

مدل سازی تغییرات پوشش سرزمین بر پایه شبکه عصبی مصنوعی و

پتانسیل انتقال در روش LCM

(مورد مطالعه: جنگل های گیلان غرب، استان کرمانشاه)

روح الله پرما^۱، رحیم ملک‌نیا^{۲*}، شعبان شتایی^۳، حامد نقوی^۲

۱. دانشجوی دکتری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

۲. استادیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

۳. دانشیار، دانشکده جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، گرگان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۰۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۲/۰۲)

چکیده

مدل سازی روند تغییرات پوشش سرزمین در گذر زمان با به کارگیری داده‌های چندزمانه در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی می‌تواند یکی از مهم‌ترین عوامل در مدیریت بهینه این تغییرات باشد. به منظور مدل سازی روند تغییرات پوشش سرزمین و بررسی امکان پیش‌بینی آن در آینده، مدل ساز تغییر زمین (LCM) به کار گرفته شد. داده‌های VNIR سنجنده ASTER ماهواره TERRA با قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر مربوط به سه دوره زمانی ۲۰۰۰، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۶ در جنگل های شهرستان گیلان غرب استان کرمانشاه تجزیه و تحلیل شد. نقشه‌های پوشش سرزمین سال‌های یادشده در چهار طبقه پوشش جنگل، اراضی مرتعی، اراضی کشاورزی و مناطق انسان ساخت برای هر یک از تصاویر با به کارگیری روش حداکثر تشابه استخراج شد. نتایج تجزیه و تحلیل داده‌ها در دوره اول (۲۰۰۰-۲۰۰۷) و دوره دوم (۲۰۰۷-۲۰۱۶) نشان داد پوشش اراضی کشاورزی بیشترین افزایش، و پوشش اراضی مرتعی بیشترین کاهش مساحت را دارند. بر مبنای این تغییرات و با در نظر گرفتن هشت متغیر مستقل مدل رقومی ارتفاع، شیب، جهت، فاصله از جاده، فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از حاشیه جنگل، فاصله از اراضی مرتعی، فاصله از اراضی کشاورزی، مدل سازی پتانسیل انتقال سال ۲۰۱۶ به روش شبکه عصبی پرسپترون چندلایه انجام گرفت. سپس، به وسیله مدل پیش‌بینی سخت و تصاویر طبقه بندی شده دوره اول (۲۰۰۰-۲۰۰۷)، نقشه پوشش سال ۲۰۱۶ با به کارگیری مدل ساز تغییر زمین پیش‌بینی شد. پس از ارزیابی مدل، میزان صحت کلی برابر با ۸۳/۰۹ و ضریب کاپای برابر با ۰/۷۹ به دست آمد که بیان کننده انطباق زیاد بین نقشه پیش‌بینی شده و نقشه طبقه بندی شده است. با وارد کردن نقشه‌های پوشش سرزمین دوره دوم (۲۰۱۶-۲۰۰۷) به مدل ساز تغییر زمین، نقشه پیش‌بینی پوشش سرزمین سال ۲۰۲۵ تهیه شد که نتایج نشان داد ۱۰۲۹/۵۲ هکتار از پوشش جنگل و ۱۶۸۶/۹۲ هکتار از اراضی مرتعی پتانسیل انتقال به اراضی کشاورزی را خواهند داشت.

کلیدواژگان

پتانسیل انتقال، پوشش سرزمین، گیلان غرب، مدل سازی، LCM.

* نویسنده مسئول، رایانامه: Maleknia.r@lu.ac.ir

مقدمه و بیان مسئله

آثار تغییر پوشش سرزمین بر چرخه آب، کربن و انرژی یکی از مهم‌ترین عوامل در تغییرات محیطی جهان است (Hu & Wengm, 2009, p.2089). کسب اطلاعات دقیق و به‌روز از این تغییرات و آگاهی از وسعت منابع طبیعی، به‌ویژه با رشد سریع جمعیت اهمیت زیادی دارد (Yuan et al., 2005, p.318). در دهه‌های اخیر داده‌های ماهواره‌ای به‌طور وسیعی در تهیه اطلاعات پوشش زمین مانند کاهش سطح جنگل‌ها، شدت توسعه اراضی کشاورزی و سایر تغییرات انسان‌ساخت به‌کار گرفته شده‌اند (شتایی و قنبری، ۱۳۸۹، ص ۲). یکی از روش‌های شناخته‌شده آنالیز داده‌های ماهواره‌ای، روش شبکه عصبی مصنوعی است که معروف‌ترین مدل آن، الگوریتم پرسپترون چندلایه است (Kuplich, 2006, p.2). مدل‌سازی پوشش سرزمین به‌عنوان یک رویکرد مهم ارزیابی کاهش سطح جنگل‌ها و تنوع زیستی، طیف گسترده‌ای از تحقیقات زیست‌محیطی، اکولوژی و جغرافیا را دربرمی‌گیرد (Prez-Vega et al., 2012, p.1). پیش‌بینی تغییرات، لازمه مراقبت از یک اکوسیستم به‌ویژه در مناطقی با تغییرات سریع است (Lambin, 1997, p.375; Stephenne & Ambin, 2001, p.154). مدل‌سازی روند تغییرات پوشش سرزمین با به‌کارگیری داده‌های سنجش‌ازدور در محیط GIS می‌تواند راهکارهای مناسبی را ارائه دهد (Baker et al., 2010, p.593). مدل‌ها ابزارهای مفیدی برای تکمیل توانایی ذهن بشر برای تجزیه و تحلیل تغییرات پوشش سرزمین و گرفتن تصمیم‌های آگاهانه‌تر هستند (Verburg et al., 2004, p.3). با توجه به اهمیت جنگل‌های زاگرس و نیاز ضروری مدیران به آگاهی از کمیت و کیفیت روند تغییرات به‌منظور برنامه‌ریزی بهینه، باید تحقیقاتی در این زمینه انجام گیرد. بنابراین هدف از این تحقیق مدل‌سازی تغییرات پوشش سرزمین با به‌کارگیری مدل LCM در فاصله سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶ به‌منظور امکان پیش‌بینی وضعیت پوشش سرزمین سال ۲۰۲۵ در بخشی از حوزه ریشی زاگرس است.

مبانی نظری و پیشینه تحقیق

مدل‌سازی تغییر زمین (LCM)

مدل‌سازی تغییر زمین ابزاری است که به کمک آن می‌توان به ارزیابی و مدل‌سازی تجربی تغییرات کاربری اراضی و آثار آن بر زیستگاه گونه‌ها و تنوع زیستی پرداخت. مدل‌سازی در چهار مرحله بررسی تغییرات، مدل‌سازی پتانسیل انتقال، مدل‌سازی تغییرات پوشش سرزمین و ارزیابی صحت مدل‌سازی انجام می‌گیرد (غلامعلی‌فرد و همکاران، ۱۳۹۳، ص ۱۶۹؛ Pelorosso et al., 2011, p.336). مدل‌سازی تغییر زمین با تجزیه و تحلیل تغییرات رخ داده طی یک دوره، نقشه پتانسیل انتقال از یک طبقه به طبقه دیگر را نیز تولید می‌کند (McConnel et al., 2004, p,172). پتانسیل انتقال، میزان احتمال تغییر از یک طبقه به طبقه دیگر را بیان می‌کند. بنابراین، برای مدل‌سازی پتانسیل انتقال هر طبقه در مدل LCM، قبل از هر کاری باید زیرمدل‌ها مشخص شوند. زیرمدل‌ها محرک‌های اساسی در تبدیل یک کاربری به کاربری‌های دیگر محسوب می‌شوند (Perez-Vega et al., 2012, p.12). برای انتخاب زیرمدل‌هایی با بیشترین صحت، باید مدل با چند سناریوی مختلف اجرا شود (غلامعلی‌فرد و همکاران، ۱۳۹۳، ص ۶۶). پس از به دست آوردن بیشترین صحت و کمترین خطا، زیرمدل‌های انتخابی وارد مدل شده و نقشه پتانسیل انتقال تهیه می‌شود. پرسپترون چندلایه در برنامه‌هایی مانند طبقه‌بندی پوشش و کاربری زمین، مدل‌سازی پتانسیل انتقال تغییر کاربری‌ها و مدل‌سازی تخریب جنگل‌ها به کار گرفته می‌شود. زنجیره مارکوف، میزان تغییرات را با به کارگیری نقشه‌های پوشش سرزمین اول و آخر دوره تعیین می‌کند. بنابراین، در این تحقیق برای پیش‌بینی مقادیر کمی تغییرات در برآورد پوشش سرزمین زنجیره مارکوف به کار گرفته شد (Eastman et al., 2009, p.31). به منظور مدل‌سازی روند تغییرات پوشش اراضی مطالعات مختلفی انجام گرفته است. قنبری و شتایی (۱۳۸۹) روند تغییرات جنگل‌های حاشیه‌ای جنوب و جنوب غربی گرگان را با الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی^۲ بررسی کردند. نتایج بررسی آن‌ها نشان‌دهنده

-
1. Land Change Modeler
 2. Artificial Neural Network (ANN)

تغییر وسیع سطح جنگل به اراضی غیرجنگلی در طی مدت ۴۱ سال بوده است. طاهری و همکاران (۱۳۹۲) در شهرستان تبریز با به کارگیری شبکه عصبی مصنوعی و زنجیره مارکوف^۱ مدل ساز تغییر سرزمین با به کارگرفتن تصاویر سه دوره ۱۳۶۷، ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ ماهواره لندست، نقشه های پوشش سرزمین هر سال را تهیه کردند و با به کارگیری الگوریتم پرسپترون چندلایه^۲ شبکه عصبی مصنوعی و شش متغیر مستقل، نقشه پوشش سرزمین سال های ۱۳۹۵ و ۱۴۰۰ را پیش بینی کردند که نتایج نشان دهنده توسعه سطح شهر تبریز به میزان ۱۰۳۷ و ۲۰۳۳ هکتار طی این دو سال است. وفایی و همکاران (۱۳۹۲) در منطقه مریوان داده های سنجنده های TM و ETM+ مربوط به سه دوره زمانی ۱۳۶۸، ۱۳۷۹ و ۱۳۹۰ به کار گرفتند. صحت کلی و ضریب کاپا نقشه پیش بینی شده نشان دهنده ناهمخوانی مکان تغییرات واقعی و پیش بینی شده مدل در منطقه است. عزیزی قلاتی و همکاران (۱۳۹۳) از تصاویر ماهواره لندست سه دوره زمانی ۱۳۶۶، ۱۳۷۹ و ۱۳۹۱ برای مدل سازی تغییرات کاربری اراضی در کوهمره سرخی استان فارس روش رگرسیون لجستیک در مدل LCM را به کار گرفتند که نتایج نشان دهنده بیشترین کاهش مساحت برای طبقه جنگل به میزان ۳۰۸۲/۰۵ هکتار بود. خوی و مورایاما (۲۰۱۱) مدل LCM و شبکه عصبی مصنوعی برای مدل سازی تغییرات جنگل را در پارک ملی «تام داو» به کار گرفتند و بدین منظور از تصاویر ماهواره ای مربوط به سال های ۱۹۹۳، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۷ به عنوان ورودی مدل، آشکارسازی و پیش بینی تغییرات سطح جنگل برای سال های ۲۰۱۴ و ۲۰۲۱ بهره گرفتند که نتایج نشان دهنده کاهش سطح جنگل از ۱۸/۰۳ درصد در سال ۲۰۰۷ به ۱۵/۱۰ و ۱۲/۶۶ درصد به ترتیب، در سال های ۲۰۱۴ و ۲۰۲۱ است (Khoi & Murayama). پرز-وگا و همکاران (۲۰۱۱) مدل LCM را به منظور مدل سازی تخریب و احیای جنگل های پهن برگ مکزیکی به کار گرفتند که صحت کلی ۵۲/۲، ۳۵/۲ و ۵۹/۶ درصد به ترتیب، برای زیرمدل های احیا، جنگل زدایی و اختلال را به دست آوردند (Perez-Vega et al., 2011). رضوی (۲۰۱۴) در پیش بینی روند تغییرات کاربری زمین سال

1. Markov Chain
2. Multi Layer Perceptron (MLP)

۲۰۲۵ شهر کرمانشاه تصاویر ماهواره‌ای لندست مربوط به سال‌های ۱۹۸۷، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۶ و مدل شبکه عصبی و زنجیره مارکوف به کار گرفت. نتایج بررسی او نشان داد طی دو دوره ۱۹۸۷-۲۰۰۰ و ۲۰۰۶-۲۰۰۰ طبقات پوشش جنگلی، اراضی مرتعی، باغات و فضای سبز روند کاهشی، اما مناطق انسان‌ساخت و اراضی کشاورزی روند افزایشی داشته است و طبق مدل پیش‌بینی طی دوره ۲۰۲۵-۲۰۰۶، ۵۳/۳۸ درصد از اراضی مرتعی و ۲۷/۳ درصد از فضای سبز به مناطق انسان‌ساخت تبدیل می‌شود. کورانتنگ و نایدزویکی (۲۰۱۵) با به‌کارگیری تحلیل زنجیره مارکوف به این نتیجه رسیدند که مناطق انسان‌ساخت و اراضی کشاورزی افزایش اما پوشش جنگلی (از ۵۰ درصد به ۱۰ درصد) کاهش یافته است (Koranteng & Niedzwiecki, 2015). مگاهد و همکاران (۲۰۱۵) در تحلیل نقشه پوشش سرزمین و مدل‌سازی رشد شهرسازی مربوط به سال‌های ۱۹۸۴، ۲۰۰۳ و ۲۰۱۴ در منطقه کایرو مصر روش LCM را برای پیش‌بینی پوشش سرزمین سال ۲۰۲۵ به کار گرفتند که نتایج این تحقیق نشان داد ۱۴ درصد از پوشش گیاهی و ۴ درصد از اراضی بیابانی تبدیل به مناطق شهری می‌شود (Megahed et al., 2015).

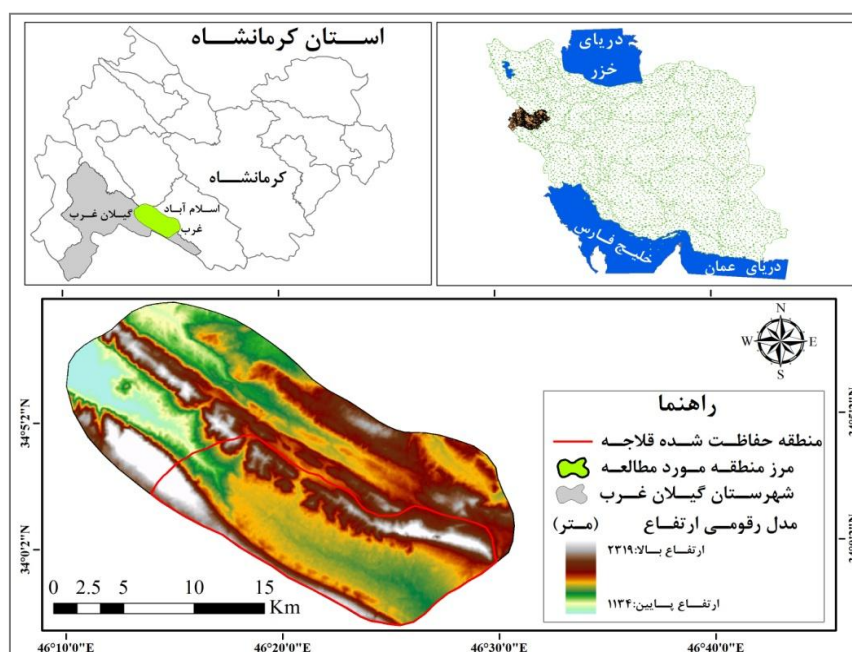
روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه با مساحتی بالغ بر ۴۰۹۶۸ هکتار در طول جغرافیایی "۹۸° ۱۶' ۴۶" تا "۲۳' ۵۱' ۴۶" شرقی و عرض جغرافیایی "۹۴° ۳۳' ۳۳" تا "۶۴° ۱۶' ۳۴" شمالی و با دامنه ارتفاعی ۲۳۱۹-۱۱۳۴ متری از سطح دریا در بخش گاور شهرستان گیلان غرب استان کرمانشاه قرار دارد (شکل ۱). اقلیم منطقه براساس نمودار تعیین اقلیم دمارتن با توجه به میانگین بارش سالانه ۵۱۶/۷ میلیمتر و دمای متوسط ۱۲/۸ درجه سانتیگراد، سرد و نیمه‌مرطوب است (فتاحی، ۱۳۸۴). درختان بلوط در قسمت اعظم منطقه مورد مطالعه جنگل‌های شاخه و دانه‌زاد را تشکیل داده است. از سایر درختان و درختچه‌های موجود در محدوده مورد مطالعه را می‌توان به پسته وحشی (بنه)، کیکم، زالزالک، ارژن، انجیر، پلاخور و آلبالو وحشی اشاره کرد (زهره‌وندی، ۱۳۸۲).

داده‌های ماهواره‌ای

در این تحقیق داده‌های VNIR^۱ سنجنده ASTER ماهواره TERRA با تفکیک مکانی ۱۵ متر مربوط به سه دوره زمانی ۲۰۰۰، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۶ به کار گرفته شد. داده‌ها با سطح تصحیح‌های LIT (شامل تصحیح رادیومتری در سطح سیستماتیک، تصحیح هندسی با استفاده از نقاط کنترل زمینی و همچنین، تصحیح خطای جابه‌جایی ناشی از توپوگرافی) از سایت مربوطه^۲ دریافت شد. نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ منطقه برای کنترل تصحیح هندسی تصاویر ماهواره‌ای، تهیه مدل رقومی زمین، نقشه شیب، نقشه جهت و استخراج لایه راه‌ها از سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح تهیه شد.

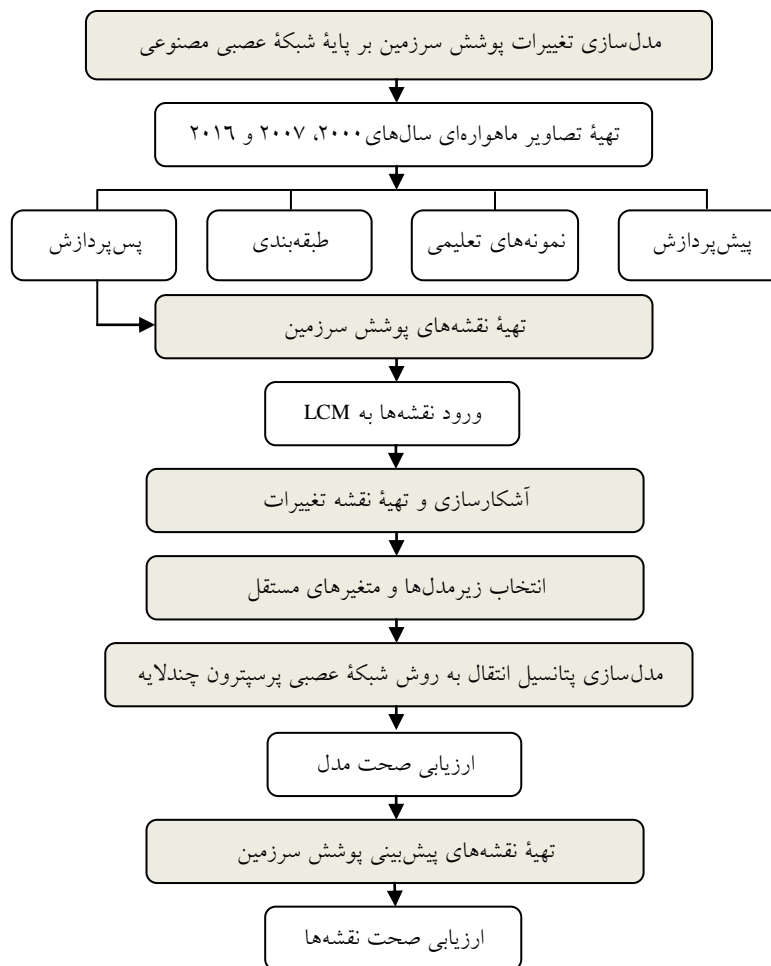


شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان کرمانشاه

1. Visible and Near- Infrared
2. www.earthexplorer.usgs.gov

مراحل تحقیق

مراحل کلی انجام‌دادن این تحقیق پس از تهیه تصاویر و عملیات پیش‌پردازش، پردازش و پس‌پردازش به ترتیب، شامل تهیه نقشه‌های پوشش سرزمین، آشکارسازی و تهیه نقشه تغییرات، انتخاب زیرمدل‌ها و متغیرهای مستقل، مدل‌سازی پتانسیل تغییرات به روش شبکه عصبی پرسپترون چندلایه و تهیه نقشه‌های پیش‌بینی پوشش سرزمین است (شکل ۲).



شکل ۲. فلوچارت فرایند مدل‌سازی تغییرات پوشش سرزمین

بررسی کیفیت رادیومتری و هندسی داده‌ها

با اینکه داده‌های ASTER در سطح تصحیح‌های LIT دریافت شد، به‌منظور اطمینان از خطانکردن، کیفیت داده‌ها به لحاظ وجود خطاهای رادیومتری از قبیل خطای مربوط به راه‌شدگی، زیرهم‌قرارنگرفتن دسته‌های خطوط اسکن و پیکسل‌های تکراری از طریق هیستوگرام آن‌ها بررسی شد که تصاویر مورد نظر فاقد هر گونه خطای رادیومتری بود. همچنین، با انطباق لایه‌برداری جاده روی تصاویر، از صحت تصحیح‌های هندسی اطمینان حاصل شد.

تهیه نقشه‌های پوشش سرزمین

با توجه به نبود نقشه پوشش سرزمین دقیق در منطقه مورد مطالعه و از طرفی، قابلیت تصاویر ماهواره‌ای ASTER در استخراج اطلاعات مفید، از بین روش‌های مختلف تفسیر و طبقه‌بندی تصاویر، روش تلفیقی که نوعی تفسیر چشمی داده‌های رقومی بر روی صفحه رایانه و متکی بر شناخت مفسر است، انتخاب شد (درویش‌صفت، ۱۳۷۷). با شناخت منطقه مورد مطالعه و به‌کارگیری نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری، بررسی‌های میدانی، اخذ نقاط کنترل زمینی^۱ و تصاویر گوگل‌ارث، چهار طبقه پوشش جنگل، اراضی مرتعی، اراضی کشاورزی و مناطق انسان‌ساخت استخراج و سپس، نقشه واقعیت زمینی سال ۲۰۱۶ تهیه شد. پس از انجام دادن مراحل پیش‌پردازش، تصاویر ماهواره‌ای ASTER مربوط به سال ۲۰۱۶ تجزیه و تحلیل شد. عملیات پردازش و بارزسازی‌های تصاویر، شامل ایجاد ترکیب‌های رنگی مناسب و نسبت‌گیری‌های طیفی انجام گرفت. با توجه به تفکیک‌پذیری نامناسب باندهای مصنوعی در محل نمونه‌های تعلیمی، باندهای اصلی VNIR به‌کار گرفته شد. تعداد ۲۵۰ نمونه از طبقه پوشش جنگلی، ۱۵۰ نمونه از طبقه اراضی مرتعی، ۲۳۰ نمونه از طبقه کشاورزی و ۷۰ نمونه از مناطق انسان‌ساخت تعیین شد. انتخاب نمونه‌های تعلیمی (۶۳ نمونه از طبقه پوشش جنگلی، ۳۸ نمونه از طبقه اراضی مرتعی، ۵۸ نمونه از طبقه کشاورزی و ۱۸ نمونه از مناطق انسان‌ساخت) به‌طور تصادفی (به تناسب سهم هر

1. Ground Control Points

طبقه) با بررسی های میدانی، تصاویر گوگل ارث و تصاویر رنگی مرکب انجام گرفت (آرخی و فتحی زاد، ۱۳۹۳، ص ۱۳۸). با توجه به اینکه الگوریتم حداکثر تشابه به عنوان یکی از دقیق ترین روش های متداول طبقه بندی پیکسل پایه مطرح است (پرما و شتایی، ۱۳۸۹، ص ۲۳۱). بنابراین، این الگوریتم به منظور طبقه بندی داده ها به کار گرفته، و نقشه پوشش سرزمین سال ۲۰۱۶ تهیه شد. از آنجا که اعتبار هر نقشه تهیه شده از تصاویر ماهواره ای به میزان صحت آن بستگی دارد، ارزیابی صحت روی نقشه پوشش سرزمین سال ۲۰۱۶ انجام گرفت و میزان صحت کلی و ضریب کاپا محاسبه شد. به منظور به دست آوردن تصویر با وضوح مطلوب و حذف پیکسل های منفرد در تصویر طبقه بندی شده، فیلتر مد^۱ با اندازه کرنل ۵×۵ به کار گرفته شد (آرخی و فتحی زاد، ۱۳۹۳، ص ۱۳۹؛ Nahuelhual et al., 2012, p.15). برای تهیه نقشه پوشش سرزمین سال ۲۰۰۷، نقشه طبقه بندی شده سال ۲۰۱۶ به کار گرفته شد. برای این کار نقشه سال ۲۰۱۶ بر روی تصاویر رنگی و باندهای مختلف ایجاد شده در سال ۲۰۰۷ قرار گرفته و در صورت مشاهده هر گونه تغییر در طبقات مختلف، تصحیح شد. این فرایند برای تهیه نقشه سال ۲۰۰۰ نیز تکرار شد.

اشکارسازی تغییرات در مدل LCM

مدل LCM به دو نقشه پوشش سرزمین اول و آخر دوره به عنوان ورودی نیاز دارد (Kim et al., 2010, p.15). بنابراین، ابتدا نقشه های پوشش سرزمین تهیه شده در دوره اول (۲۰۰۷-۲۰۰۰) وارد مدل LCM موجود در نرم افزار TerrSet شد. در بخش آنالیز تغییرات^۲، افزایش و کاهش هر طبقه^۳، تغییرات خالص^۴ به صورت نمودار و در بخش نقشه های تغییرات^۵، نقشه مناطق بدون تغییر^۶ (پایدار) و انتقال^۷ از هر طبقه به طبقات مختلف پوشش سرزمین تهیه و تجزیه و تحلیل شد

1. Mode
2. Change Analysis
3. Gain and Losses
4. Net Change
5. Change Maps
6. Persistence
7. Transition

(Vaclavik & Rogan, 2009, p.56). این فرایند برای دوره دوم (۲۰۱۶-۲۰۰۷) تکرار و نمودارها و نقشه‌های مربوط تهیه شد.

مدل‌سازی پتانسیل انتقال و انتخاب زیرمدل

پس از آشکارسازی تغییرات در بخش پتانسیل انتقال^۱، میزان پتانسیل انتقال یک طبقه به طبقه دیگر با توجه به زیرمدل‌ها و متغیرهای مستقل، مدل می‌شود. برای انتخاب زیرمدل‌هایی که بیشترین صحت را داشته باشند، باید مدل با سناریوهای مختلف اجرا شد (Perez-Vega et al., 2011, p.14). در نهایت، پنج زیرمدل پوشش جنگلی به اراضی مرتعی، پوشش جنگلی به اراضی کشاورزی، پوشش جنگلی به مناطق انسان‌ساخت، اراضی مرتعی به اراضی کشاورزی، اراضی مرتعی به مناطق انسان‌ساخت که بیشترین صحت را داشتند، انتخاب شد. پس از انتخاب زیرمدل‌ها و متغیرهای مستقل مناسب، مدل‌سازی احتمال وقوع هر انتقال از یک طبقه به طبقه دیگر از طریق شبکه عصبی پرسپترون چندلایه انجام گرفت (Pijanowski et al., 2002, p.559). هشت متغیر مستقل مدل رقومی ارتفاع، نقشه شیب، نقشه جهت، فاصله از جاده، فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از مناطق جنگلی، فاصله از اراضی مرتعی، و فاصله از اراضی کشاورزی انتخاب شدند و پس از بررسی ضریب همبستگی کرامر آن‌ها، متغیرهایی که ضریب بالاتر از ۰/۱ دارند، وارد مدل (پورخباز و همکاران، ۱۳۹۴، ص ۱۹۷؛ عزیزی‌قلاتی و همکاران، ۱۳۹۳، ص ۵۹۱) و متغیرهایی با ضریب همبستگی کرامر کمتر از ۰/۱ (نقشه‌های شیب و جهت) حذف شدند.

انتخاب متغیرهای مستقل

با به‌کارگیری نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ منطقه مورد مطالعه، نقشه‌های مدل رقومی ارتفاع (با دقت ۱۰ متر)، شیب و جهت در محیط نرم‌افزار ArcGIS10.3 تهیه شد. برای استخراج نقشه‌های فاصله از جاده، فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از حاشیه جنگل، فاصله از اراضی مرتعی، فاصله از

1. Transition potentials

اراضی کشاورزی، تابع فاصله اقلیدسی^۱ به کار گرفته شد. نقشه‌های به دست آمده به منظور تجزیه و تحلیل مکانی به ساختار رستری با اندازه پیکسل ۱۵ متر تبدیل شدند.

نقشه پیش‌بینی تغییرات پوشش سرزمین و ارزیابی صحت مدل

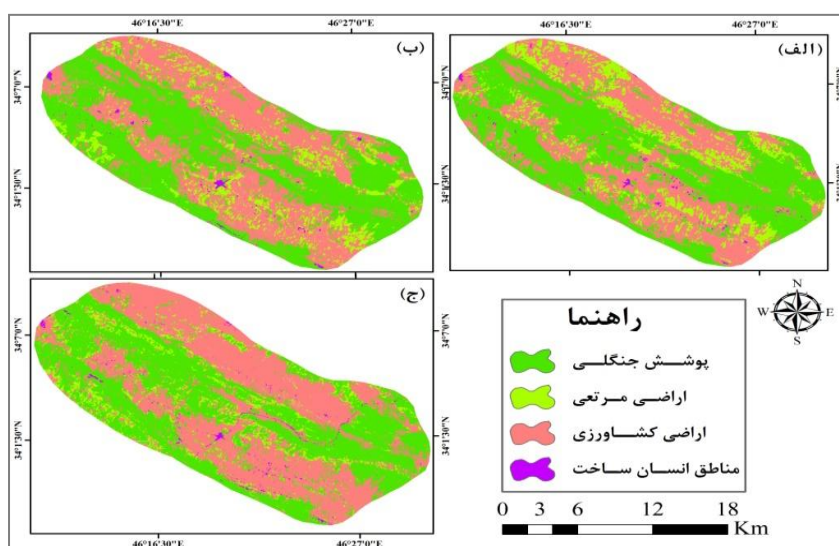
در بخش پیش‌بینی تغییرات^۲ مدل LCM، با روش زنجیره مارکوف، میزان احتمال انتقال از یک طبقه به طبقات دیگر محاسبه می‌شود. سپس، به وسیله مدل پیش‌بینی سخت^۳ (که در آن سطح هر پیکسل به یک کاربری خاص اختصاص می‌یابد) نقشه آخر دوره بر مبنای تغییرات رخ داده در طول دوره، پیش‌بینی شده و به عنوان پایه مدل‌سازی تغییرات پوشش سرزمین در آینده به کار گرفته می‌شود (Eastman, 2009, p.6). بنابراین، به منظور پیش‌بینی نقشه تغییرات پوشش سرزمین سال ۲۰۱۶، نقشه سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۷ به کار گرفته شد. پس از تهیه نقشه پیش‌بینی پوشش سرزمین سال ۲۰۱۶ و مقایسه آن با نقشه طبقه‌بندی پوشش سرزمین سال ۲۰۱۶، در زیربخش ارزیابی^۴ مدل LCM، شاخص توافق کاپا (KIA) محاسبه شد. شاخص توافق کاپا (KIA) عموماً برای تعیین ارزیابی صحت، اعتبار مدل و تغییر به کار گرفته می‌شود. مهم‌ترین انواع کاپا، کاپای استاندارد^۵، کاپا برای مکان^۶، کاپا برای کمیت^۷ و کاپا برای نبود اطلاعات^۸ هستند. روش کاپای استاندارد، صحت نسبی مشاهده شده به صحت نسبی موردانتظار را براساس شانس مقایسه می‌کند. به این ترتیب، درستی کل که به درصد نیز بیان می‌شود، میزان توافق و همخوانی دو تصویر را نشان می‌دهد. کاپای استاندارد برای بررسی صحت مدل‌سازی به کار گرفته شد (غلامعلی‌فرد و همکاران، ۱۳۹۳، ص ۷۰). سپس، نقشه پوشش سرزمین سال ۲۰۲۵ با وارد کردن نقشه سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۱۶ به مدل‌سازی تغییر زمین پیش‌بینی شد.

1. Euclidean distance
2. Change prediction
3. Hard prediction
4. Validation
5. Kstandard
6. K location
7. K location Strata
8. Kno

یافته‌های تحقیق

طبقه‌بندی تصاویر

پس از انجام دادن عملیات پیش‌پردازش، پردازش و پس‌پردازش روی داده‌های ماهواره‌ای ۲۰۰۰، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۶، نقشه پوشش سرزمین به روش حداکثر تشابه با صحت کلی و ضریب کاپای به ترتیب، ۹۰ درصد و ۰/۷۷، ۸۸ درصد و ۰/۷۵، ۹۱ درصد و ۰/۷۸ به دست آمد (شکل ۳).



شکل ۳. نقشه پوشش سرزمین سال‌های ۲۰۰۰ (الف)، ۲۰۰۷ (ب) و ۲۰۱۶ (ج)

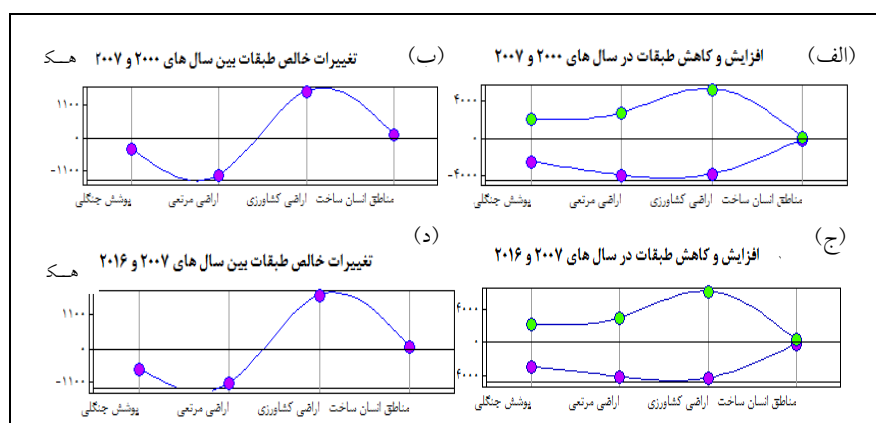
مطابق با این نقشه‌ها، بیشترین تخریب مربوط به پوشش مرتعی و سپس، پوشش جنگلی است و در دوره زمانی ۲۰۰۷ - ۲۰۰۰، طبقات پوشش جنگلی و اراضی مرتعی به ترتیب، ۴۰۰/۱۳ و ۱۲۸۱/۲ هکتار کاهش و طبقات اراضی کشاورزی و مناطق انسان‌ساخت به ترتیب، ۱۵۸۹/۳ و ۹۳/۰۳ هکتار افزایش داشته است. همچنین، طی دوره زمانی ۲۰۱۶ - ۲۰۰۷، طبقات پوشش جنگلی و اراضی مرتعی به ترتیب، ۷۰۵/۳۵ و ۱۱۳۰/۶۳ هکتار کاهش و طبقات اراضی کشاورزی و مناطق انسان‌ساخت به ترتیب، ۱۷۵۷/۳۱ و ۷۸/۶۷ هکتار افزایش داشته است (جدول ۱).

جدول ۱. مساحت پوشش سرزمین طی سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۶

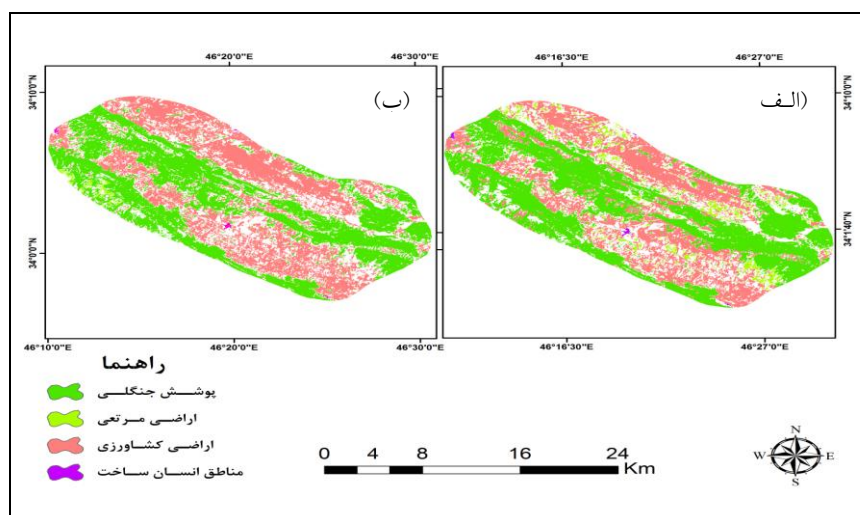
سال	پوشش جنگلی	اراضی مرتعی	اراضی کشاورزی	مناطق انسان‌ساخت
۲۰۰۰	۱۹۴۳۸,۰۱	۵۶۸۳,۴۵	۱۵۶۵۲,۳۹	۱۹۳,۵۲
۲۰۰۷	۱۹۰۳۷,۸۸	۴۴۰۲,۲۵	۱۷۲۴۱,۶۹	۲۸۶,۵۵
۲۰۱۶	۱۸۳۳۲,۵۳	۳۲۷۱,۶۲	۱۸۹۹۹	۳۶۵,۲۲

آشکارسازی تغییرات

ابتدا نقشه‌های پوشش سرزمین تهیه‌شده در دوره اول (۲۰۰۷-۲۰۰۰) به‌عنوان نقشه‌های اول و آخر دوره وارد مدل LCM شد. در بخش آنالیز تغییرات، میزان افزایش و کاهش هر طبقه به هکتار (شکل ۴-الف) و تغییرات خالص هر طبقه به هکتار (شکل ۴-ب) که برآیندی از افزایش و کاهش هر طبقه محسوب می‌شود، به صورت نمودار سه‌بعدی تهیه شد. سپس، در بخش نقشه‌های تغییرات، نقشه مناطق بدون تغییر (پایدار) و نقشه انتقال (شکل ۶) پوشش سرزمین به‌دست آمد (شکل ۵-الف). سپس، با ورود نقشه‌های پوشش سرزمین تهیه‌شده در دوره دوم (۲۰۰۷ و ۲۰۱۶) به‌عنوان نقشه‌های اول و آخر دوره به مدل LCM، این فرایند تکرار شد و میزان افزایش و کاهش هر طبقه (شکل ۴-ج)، تغییرات خالص هر طبقه (شکل ۴-د) به صورت نمودار سه‌بعدی و نقشه مناطق بدون تغییر (پایدار) پوشش سرزمین به صورت نقشه به‌دست آمد (شکل ۵-ب).



شکل ۴. نمودار سه‌بعدی افزایش و کاهش و تغییرات خالص دوره‌های اول و دوم



شکل ۵. نقشه مناطق بدون تغییر (پایدار) دوره‌های اول (الف) و دوم (ب)

مدل‌سازی پتانسیل انتقال و صحت‌سنجی مدل

پس از آشکارسازی تغییرات، میزان ضریب همبستگی کرامر متغیرهای مستقل برای واردکردن به مدل محاسبه شد (جدول ۲).

جدول ۲. ضریب همبستگی کرامر متغیرهای مستقل

متغیر مستقل	مدل	فاصله از جاده	فاصله از مسکونی	فاصله از منطقه جنگلی	فاصله از مرتعی	فاصله از کشاورزی	ضریب کرامر
نقشه شیب	۰٫۲۳	۰٫۰۸	۰٫۱۶	۰٫۱۸	۰٫۱۲	۰٫۱۰	۰٫۲۳
نقشه جهت	۰٫۰۸	۰٫۰۸	۰٫۱۶	۰٫۱۸	۰٫۱۲	۰٫۱۰	۰٫۲۳

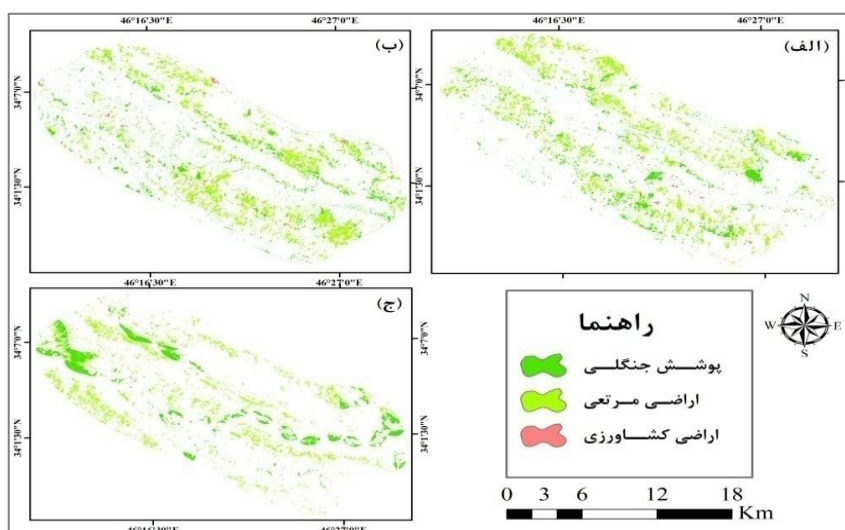
با توجه به اینکه عمده مناطق دارای پتانسیل انتقال به طبقات دیگر، مربوط به انتقال طبقات پوشش جنگل و اراضی مرتعی به طبقه اراضی کشاورزی است، نقشه پتانسیل انتقال طبقه اراضی کشاورزی طی دوره اول (۲۰۰۷-۲۰۰۰)، دوره دوم (۲۰۱۶-۲۰۰۷) و پیش‌بینی پتانسیل انتقال دوره سوم (۲۰۲۵-۲۰۱۶) تهیه شد که این نقشه‌ها موقعیت مکانی انتقال طبقات در سه دوره را نشان

می دهد (شکل ۶). پس از صحت سنجی مدل، خطای آموزش و خطای آزمون برای دوره های اول و دوم به دست آمد (جدول ۳).

جدول ۳. صحت سنجی مدل در دوره های اول و دوم

دوره	صحت	خطای آموزش	خطای تست	صحت کلی (درصد)
۲۰۰۰-۲۰۰۷	۰,۳۹۳۱	۰,۴۰۳۶	۸۳,۰۹	
۲۰۰۷-۲۰۱۶	۰,۲۴۹۵	۰,۲۴۹۲	۷۱,۱۰	

مطابق با نقشه پیش بینی پتانسیل انتقال دوره سوم، ۱۰۲۹,۵۲ هکتار از پوشش جنگل و ۱۶۸۶,۹۲ هکتار از اراضی مرتعی پتانسیل انتقال به اراضی کشاورزی را خواهند داشت.

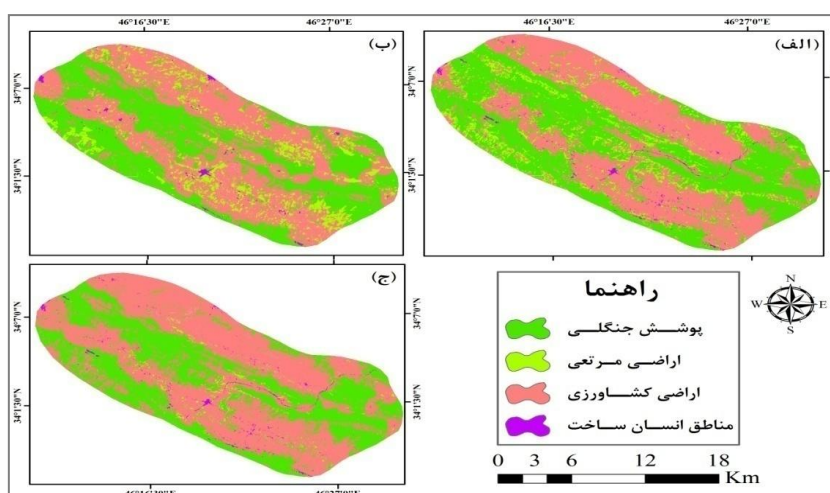


شکل ۶. نقشه پتانسیل انتقال طبقه اراضی کشاورزی دوره اول (الف)، دوره دوم (ب) و دوره سوم (ج)

نقشه پیش بینی پوشش سرزمین

با توجه به تغییرات رخ داده و احتمال انتقال از یک طبقه به طبقه دیگر در دوره اول (۲۰۰۷-۲۰۰۰)، نقشه پیش بینی پوشش سرزمین سال ۲۰۱۶ تهیه شد (شکل ۷-ب). در نقشه پیش بینی سال ۲۰۱۶ مساحت چهار طبقه پوشش جنگلی، اراضی مرتعی، اراضی کشاورزی و مناطق

انسان ساخت به ترتیب، ۱۶۷۳۷/۴۲، ۴۳۲۹/۳۶، ۱۹۶۱۵/۱۱ و ۲۸۶/۴۸ هکتار است. با توجه به صحت مناسب برخی زیرمدل‌ها (انتقال پوشش جنگلی به اراضی کشاورزی، انتقال اراضی مرتعی به اراضی کشاورزی) در اجرای مدل، با وارد کردن نقشه‌های دوره دوم (سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۱۶) نقشه پیش‌بینی پوشش سرزمین سال ۲۰۲۵ تهیه شد (شکل ۷-ج). در نقشه پیش‌بینی سال ۲۰۲۵ نیز مساحت چهار طبقه پوشش جنگلی، اراضی مرتعی، اراضی کشاورزی و مناطق انسان‌ساخت به ترتیب، ۱۶۳۰۳/۴۷، ۵۴۴/۳۲، ۲۳۷۱۵/۳۶ و ۴۰۵/۲۲ هکتار است.



شکل ۷. نقشه پوشش سرزمین سال ۲۰۱۶ (الف)، نقشه پیش‌بینی سال‌های ۲۰۱۶ (ب) و ۲۰۲۵ (ج)

ارزیابی صحت مدل

نتایج ارزیابی مدل با به‌کارگیری نقشه پوشش سرزمین سال ۲۰۱۶ مورد ارزیابی صحت قرار گرفت که شاخص توافق کاپا (KIA) به کار گرفته شد. بنابراین، نقشه مدل‌سازی شده سال ۲۰۱۶ با تصویر طبقه‌بندی شده آن مقایسه شد و نتایج ارزیابی مدل، نشان‌دهنده کاپای استاندارد ۰/۷۹ است (جدول ۴).

جدول ۴. ارزیابی صحت نقشه مدل‌سازی شده سال ۲۰۱۶

کاپای استاندارد	کاپا برای مکان	کاپا برای کمیت	کاپا برای نبود اطلاعات
۰/۷۹	۰/۸۳	۰/۸۳	۰/۸۲

بحث و نتیجه

در این تحقیق روش شبکه عصبی مصنوعی به دلیل داشتن مزایایی مانند توانایی مدل‌سازی روابط غیرخطی و قبول الگوهای پیچیده موجود در پایگاه داده‌ها به کار گرفته شد و در واقع، یک مدل تجربی بین متغیر وابسته (میزان تغییرات پوشش سرزمین) و متغیرهای مستقل (توضیح‌دهنده تغییرات) محسوب می‌شود. با توجه به تنوع و توسعه مدل‌های شبکه عصبی، روش پرسپترون چندلایه به طور وسیع به کار گرفته می‌شود (Hu & Weng, 2009, p.2090). متغیرهای مستقل مورد استفاده در این تحقیق نقشه‌های مدل رقومی ارتفاع، فاصله از جاده، فاصله از روستا، فاصله از پوشش جنگلی، فاصله از اراضی مرتعی، فاصله از اراضی کشاورزی، شیب، و جهت هستند که در تحقیقات وفایی و همکاران (۱۳۹۱)، طاهری و همکاران (۱۳۹۲)، غلامعلی‌فرد و همکاران (۱۳۹۳)، و اسکولز و همکاران (۲۰۱۰) نیز به کار گرفته شده و بر اهمیت این عوامل در مدل‌سازی تغییرات پوشش سرزمین تأکید شده است.

مطابق با نتایج این تحقیق، نقشه‌های پوشش سرزمین سه دوره نشان‌دهنده تغییر سطح همه کاربری‌ها است، اما ترتیب این تغییرات از بیشتر به کمتر مربوط به طبقات اراضی کشاورزی، اراضی مرتعی، پوشش جنگلی و مناطق انسان‌ساخت است. به طوری که طی دوره اول (۲۰۰۷-۲۰۰۰) و دوم (۲۰۱۶-۲۰۰۷) طبقه اراضی کشاورزی بیشترین افزایش سطح به ترتیب، برابر با ۱۵۸۹٫۳ و ۱۷۵۷٫۳۱ هکتار را دارد و مدل‌ساز تغییر زمین برای دوره سوم (۲۰۲۵-۲۰۱۶) میزان این افزایش سطح را ۲۷۱۶٫۴۴ هکتار (۱۰۲۹٫۵۲ هکتار از تبدیل پوشش جنگل و ۱۶۸۶٫۹۲ هکتار از تبدیل اراضی مرتعی به اراضی کشاورزی) پیش‌بینی کرده است. نتایج تحقیق غلامعلی‌فرد و همکاران (۱۳۹۳) و کورانتنگ و نایدزویکی (۲۰۱۵) نیز نشان‌دهنده بیشترین افزایش سطح برای طبقه اراضی کشاورزی است. طبقه اراضی مرتعی بیشترین کاهش سطح، به ترتیب برابر با ۱۲۸۱٫۲ و ۱۱۳۰٫۶۳ هکتار را در دوره‌های اول و دوم داشته است. سپس، طبقه پوشش جنگلی ۴۰۰٫۱۳ و ۷۰۵٫۳۵ هکتار کاهش و طبقه مناطق انسان‌ساخت ۹۳٫۰۳ و ۷۸٫۶۷ هکتار افزایش سطح داشته است. با توجه به نقشه‌های پتانسیل انتقال برای دوره سوم، ۱۰۲۹٫۵۲ هکتار از پوشش جنگل و

۱۶۸۶٫۹۲ هکتار از اراضی مرتعی پتانسیل انتقال به اراضی کشاورزی را خواهند داشت (Koranteng & Niedzwiecki, 2015, p.13). بنابراین، می‌توان با اعمال روش‌های صحیح مدیریتی از تخریب و تبدیل این مناطق جنگلی و مرتعی پیشگیری کرد. با مقایسه نقشه پیش‌بینی شده سال ۲۰۱۶ با نقشه طبقه‌بندشده آن می‌توان مشاهده کرد که مساحت اراضی مرتعی و اراضی کشاورزی در نقشه پیش‌بینی شده اختلاف بیشتری دارد که دلیل آن را می‌توان در تغییرات زیاد این دو طبقه طی دوره اول (۲۰۰۷-۲۰۰۰) دانست؛ زیرا مدل با توجه به الگوی تغییرات رخ داده طی دوره اول تغییرات دوره دوم را پیش‌بینی می‌کند. این الگوی تغییرات و پیش‌بینی در نقشه پیش‌بینی سال ۲۰۲۵ نیز وجود دارد، زیرا طبقه اراضی کشاورزی بیشترین افزایش و طبقه اراضی مرتعی بیشترین کاهش را داشته است. در این تحقیق بیشترین افزایش مربوط به طبقه اراضی کشاورزی است اما در تحقیقات رضوی (۲۰۱۴) و مگاهد و همکاران (۲۰۱۵) بیشترین افزایش مربوط به طبقه مناطق انسان‌ساخت است که دلیل این تفاوت را می‌توان در موقعیت جغرافیایی، فاصله از مناطق شهری و مسائل اقتصادی دانست. با توجه به فاصله زیاد منطقه مورد مطالعه از مناطق شهری و همچنین تأثیر عوامل اقتصادی در معیشت مردمان، پوشش جنگلی و اراضی مرتعی پس از تخریب بیشترین پتانسیل را برای تبدیل به اراضی کشاورزی دارند اما در تحقیقات رضوی (۲۰۱۴) و مگاهد و همکاران (۲۰۱۵) پوشش جنگلی و اراضی مرتعی در حاشیه مناطق شهری قرار دارند و این اراضی پس از تخریب به مناطق انسان‌ساخت تبدیل می‌شود، زیرا مسائل اقتصادی در این موارد نقش تعیین‌کننده دارد. مطابق با نتایج این تحقیق و تحقیقات قنبری و شتایی (۱۳۸۹)، و کوران‌تنگ و نایدزویکی (۲۰۱۵) رشد جمعیت و به دنبال آن توسعه مناطق انسان‌ساخت از دلایل کاهش سطح پوشش جنگل و اراضی مرتعی به اراضی کشاورزی و مناطق انسان‌ساخت محسوب می‌شود. همچنین، نتایج شبکه عصبی مصنوعی و زنجیره مارکوف در این تحقیق با نتایج تحقیقات طاهری و همکاران (۱۳۹۲)، وفایی و همکاران (۱۳۹۲)، غلامعلی‌فرد و همکاران (۱۳۹۳)، خوی و مورایاما (۲۰۱۱)، رضوی (۲۰۱۴)، مگاهد و همکاران (۲۰۱۵)، و کوران‌تنگ و نایدزویکی (۲۰۱۵) همخوانی دارد. مطابق با نتایج قنبری و شتایی (۱۳۸۹)، تغییرات رخ داده طی دو دوره زمانی ۲۰۰۰-۲۰۰۷ و

۲۰۱۶-۲۰۰۷ نشان‌دهنده تحولات اجتماعی، عوامل اقتصادی و مشکلات معیشتی، مدیریت ضعیف منابع جنگلی و مرتعی در منطقه مورد مطالعه است. اجرای پروژه‌های احداث خطوط انتقال گاز، احداث تونل، عملیات تعریض جاده، همچنین تأمین سوخت روستاییان، چرای مفرط دام، آتش‌سوزی، تبدیل بی‌رویه پوشش جنگلی و اراضی مرتعی به اراضی کشاورزی و مناطق انسان‌ساخت از عوامل عمده کاهش سطح پوشش جنگل و مرتع در منطقه مورد مطالعه محسوب می‌شود. دلیل کاهش بیشتر اراضی مرتعی نسبت به پوشش جنگلی در منطقه مورد مطالعه این است که اراضی مرتعی نسبت به پوشش جنگلی دسترسی بیشتری دارند و شرایط توپوگرافی آن‌ها برای تبدیل به اراضی کشاورزی مستعدتر است، اما گستره مناطق جنگلی در دامنه‌های با شیب زیاد است که باعث عدم دسترسی به این مناطق به‌منظور تبدیل به اراضی کشاورزی است. هرچند سوءمدیریت و نداشتن اطلاعات به‌روز و دقیق از سطح منابع جنگلی و مرتعی ارگان‌های مربوطه، زمینه را برای تخریب بیشتر این منابع ارزشمند فراهم می‌کند، نادیده‌گرفتن محدودیت‌ها و توان سرزمین، شدت مشکلات را افزایش داده است (کامیاب و همکاران، ۱۳۹۰). کاهش سطح پوشش جنگلی و اراضی مرتعی پیامدهای زیست‌محیطی مانند پدیده گرد و غبار، فرسایش شدید خاک، بروز سیل، از بین رفتن آب‌های زیرزمینی و جز آن را به همراه دارد. بنابراین، افزایش سطح آگاهی مردم و توجه مدیران به حفظ منابع جنگلی و اراضی مرتعی و اعمال مدیریت مؤثر می‌تواند سبب کاهش این روند تخریب در منطقه مورد مطالعه شود. بی‌تردید، بدون استفاده از فناوری‌های نوین نمی‌توان برآورد دقیقی از روند تغییرات محیطی داشت. بنابراین، به‌کارگیری داده‌های سنجش‌ازدور با قدرت تفکیک طیفی و مکانی بیشتر و روش‌های نوین مدل‌سازی به‌منظور شناسایی مناطق حساس و مستعد به تخریب می‌تواند ابزاری قدرتمند برای مدیران باشد. با توجه به روند تغییرات پوشش سرزمین در دوره‌های اول و دوم، نتایج این تحقیق می‌تواند اطلاعات مفیدی برای مدیران و ارگان‌های مرتبط فراهم کند تا با اعمال روش‌های مؤثر، چشم‌انداز مناسبی برای این منطقه طراحی کنند.

منابع و مأخذ

۱. آرخی، صالح (۱۳۹۴). آشکارسازی تغییرات پوشش / کاربری اراضی با پردازش شیء‌گرایی تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از نرم‌افزار Idrisi Selva (مطالعه موردی: منطقه آبدانان). فصل‌نامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، دوره ۲۴، شماره ۹۵، صفحات ۶۲-۵۱.
۲. آرخی، صالح، و فتحی‌زاد، حسن (۱۳۹۳). ارزیابی کارایی چهار روش شبکه عصبی مصنوعی در تهیه نقشه پوشش / کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ETM+ (مطالعه موردی: سه منطقه دویرج، مهران و سرابله). جغرافیا و توسعه، دوره ۴، شماره ۳۷، صفحات ۱۴۶-۱۳۳.
۳. پرما، روح‌الله، و شتایی، شعبان (۱۳۸۹). بررسی امکان تهیه نقشه‌های تنوع و تراکم تاج‌پوشش جنگل‌های زاگرس با استفاده از تصاویر سنجنده ETM+ (مطالعه موردی جنگل‌های قلاجه استان کرمانشاه). مجله جنگل ایران، دوره ۲، شماره ۳، صفحات ۲۴۲ - ۲۳۱.
۴. پورخباز، حمیدرضا، محمدیاری، فاطمه، اقدر، حسین، و توکلی، مرتضی (۱۳۹۴). رویکرد آمایشی در مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی شهرستان بهبهان با به‌کارگیری تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه‌ای. آمایش سرزمین، دوره ۷، شماره ۲، صفحات ۲۰۷-۱۸۷.
۵. درویش‌صفت، علی اصغر (۱۳۷۷). جزوه درسی سنجش‌ازدور، دانشگاه تهران.
۶. زهره‌وندی، علی اصغر (۱۳۸۲). بررسی روند تغییرات و برآورد بنه با دو روش آماربرداری ترانسکت بر روی عکس‌های هوایی و ترانسکت زمینی در جنگل‌های قلاجه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته جنگلداری، دانشگاه تهران.
۷. طاهری، محمد، غلامعلی‌فرد، مهدی، ریاحی بختیاری، علیرضا، و رحیم‌اوغلی، شاهین (۱۳۹۲). مدل‌سازی تغییرات پوشش سرزمین شهرستان تبریز با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و زنجیره مارکوف. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۵، شماره ۴، صفحات ۹۷-۱۲۱.
۸. عزیزی قلاتی، سارا، رنگزن، کاظم، تقی‌زاده، ایوب، و احمدی، شهرام (۱۳۹۳). مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از روش رگرسیون لجستیک در مدل LCM (پژوهش

- موردی: منطقه کوهمره سرخی استان فارس). فصل‌نامه علمی-پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، دوره ۲۲، شماره ۴، صفحات ۵۹۶ - ۵۸۵.
۹. غلامعلی فرد، مهدی، جورابیان شوشتری، شریف، آبکار، علی‌اکبر، و نعیمی، بابک (۱۳۹۳). مقایسه الگوریتم‌های رگرسیون لجستیک و شبکه عصبی مصنوعی در مدل‌سازی تجربی پتانسیل انتقال تغییر پوشش سرزمین سواحل استان مازندران. پژوهش‌های محیط زیست، دوره ۵، شماره ۹، صفحات ۱۷۶ - ۱۶۷.
۱۰. غلامعلی فرد، مهدی، میرزایی، محسن، و جورابیان شوشتری، شریف (۱۳۹۳). مدل‌سازی تغییرات پوشش اراضی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و زنجیره مارکوف (مطالعه موردی: سواحل میانی استان بوشهر). مجله کاربرد سنجش‌ازدور و GIS در علوم منابع طبیعی، دوره ۵، شماره ۱، صفحات ۷۹ - ۶۵.
۱۱. فتاحی، محمد (۱۳۸۴). کتاب مدیریت جنگل‌های زاگرس. تهران: دانشگاه تهران.
۱۲. قنبری، فریبا، و شتایی، شعبان (۱۳۸۹). بررسی روند تغییرات سطح جنگل با استفاده از عکس‌های هوایی و تصاویر ASTER (مطالعه موردی: جنگل‌های حاشیه‌ای جنوب و جنوب غربی شهر گرگان). مجله پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل، دوره ۱۷، شماره ۴، صفحات ۱-۱۸.
۱۳. کامیاب، حمیدرضا، سلمان ماهینی، عبدالرسول، حسینی، سیدمحسن، و غلامعلی فرد، مهدی (۱۳۹۰). کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی در مدل‌سازی توسعه شهری (مطالعه موردی: شهر گرگان). مجله پژوهش‌های جغرافیای انسانی، دوره ۴۳، شماره ۷۶، صفحات ۱۱۳-۹۹.
۱۴. وفایی، ساسان، درویش صفت، علی‌اصغر، و پیر باوقار، مهتاب (۱۳۹۲). پایش و پیش‌بینی روند تغییرات مکانی کاربری اراضی با استفاده از مدل LCM (مطالعه موردی: منطقه مریوان). مجله جنگل ایران، دوره ۵، شماره ۳، صفحات ۳۳۶ - ۳۲۳.
15. Bakr, N., weindorf, D. C., Bahnassy, M. H, Marei, S. M., & El-Badawi, M.M. (2010). Monitoring land cover changes in a newly reclaimed area of Egypt using Multitemporal Landsat data. *Applied Geography*, 30(4), 592-605.
16. Eastman, R. J. (2006). *IDRISI Andes, guide to GIS and image processing*. Clark University, Worcester, 87-137.

17. Hu, X., & Weng, Q. (2009). Estimating impervious surfaces from medium spatial resolution imagery using the self-organizing map and multi-layer Perceptron Neural Networks. *Remote Sensing of Environment*, 113(10), 2089–2102.
18. Ji, C. Y. (2000). Land-use classification of remotely sensed data using Kohonen self organizing feature map Neural Networks. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 66(12), 1451–1460.
19. Khoi, D., & Murayama, Y. (2011). Modeling deforestation using a neural Network-Markov Model. *Spatial Analysis and Modeling in Geographical Transformation Process*, 100(6), 169-190.
20. Kim, O. S. (2010). An Assessment of Deforestation models for Reducing Emission from Deforestation and Forest Degradation (REDD). *Transaction in GIS*, 14(2), 631-654.
21. Koranteng, A., & Niedzwiecki, T. Z. (2015). Modelling forest Loss and other land use change dynamics in Ashanti Region of Ghana. *Folia Forestalia Polonica*, 57(2), 96-111.
22. Kuplich, T. M. (2006). Classifying regenerating forest stages in Amazonia using remotely sensed images and neural network. *Forest Ecology and Management*, 234(6), 1-9.
23. Lambin, E. F. (1997). Modeling and monitoring land-cover change processes in tropical regions. *Progress in Physical Geography*, 21(6), 375–393.
24. McConnel, W. J., Sweeney, S. P., & Mulley, B. (2004). Physical and social access to land: Spatio-temporal patterns of agricultural expansion in Madagascar. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 10(1), 171-184.
25. Megahed, Y., Cabral, P., Silva, J., & Caetano, M. (2015). Land cover mapping analysis and urban growth modeling using Remote Sensing Techniques in Greater Cairo Region-Egypt. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4(1), 1750-1769.
26. Nahuelhual, L., Carmona, A., Lara, A., Echeverría, C., & González, M. E. (2012). Land-cover change to forest plantations: proximate causes and implications for the landscape in South-central Chile. *Landscape and Urban Planning*, 107(1), 12-20.
27. Pelorosso, R., Chiesa, S. D., Tappeiner, U., Leone, A., & Rocchini, D. (2011). Stability analysis for defining management strategies in abandoned mountain landscapes of the Mediterranean basin. *Landscape and Urban Planning*, 103(5), 335-346.
28. Perez-Vega, A., Mas, J., & Ligmann-Zielinska, A. (2011). Comparing two approaches to land use/cover change modeling and their implication for the assessment of biodiversity loss in a deciduous tropical forest. *Environmental Modeling & Software*, 29(1), 11-23.
29. Pijanowski, B. C., Brown, D. G., Shellito, B. A., & Manik, G.A. (2002). Using Neural networks and GIS to forecast land use changes: a Land Transformation Model. *Computers Environment and Urban Systems*, 26(1), 553–575.
30. Razavi, B. S. (2014). Predicting the trend of land use change using Artificial Neural Network and Markov Chain Model (Case study: Kermanshah City). *Research Journal of Environmental and Earth Science*, 6(4), 215-226.

31. Schulz, J. J., Cayuela, L., Echeverria, C., Salas, J., & Rey Benayas, J. M. (2010). Monitoring land cover change of the dryland forest landscape of Central Chile (1975–2008). *Applied Geography*, 30(3), 436–447.
32. Stephenne, N., & Lambin, E. F. (2001). A dynamic simulation model of land-use changes in Sudano-sahelian countries of Africa (SALU). *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 85(2), 154–161.
33. Vaclavik, 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. *GIS science & Remote Sensing*, 46(1), 54–76.
34. Verburg, P. H., Schot, P., Dijst, M., & Veldkamp, A. (2004). Land use change modelling: current practice and research priorities. *GeoJournal*, 61(4), 1–23.
35. Yuan, F., Sawaya, K. E., Loeffelholz, B. C., & Bauer, M. E. (2005). Land cover classification and change analysis of the Twin Cities (Minnesota) Metropolitan Area by Multi-temporal Landsat remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 98(2), 317–328.