wang, L., 2019. Spatial-temporal changes in vegetation cover in a typical semi-humid and semi-arid region in China: changing patterns, causes and implications. *Ecological Indicators*. 98, 462-475.
- Liu, J. and Shi, Z., 2017. Quantifying land-use change impacts on the dynamic evolution of flood vulnerability. *Land Use Policy*. 65, 198-210.
- Lu, D., Mausel, P., Brondi'zio, E. and Moran, E., 2004. Change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*. 25, 2365-2401.
- Mather, P. and Tso, B., 2009. Classification methods for remotely sensed Data, second ed. Taylor & Francis press., London, UK.
- Malarvizhi, K., Kumar, S.V. and Porchelvan, P., 2016. Use of high resolution Google earth satellite imagery in landuse map preparation for urban related applications. *Procedia Technology*. 24, 1835-1842.
- Memarian, H., Balasundram, S.K., Bin Talib, J., Teh Boon Sung, C., MohdSood, A. and Abbaspour, K., 2012. Validation of CA-Markov for simulation of land use and cover change in the Langat Basin, Malaysia. *Journal of Geographic Information System*. 4, 542-554.
- Mubea, K.W., Ngigi, T. and Mundia, C., 2010. Assessing application of Markov chain analysis in

- predicting land cover change in the Nakuru municipality. *Journal of Agriculture Science and Technology*. 12, 126-143.
- Mustafa, Y.T., 2020. Spatiotemporal analysis of vegetation cover in Kurdistan Region-Iraq using MODIS image data. *JASTT*. 1, 1-7.
- Mohammadyari, F., Pourkhabaz, H., Tavakoli, M. and Aghdar, H., 2015. Mapping vegetation and monitoring its changes using remote sensing and GIS techniques (case study: Behbahan City). *Iranian Journal of Scientific Research Quarterly of Geographical Data*. 23, 23-34. (In Persian with English abstract).
- Mirzaeizadeh, V., Niknejad, M. and Haydari, M., 2016. Monitoring and predicting changes in vegetation density using remote sensing (case study: Venet watershed, Ilam province). *Iranian Journal of Zagros Forest Research*. 3, 19-32. (In Persian with English abstract).
- Pal, S. and Ziaul, S., 2017. Detection of land use and land cover change and land surface temperature in English Bazar urban center. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*. 20, 125-145.
- Pointius, R.G., 2000. Quantification Error versus location Error in comparison of categorical maps. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 66, 1011-1016.
- Pijanowskia, B.C., Brown, D.G., Shellitoc, B.A. and Manikd, G.A., 2002. Using neural networks and GIS to forecast land use changes: a land transformation model. *Computers, Environment and Urban Systems*. 26, 553-575.
- Quintero, G.V., Moreno, R.S., García, M.P., Guerrero, F.V., Alvarez, C.P. and Alvarez, A.P., 2016. Detection and projection of forest changes by using the Markov Chain Model and cellular automata. *Sustainability*. 8, 1-13.
- Rokni, K. and Musa, T.A., 2019. Normalized difference vegetation change index: a technique for detecting vegetation changes using Landsat imagery. *CATENA*. 178, 59-63.
- Salehi, N., Ekhtesasi, M.R. and Talebi, A., 2019. Predicting locational trend of land use changes using CA-Markov model (case study: Safarod Ramsar watershed). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*. 10, 106-120. (In Persian with English abstract).
- Shamsipour, A.A., Heydari, S. and Bagheri, K., 2017. Monitoring the process of land use/cover changes using Markov CA Model: a case study of Kermanshah City. *Iranian Journal of Geography Urban Planning Research*. 5, 495-514. (In Persian with English abstract).
- Shayesteh, K. and Mohammadyary, F., 2018. Evolution and prediction of changes in vegetation using landscape metrics and Markov model. *Iranian Journal of Geography and Development*. 16, 85-104. (In Persian with English abstract).
- Smits, P.C., Dellepiane, S.G. and Schowengerdt, R.A., 1999. Quality assessment of image classification algorithms for land-cover mapping: a review and a proposal for a cost-based approach. *International Journal of Remote Sensing*. 20, 1461-1486.
- Sobrino, J.A., Jiménez-Muñoz J.C. and Paolini, L., 2004. Land surface temperature retrieval from Landsat TM 5. *Remote Sensing of Environment*. 90, 434-440.
- Solaimani, K., Darvishi, S. and Shokrian, F., 2019. Analysis of agricultural drought using remote sensing indices (case study: Marivan city). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*. 10, 15-33. (In Persian with English abstract).

- Subedi, P., Subedi, K. and Thapa, B., 2013. Application of a hybrid cellular automaton – Markov (CA-Markov) model in land-use change prediction in the Saddle Creek Drainage Basin Florida. *Applied Ecology and Environmental Sciences*. 1, 126-132.
- Surabuddin Mondal, M.D., Sharma, N., Garg, P.K. and Kappas, M., 2016. Statistical independence test and validation of CA Markov land use land cover (LULC) prediction results. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*. 19, 259-272.
- Sun, Y.L., Shan, M., Pei, X.R., Zhang, X.K. and Yang, Y.L., 2020. Assessment of the impacts of climate change and human activities on vegetation cover change in the Haihe River basin, China. *Physics and Chemistry of the Earth*. 115, 1-9.
- Tarigan, S.D., 2016. Land Cover change and its impact on flooding frequency of batanghari watershed, Jambi Province, Indonesia. *Procedia Environmental Sciences*. 33, 386-392.
- Tilahun, A. and Teferie, B., 2015. Accuracy assessment of land use land cover classification using Google earth. *American Journal of Environmental Protection*. 4, 193-198.
- Ullah, S., Ahmad, K., Sajjad, R.U., Abbasi, A.M., Nazeer, A. and Tahir, A.A., 2019. Analysis and simulation of land cover changes and their impacts on land surface temperature in a lower Himalayan region. *Journal of Environmental Management*. 245, 348-357.
- Verburg, P.H., Schot, P., Dijst M. and Veldkamp, A., 2004. Land use change modeling: current practice and research priorities. *GeoJournal*. 61, 309-324.
- Wang, L., Yu, D., Liu, Z. and Yang, Y., 2018. Study on NDVI changes in Weihe Watershed based on CA–Markov model. *Geological Journal*. 53, 435-441.
- Yu, L., Liu, T., Bu, K., Yan, F., Yang, J., Chang, L. and Zhang, S., 2017. Monitoring the long term vegetation phenology change in Northeast China from 1982 to 2015. *Scientific Reports*. 7, 1-8.
- Zhang, Y. and Ye, A., 2020. Spatial and temporal variations in vegetation coverage observed using AVHRR GIMMS and Terra MODIS data in the mainland of China. *International Journal of Remote Sensing*. 41, 4238-4268.





Environmental Sciences Vol.18 / No.4 / Winter 2021

161-182

Monitoring and predicting the spatiotemporal vegetation changes using NDVI index and CA-Markov model (case study: Kermanshah City)

Shadman Darvishi¹ and Karim Solaimani^{2*}

¹Department of Remote Sensing and Geographic Information Systems, Faculty of Environmental Sciences, Aban Haraz Institute of Higher Education, Amol, Mazandaran, Iran

²Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Mazandaran, Iran

Received: 2019.08.19

Accepted: 2020.07.12

Darvishi, S. and Solaimani, K., 2021. Monitoring and predicting the spatiotemporal vegetation changes using NDVI index and CA-Markov model (case study: Kermanshah City). *Environmental Sciences*. 18(4): 161-182.

Introduction: Nowadays, with the population growth, most natural spaces have undergone land use changes. In this regard, vegetation lands are of special importance due to the impact of other lands on the process of its destruction and its adverse consequences on human and animal life. Development of urban areas in order to meet the construction needs of the growing population, as well as the growth of agricultural lands to ensure human food security and meet the needs of consumers are among the most important reasons for the destruction of vegetation in an area. Today, the rapid growth of remote sensing technologies, GIS, and computer sciences, has led to the emergence of many models to present current and future patterns of land use change, especially vegetation. Kermanshah City in Iran has experienced a large population growth in recent years, which had a major role in land use and vegetation change. Therefore, it is necessary to have enough knowledge on the vegetation status of this area for proper management of natural resources. Accordingly, the aim of the present study was to monitor and predict the vegetation changes in Kermanshah City using NDVI index and CA-Markov model.

Material and methods: In this study, Kermanshah City's vegetation density was extracted using NDVI index in four classes of none, low, medium, and dense vegetation from Landsat images in 1987, 2002 and 2017 and then the results were validated using ground control points. Also, in order to predict the vegetation density for 2032, first the vegetation map of 2017 was simulated by applying CA-Markov model and then the results were validated using the actual vegetation map of the same year with the help of validate module in IDRISI Terrset

* Corresponding Author: *Email Address*. K.solaimani@sanru.ac.ir
<http://doi.org.10.52547/envs.18.4.161>

software. Following the results of validation and by applying the mentioned model, the vegetation density map in 2032 was predicted.

Results and discussion: The results of the study of vegetation maps with an accuracy of more than 87% showed that the area of low and dense vegetation classes in the period from 1987 to 2017 has been decreasing and the medium vegetation class has been increasing. Spatial changes in vegetation over a period of 30-year showed that areas with none, low, and medium vegetation in the elevations of 1042 to 1587, 1587 to 2133 and 2133 to 2678 meters had an increasing trend and the dense vegetation had increased in the elevation of 1042 to 1587 but decreased in the classes of 1587 to 2133 and 2678 to 3224 meters. Also, the vegetation density in the slope classes showed that the slope of 0 to 25% had the highest and the slopes of 50 to 75% and more than 75% had the lowest vegetation density. The vegetation changes in the slope of 0 to 25% was the highest and in the slopes of 50 to 75 % and more 75% were the lowest. Also, the results of CA-Markov model with more than 80% accuracy in 2032 showed that the low vegetation class will have the largest area of vegetation cover in Kermanshah city. The increasing and decreasing trends of vegetation classes compared to 2017 showed that the low vegetation cover will decrease and none, medium, and dense vegetation cover classes will increase. Also, the study of vegetation classes in elevation and slope classes showed that in elevations of 1042 to 1587, 1587 to 2133, and 2133 to 2678 meters and the slope class of 0 to 25%, medium and dense vegetation is predominant but in elevation of 2678 to 3224 meters and the slope of 50 to 75 and more than 75%, low and none vegetation classes will be more than other classes.

Conclusion: In general, the results of this study showed that the classification of NDVI index using average values, standard deviation of the index, and other data such as land control data are accurate methods to prepare vegetation maps. Also, CA-Markov model is accurate to predict these changes.

Keywords: Vegetation density, Slope, Cellular automata, Elevation classes, Kermanshah.