

Application of Multilayer Perceptron Neural Network Method in Land Use Change Modeling in the East of Mzandaran Province

Sharif Joorabian Shooshtari^{1*}, Abbas Esmaili-Sari², Seyed Mohsen Hosseini³,
Mehdi Gholamalifard⁴

¹ Department of Environment, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

² Department of Environment, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

³ Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

⁴ Department of Environment, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Abstract

This study was performed with objective of predicting land cover change in the east of Mazandaran Province (Neka and Behshahr counties), using Artificial Neural Network in the GIS environment. Landsat imagery belonging to the years 1987 and 2001 was used for change detection. Then, using Multilayer Perceptron neural network transition potentials was implemented for 7 sub-models and finally, land cover change modeling for 2006 with 1987-2001 calibration period and by Markov Chain and hard prediction was run. The accuracy of the assessment model was determined by using the Null Successes, Hits, False Alarms, and Misses. Finally, land cover change prediction was done for 2015. The result showed that during 1987–2001, respectively, 1964 and 1197 ha from forest and orchard were reduced, and 1182 and 1978 ha agriculture and residential were added. The results showed high accuracy (67-89%) in all the sub-models. Total error prediction model was 9.98%. Furthermore, the prediction results showed that forest areas will be reduced and residential, agriculture and orchard will be increased in 2015 compared with 2006.

Key words: Artificial Neural Network, Land Cover Change Modeling, Remote Sensing, Accuracy Assessment, East of Mzandaran Province.

کاربرد روش پرسپترون چندلایه شبکه عصبی مصنوعی در مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی شرق استان مازندران

شریف جورابیان شوشتری^{*}، کارشناس ارشد محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران
عباس اسماعیلی ساری، استاد گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران
سید محسن حسینی، استاد گروه جنگل داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران
مهدی غلامعلی‌فرد، استادیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران

وصول: ۱۳۹۱/۱۰/۰۶ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۱۴، صص ۱۴۴-۱۲۵

چکیده

این مطالعه با هدف پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی شرق استان مازندران (شهرستان‌های نکا، بهشهر و توابع آنها) با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی در محیط GIS انجام شد. تصاویر ماهواره لندست^۱ متعلق به سال‌های ۱۳۶۶ و ۱۳۸۰ برای آشکارسازی تغییرات منطقه به کار رفت؛ سپس با بهره‌گیری از پرسپترون چند لایه^۲ شبکه عصبی مصنوعی، مدل‌سازی پتانسیل انتقال برای ۷ زیرمدل اجرا شد و در نهایت مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی با دوره واسنجی ۱۳۶۶-۱۳۸۰ برای سال ۱۳۸۵ با زنجیره مارکف و مدل پیش‌بینی سخت انجام پذیرفت. ارزیابی صحت مدل با بهره‌گیری از مقادیر موفقیت خنثی، موفقیت، خطا و هشدار خطا تعیین و در نهایت پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی برای سال ۱۳۹۴ انجام شد. نتایج نشان داد طی سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۸۰، به ترتیب ۱۹۶۴ و ۱۱۹۷ هکتار از وسعت جنگل‌ها و باغ‌ها کاسته و ۱۱۸۲ و ۱۹۷۸ هکتار به وسعت اراضی کشاورزی و مناطق مسکونی اضافه شده است. نتایج مدل‌سازی پتانسیل انتقال در همه زیرمدل‌ها صحت زیادی (۶۷-۸۹ درصد) را نشان داد. خطای کل پیش‌بینی مدل ۹/۹۸ درصد بود که نشان‌دهنده کارایی و قابلیت زیاد مدل است. همچنین نتایج پیش‌بینی نشان داد مساحت اراضی جنگلی در سال ۱۳۹۴ نسبت به ۱۳۸۵ کاهش و مناطق مسکونی، اراضی کشاورزی و باغ‌ها افزایش خواهد یافت.

واژه‌های کلیدی: شبکه عصبی مصنوعی، مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی، سنجش از دور، ارزیابی صحت، شرق استان مازندران.

¹ Landsat

² Multilayer Perceptron: MLP

مقدمه

تغییرات کاربری اراضی نتیجه برهم‌کنش پیچیده عوامل فیزیکی، زیستی، اقتصادی و اجتماعی است (Oñate Valdivieso and Sendra, 2010: 256). آشکارسازی تغییرات در سنجش از دور شامل استفاده از دو عکس هوایی یا تصویر ماهواره‌ای از یک منطقه در تاریخ‌های مختلف است که تغییرات را همراه با ویژگی‌های کاربری اراضی توصیف می‌کند (Wang and Jun Xu, 2010: 312). پایش تغییرات درست و به‌موقع پدیده‌های سطح زمین، پایه‌ای را برای درک بهتر روابط و برهم‌کنش بین پدیده‌های طبیعی و انسانی فراهم می‌سازد (Berberoglu and Akin, 2009: 46). پایش تغییرات کاربری اراضی در ارتباط با اکولوژی، جنگل‌زدایی، بیابان‌زایی، شهرنشینی، مدیریت پایدار منابع طبیعی، پایداری اکولوژیک، شناسایی و مدل‌سازی آثار تغییرات آب و هوا انجام می‌شود (Lambin and Ehrlich, 1997: 181; López et al, 2001: 271; Russell-Smith et al, 2003: 283; Lo and Quattrochi, 2003: 1053; Fraser et al, 2005: 414).

همراه با روند افزایش شهرنشینی، بخش زیادی از اراضی طبیعی مانند جنگل‌ها، مراتع و تالاب‌ها به زمین‌های کشاورزی و مناطق مسکونی تبدیل شده‌اند. تغییرات کاربری اراضی با افزایش حجم فاضلاب‌های شهری، صنعتی، رواناب‌های کشاورزی، تغییر در میزان و سهم مواد مغذی و آلاینده در دسترس، کیفیت آب‌های سطحی را در بسیاری از نقاط در معرض مخاطره جدی قرار داده است. همچنین تبدیل سرزمین‌های بکر و دست‌نخورده، به‌ویژه اراضی جنگل به زمین‌های کشاورزی سبب افزایش بار

آلاینده‌های غیرنقطه‌ای چون رسوب، نیتروژن و فسفر به آب‌ها به علت افزایش فرسایش خاک، کاربرد گسترده کودها و آفت‌کش‌ها می‌شود. افزایش رسوبات سبب کاهش شفافیت و تغییرات عمیق در اکولوژی آبزیان خواهد شد. به‌واسطه این آثار بزرگ، آشکارسازی و مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی به مبحث مهمی در مدیریت محیط زیست و آمایش سرزمین تبدیل شده است (Yu et al, 2011: 600).

مدل‌های تغییرات کاربری اراضی، ابزارهایی برای تحلیل دلایل و پیامدهای تغییرات کاربری اراضی به‌منظور درک بهتر عملکرد سیستم‌های کاربری اراضی، مدیریت کاربری اراضی و شناسایی زون‌های حساس‌اند. همچنین این مدل‌ها تغییرات پوشش اراضی را در آینده با توجه به موضوعات مختلف شناسایی می‌کنند. در همین راستا مدل‌ساز تغییر سرزمین^۱ برای ایجاد توسعه پایدار بوم‌شناختی، راه‌حلی نرم‌افزاری است که به‌منظور تشخیص مسئله مبرم و رو به افزایش تبدیل زمین و نیازهای ویژه تحلیلی حفظ تنوع زیستی طراحی و ساخته شده است و به‌صورت پیش‌فرض درون سامانه نرم‌افزاری IDRISI وجود دارد؛ همچنین به‌صورت برنامه عمودی برای ArcGIS از شرکت ESRI در دسترس است. LCM، ابزاری را در اختیار قرار می‌دهد که به کمک آن امکان ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات پوشش اراضی و تأثیرات آن بر زیستگاه گونه‌ها و تنوع زیستی فراهم می‌شود. دلایل انتخاب این مدل در این مطالعه عبارت‌اند از: سادگی، سازگاری آسان با مشکلات مختلف و داده‌ها، خروجی‌های متنوع و کاربردی،

¹ Land Change Modeler: LCM

هیرکانی، در سال ۱۳۹۴ با استفاده از مدل LCM انجام شد. شبکه عصبی مصنوعی در مدل‌سازی تغییر سرزمین با توجه به کارایی بیشتر آن نسبت به سایر روش‌ها برای مدل‌سازی پتانسیل انتقال از یک کاربری به نوع دیگر به کار رفت (Eastman et al, 2005: 372; Sangermano et al, 2012: 574). این پژوهش در ۵ مرحله اجرا شد: تولید نقشه‌های کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای سال‌های ۱۳۶۶، ۱۳۸۰ و ۱۳۸۵؛ تحلیل تغییرات کاربری اراضی طی سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۸۰؛ مدل‌سازی پتانسیل انتقال با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی؛ شبیه‌سازی نقشه کاربری اراضی در سال ۱۳۹۴ و ارزیابی صحت مدل‌سازی.

پیشینه پژوهش

ویلسون و ونگ^۱ (۲۰۱۱) تأثیرات آینده تغییرات کاربری اراضی و اقلیم را بر کیفیت آب‌های سطحی در حوضه آبخیز دس‌پلینز^۲ بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۰ بررسی کردند. در این مطالعه از LCM برای پیش‌بینی سه سناریوی برنامه‌ریزی تغییرات آینده سرزمین استفاده شد. هر سناریو به ترتیب رشد مسکونی با تراکم کم، رشد معمول شهر و رشد تجاری را بررسی کرد. الگوهای آینده اقلیم با پنل بین‌الدول تغییرات اقلیم^۳ آزمایش شد. همچنین به‌منظور پیش‌بینی غلظت فسفر و کل ذرات معلق تولیدشده در فواصل زمانی ۱۰ساله، ابزار ارزیابی آب و خاک به کار رفت. نتایج این مطالعه نشان داد توسعه شهری با تراکم زیاد یا متوسط، میزان غلظت مواد

اجرای آسان (اجرا در محیط ویندوز)، مدل‌سازی پتانسیل انتقال با سه روش شبکه عصبی مصنوعی، رویه یادگیری بر مبنای نمونه وزنی مشابهت و رگرسیون لجستیک؛ ضمن اینکه تاکنون از این مدل برای مدل‌سازی روند تغییرات کاربری اراضی در ایران استفاده نشده و در سایر نقاط جهان نیز استفاده اندکی شده است (Khoi and Murayama, 2010: 1249; Wilson and Weng, 2011: 4387; Thapa and Murayama, 2011: 25; Pérez-Vega et al, 2012: 8; Gontier et al, 2010: 11). مدل‌سازی با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و داده‌های سنجش از دور برای شبیه‌سازی چگونگی تغییر اجزای سیمای سرزمین طی زمان و مکان استفاده می‌شود و همچنین انواع مختلف موضوعات تغییر کاربری اراضی را در آینده بررسی می‌کند.

جنگل‌های هیرکانی در شمال ایران، منبع مهم تنوع زیستی، زیستگاه‌های مختلف و تولید چوب تجاری است و نقشی حیاتی را در حفاظت خاک، نگاهداشت کربن، تلطیف هوا و تصفیه آب اعمال می‌کند (Joorabian Shooshtari et al, 2018: 756). مساحت این جنگل‌ها از ۳/۶ میلیون هکتار در سال ۱۹۴۲ به ۳/۴ میلیون هکتار در سال ۱۹۶۴ و ۱/۹۲ میلیون هکتار در سال ۱۹۹۰ کاهش یافته است. تبدیل این جنگل‌ها به انواع دیگر کاربری‌های اراضی (نظیر اراضی کشاورزی، باغ و مناطق مسکونی)، یکی از مشکلات عمده در سال‌های اخیر محسوب می‌شود و آثاری را بر کاهش تنوع زیستی و خدمات اکوسیستمی دارد (Joorabian Shooshtari and Gholamalifard, 2015: 2). در همین راستا این پژوهش با هدف پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی شرق استان مازندران، بخش کوچکی از جنگل‌های

¹ Wilson & Weng

² Des Plaines

³ IPCC= Intergovernmental Panel on Climate Change

بولیوین آمازون^۵ و کاربرد آن در پروژه‌های REDD+ بهره‌گرفتند.

کاماچو المدو و همکاران^۶ (۲۰۱۵) مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی را در حوضه آبخیز سگورا^۷ جنوب اسپانیا با استفاده از LCM انجام دادند. آنها از تصاویر ماهواره‌ی لندست مربوط به سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰ برای مدل‌سازی پوشش اراضی سال ۲۰۰۶ بهره‌بردند که نتایج از دقت زیادی برخوردار بود.

آناند و همکاران^۸ (۲۰۱۸) از LCM برای مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی حوضه آبخیز گانگا^۹ در سال‌های ۲۰۳۰، ۲۰۶۰ و ۲۰۹۰ و ارزیابی آثار تغییر کاربری بر توازن آب استفاده کردند. آنها برای این منظور از سه نقشه کاربری اراضی متعلق به ماهواره لندست و سنجدۀ TM در سال‌های ۱۹۸۵، ۱۹۹۵ و ۲۰۰۵ با هدف بررسی روند تاریخی تغییرات منطقه پژوهش بهره‌بردند. همچنین از شبکه عصبی مصنوعی برای تولید نقشه‌های پتانسیل انتقال و از زنجیره مارکف برای کمی کردن انتقال از یک کاربری به کاربری دیگر بهره‌جستند. نقشه‌های ۱۹۸۵ و ۱۹۹۵ به‌منزله لایه‌های مشاهداتی برای کالیبراسیون مدل LCM و نقشه واقعیت زمینی سال ۲۰۰۵ برای مقایسه با نقشه پیش‌بینی‌شده سال ۲۰۰۵ و صحت مدل به کار رفت. نتایج نشان‌دهنده کارایی زیاد مدل LCM در شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی بود.

ابولایش و کاماچو المدو^{۱۰} (۲۰۱۶) سناریوسازی برای شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی سال ۲۰۲۳

جامد معلق را کاهش می‌دهد. ترکیب بررسی تغییر اقلیم و تغییر کاربری اراضی نشان داد برنامه‌های توسعه کاربری اراضی به کاهش مشکلات بالقوه آینده کیفیت آب کمک می‌کند. این مطالعه نگرش مهمی را به پیامدهای مخرب احتمالی روی کیفیت آب سطحی و منابع ناشی از تغییرات اقلیمی خاص و موضوعات مختلف کاربری اراضی شکل می‌دهد.

مانسی و همکاران^۱ (۲۰۱۲) مدل‌سازی مکانی - زمانی تغییرات الگوی جنگل دهرادون^۲ را در هندوستان با استفاده از LCM بررسی کردند. متغیرهای شیب، ارتفاع، جهت، فاصله از جاده، فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از زهکش و احتمال تجربی به تغییر برای مدل‌سازی پتانسیل انتقال با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی استفاده شدند. مقایسه نقشه پیش‌بینی‌شده به‌وسیله مدل با نقشه واقعیت زمینی سال ۲۰۰۶، صحت ۰.۶۱/۰۳٪ را نشان داد که با توجه به تعداد زیاد کلاس‌های کاربری اراضی پذیرفته است.

تاپا و مورایاما^۳ (۲۰۱۱) از مدل LCM برای شبیه‌سازی توسعه شهر نیال با بهره‌گیری از سه سناریو استفاده کردند. نتایج نشان داد فرایند توسعه در مرحله بحرانی است و نیاز به اجرا و پیاده‌سازی سناریوهای حفظ منابع محیط زیستی برای مدیریت پایدار و بهبود فضای شهر به جای سناریوی تاریخی دارد.

سانگرمانو و همکاران^۴ (۲۰۱۲) از LCM برای مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی سال ۲۰۵۰ در

⁵ Bolivian Amazon

⁶ Camacho Olmedo

⁷ Segura

⁸ Anand et al

⁹ Ganga

¹⁰ Abuelaish & Camacho Olmedo

¹ Munsu et al

² Dehradun

³ Thapa & Murayama

⁴ Sangermano et al

شد (جدول ۱). از آنجایی که تفکیک و شناسایی پدیده‌ها به لحاظ رنگ نتایج بهتری ارائه می‌دهد و همچنین به منظور بارسازی تصاویر و تجسم انواع کاربری‌ها در منطقه، تصویر رنگی کاذب هر تاریخ با استفاده از ترکیب DNS باندهای ۲ (سبز)، ۳ (قرمز) و ۴ (مادون قرمز نزدیک) تولید شد (Shalaby and Tateishi, 2007: 33). این اطلاعات با تصاویر با وضوح زیاد به دست آمده از Google Earth تکمیل شدند. در ادامه روش طبقه‌بندی نظارت شده برای تهیه نقشه‌های پوشش اراضی به کار رفت.

به طور کلی روش‌های طبقه‌بندی به روش‌های نظارت شده (مانند حداکثر احتمال و کمترین فاصله) و نظارت نشده (نظیر Iso data و K-means) تقسیم‌بندی می‌شوند. روش حداکثر احتمال استفاده شده در این پژوهش، یکی از کاراترین روش‌های طبقه‌بندی تصاویر است و در مطالعات متعددی، دقیق‌ترین روش طبقه‌بندی معرفی شده است (سارویی، ۱۳۷۸: ۵۵؛ یوسفی و همکاران، ۱۳۹۳: ۶۸؛ Eastman, 2006: 167).

نخستین گام در انجام یک طبقه‌بندی نظارت شده، تعریف مناطقی است که به منزله نمونه‌های تعلیمی برای هر کلاس استفاده می‌شوند. برای این مرحله با تفسیر بصری تصویر ترکیب رنگی کاذب و با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور (<http://www.ncc.org.ir>)، نمونه‌های تعلیمی برای هر کلاس تعریف شدند (Rafiee et al, 2009: 434). چهار کلاس کاربری اراضی در منطقه تعریف شدند: جنگل پهن‌برگ، اراضی کشاورزی، مناطق مسکونی و باغ‌ها؛ سپس نمونه‌های تعلیمی به شیوه رقومی کردن روی صفحه رقومی شدند.

در گازا استریپ^۱ با استفاده از مدل‌های LCM، CA-Markov و Geomod انجام دادند. پیش‌بینی وسعت منطقه شهری افزایش ۲۱۲/۳ کیلومتر مربع در مدل‌های استفاده شده نشان داد و درصد منطقه شهری حدود ۵۸/۸۳٪ در سال ۲۰۲۳ خواهد بود.

لولو و همکاران^۲ (۲۰۱۹) از مدل LCM برای تحلیل تغییرات کاربری اراضی و ارزیابی آثار آن بر فرسایش‌پذیری خاک استفاده کردند. عمده‌ترین تغییرات طی سال‌های ۱۹۹۵-۲۰۰۵ در کاهش مناطق جنگلی و افزایش در وسعت مراتع دیده شد. طی سال‌های ۲۰۰۵-۲۰۱۵ نیز کاهش پیوسته در اراضی جنگلی و افزایش در مراتع دیده شد.

کاستیلو و همکاران^۳ (۲۰۱۴) تأثیر تغییرات را در اراضی توسعه یافته و باران را بر هیدرولوژی حوضه آبخیز آراناس^۴ در تگزاس بررسی کردند. در این مطالعه مدل LCM حدود ۷۰ درصد افزایش را در مناطق توسعه یافته سال ۲۰۳۰ پیش‌بینی کرد.

روش‌شناسی پژوهش

تهیه نقشه‌های پوشش اراضی

به منظور مطالعه پویایی سرزمین لازم است نقشه‌هایی تهیه شوند که وضعیت سرزمین را در زمان‌های مختلف نشان می‌دهند (Oñate-Valdivieso and Sendra, 2010: 257). در این پژوهش برای تهیه نقشه‌های پوشش اراضی منطقه از تصاویر ماهواره لندست و سنجنده‌های TM (۲۴ خرداد ۱۳۶۶) و ETM+ (۸ مرداد ۱۳۸۰ و ۷ شهریور ۱۳۸۵) استفاده

¹ Gaza Strip

² Lollo

³ Castillo

⁴ Aransas

مختلف اجرا شود. پس از انجام این مرحله ۷ زیرمدل برای مدل‌سازی پتانسیل انتقال با پرسپترون چندلایه شبکه عصبی مصنوعی در مدل‌سازی تغییر سرزمین در نرم‌افزار Idrisi با استفاده از متغیرهای مدل رقومی ارتفاعی (DEM)، شیب، فاصله از مناطق مسکونی در سال ۱۳۶۶، فاصله از زمین‌های کشاورزی در سال ۱۳۶۶، فاصله از جنگل در سال ۱۳۶۶، فاصله از جاده‌ها، فاصله از رودخانه‌ها و متغیر کیفی پوشش اراضی در نظر گرفته شدند (Pijanowski et al, 2002: 555). برای تولید متغیر کیفی پوشش اراضی نقشه انتقال از کل کاربری‌ها به مناطق مسکونی، کشاورزی و باغ از ۱۳۶۶ به ۱۳۸۰ تهیه و سپس با استفاده از ابزار تغییر شکل Evidence Likelihood و نقشه پوشش اراضی سال قدیمی‌تر در ورودی مدل، متغیرهای کیفی تولید شدند. متغیرهای فاصله از مناطق مسکونی و جاده‌ها به منزله متغیرهای پویا در نظر گرفته و در ۵ مرحله دوباره محاسبه شدند. شبکه‌های عصبی مصنوعی، ابزاری قوی هستند که از رویکرد آموزش برای کمی‌کردن و مدل‌سازی رفتار و الگوهای پیچیده استفاده می‌کنند. پرسپترون چندلایه، الگوریتمی غیرپارامتریک است که ارتباط پیچیده را بین یک مجموعه متغیر و یک مجموعه خروجی برآزش می‌دهد؛ حتی اگر بین متغیرها ارتباط خطی هم وجود داشته باشد (Lin et al, 2014: 281).

به‌منظور انتخاب متغیرهای مؤثر از ضریب Cramer's V استفاده شد که نشان‌دهنده میزان ارتباط بین متغیرها و تغییرات کاربری اراضی است. این ضریب مبنی بر آماره کای - اسکور است که مقادیر را در یک بازه از ۰ تا ۱ نشان می‌دهد و در آن ۱ بیان‌کننده توافق کامل بین دو متغیر اسمی است.

در مرحله دوم، تفکیک‌پذیری نمونه‌های تعلیمی انجام شد. مرحله سوم طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای است که روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال به کار رفت (امیدی‌پور و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۰۴؛ علی‌بخشی و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۵). درنهایت به‌منظور حذف قطعات کوچک و ساده‌سازی تصاویر حاصل از طبقه‌بندی‌ها از فیلتر مد^۱ بهره گرفته شد.

تحلیل تغییرات با استفاده از مدل‌سازی تغییر سرزمین

این مدل به دو نقشه پوشش اراضی متعلق به زمان‌های مختلف به‌مثابه ورودی نیاز دارد (Mas et al, 99: 2014). در این مطالعه نقشه‌های تولیدشده در سال‌های ۱۳۶۶ و ۱۳۸۰ به‌مثابه ورودی مدل برای تحلیل تغییرات منطقه انتخاب و کاهش‌ها و افزایش‌ها در هر کاربری، تغییر خالص (از تفریق مساحت کاهش‌یافته به مساحت افزایش‌یافته در یک طبقه کاربری محاسبه می‌شد)، تغییرات ویژه بین دو کاربری مدنظر (برای نمونه چه میزان اراضی کشاورزی به باغ انتقال پیدا کرده‌اند و بالعکس) و انتقال از هر کاربری به نوع دیگر (نظیر انتقال از جنگل به مناطق شهری) در طبقات مختلف پوشش اراضی به‌صورت نقشه و نمودار ارزیابی شدند (تمام خروجی‌های این مرحله برپایه پیکسل به پیکسل‌اند) (Munsi et al, 2012: 622)؛ (شکل ۲).

مدل‌سازی پتانسیل انتقال (Transition Potential)

برای انتخاب زیرمدل‌هایی با بیشترین دقت ضروری است مدل چندین مرتبه با سناریوهای

¹ Mode

دو مرحله برای مدل‌سازی تغییرات پوشش اراضی سال ۱۳۹۴ به کار برده شد؛ در مرحله اول با استفاده از نقشه‌های پوشش سرزمین سال‌های ۱۳۶۶ و ۱۳۸۰، نقشه پوشش سرزمین سال ۱۳۸۵ که مبنی بر روش تخصیص سرزمین چندمنظوره است، به منظور مقایسه با نقشه واقعیت زمینی سال ۱۳۸۵ شبیه‌سازی شد. پس از این مرحله و اطمینان از صحت مدل‌سازی، از نقشه‌های پوشش سرزمین سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۸۵ برای تولید نقشه پوشش سرزمین سال ۱۳۹۴ استفاده شد.

ارزیابی صحت مدل

خطا و صحت پیش‌بینی مدل براساس سه نقشه پوشش اراضی ۱۳۸۰، ۱۳۸۵ و واقعیت زمینی و ۱۳۸۵ حاصل از مدل‌سازی ارزیابی شد. نقشه خروجی تولیدشده شامل ۴ نوع پیکسل است: موفقیت خنثی^۱ (نقشه واقعیت زمینی ثابت مانده و نقشه پیش‌بینی شده با مدل نیز ثابت است)، موفقیت^۲ (مدل تغییر را بین سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۵ پیش‌بینی می‌کند و نقشه واقعیت زمینی نیز تغییر را از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۵ نشان می‌دهد)، خطا^۳ (مدل بدون تغییر را بین ۱۳۸۰ و ۱۳۸۵ پیش‌بینی می‌کند؛ در صورتی که نقشه واقعیت زمینی پیش‌بینی شده با واقعیت زمینی تغییر یافته است) و هشدار خطا^۴ (مدل تغییر را طی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۵ پیش‌بینی می‌کند؛ در صورتی که نقشه واقعیت زمینی بدون تغییر را نشان می‌دهد). کل خطای پیش‌بینی مدل برابر است با مجموع خطا و هشدار خطا (Chen and Pontius Jr, 2010: 1323). ضمناً مراحل مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی نیز در شکل (۳) نشان داده شده است.

زیرمدل‌های استفاده‌شده در پژوهش عبارت‌اند از: جنگل به اراضی کشاورزی، جنگل به مناطق مسکونی، جنگل به باغ، اراضی کشاورزی به مناطق مسکونی، اراضی کشاورزی به باغ، باغ به مناطق مسکونی و باغ به اراضی کشاورزی. انتخاب اندازه نمونه برای اجرای شبکه عصبی مصنوعی در هر زیرمدل به صورت کمترین سلول‌هایی است که بین سال‌های ۱۳۶۶ و ۱۳۸۰ انتقال می‌یابد و ۵۰٪ برای آموزش و ۵۰٪ برای آزمون استفاده شد. خروجی این قسمت، پتانسیل انتقال از هر کاربری به نوع دیگر است که به صورت کمی نمایش داده می‌شود (Eastman, 2006: 207).

مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی

تخصیص تغییر از هر کاربری به نوع دیگر با استفاده از زنجیره مارکف محاسبه شد (قربانی و همکاران، ۱۳۹۲: ۲۲؛ Fan et al, 2008: 133; Coppedge et al, 2007: 1386). LCM از ماتریس مارکف برای برون‌یابی کردن میزان هر انتقال شبیه‌سازی شده استفاده می‌کند. ماژول مارکف در نرم‌افزار IDRISI یک ماتریس مارکف را مبنی بر نقشه‌های دو زمان مختلف در مرحله کالیبراسیون محاسبه می‌کند. ردیف‌های این ماتریس کلاس‌های میزبان (طبقاتی که مساحتی را از دست می‌دهند) را در زمان T0 و ستون‌ها، و کلاس‌های مدعی (طبقاتی که مساحتی را به دست می‌آوردند) را در زمان T1 نشان می‌دهند. این ماتریس میزانی را ثبت می‌کند که از هر کلاس میزبان در زمان T0 به کلاس مدعی در زمان T1 انتقال می‌یابد. میزان ثابت در هر کلاس نیز در قطر این ماتریس نشان داده می‌شود (Camacho Olmedo et al, 2015: 215).

¹ Null Success

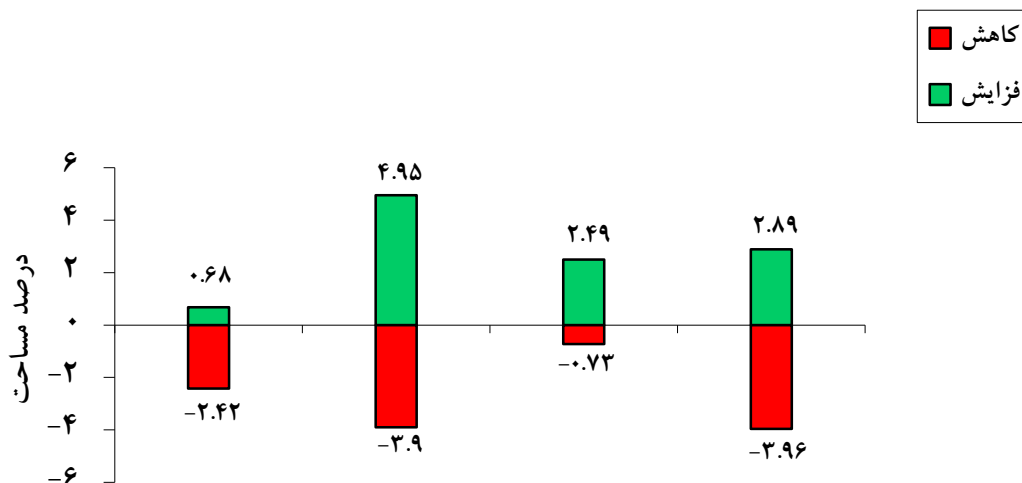
² Hit

³ Miss

⁴ False Alarm

جدول ۱. مشخصات تصاویر ماهواره‌ای استفاده‌شده

تاریخ میلادی	سنجنده	ماهواره	اندازه پیکسل (متر)	تعداد باندها
۱۹۸۷/۶/۱۴	TM	Landsat-5	۳۰	۷
۲۰۰۱/۷/۳۰	ETM+	Landsat-7	۲۸/۵	۸
۲۰۰۶/۸/۲۹	ETM+	Landsat-7	۲۸/۵	۸



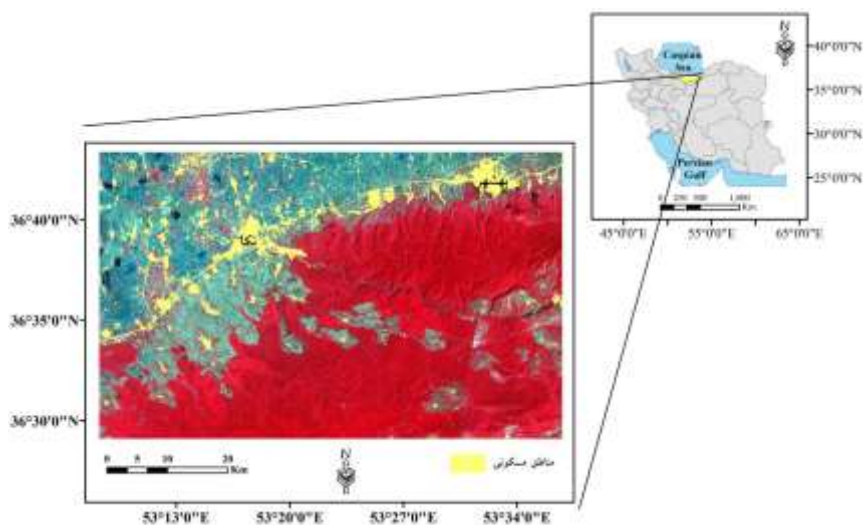
شکل ۱. کاهش و افزایش در کاربری‌ها (به ترتیب از چپ به راست: جنگل، اراضی کشاورزی، مناطق مسکونی و باغ) برحسب درصد مساحت بین ۱۳۶۶-۱۳۸۰

با بیش از ۵۰ و ۳۵ درصد به ترتیب کاربری‌های غالب منطقه‌اند. رودخانه نکا، یکی از رودخانه‌های مهم و پرآب استان مازندران است و از کوه بزرگی در ۳۶ کیلومتری جنوب شرقی گرگان سرچشمه می‌گیرد. این رودخانه با جهت شرقی غربی از شهر نکا عبور می‌کند و در ۲۲ کیلومتری شمال غربی نکا وارد دریای خزر می‌شود (Gholami et al, 2009: 61). اقلیم منطقه با توجه به منحنی آمبروترمیک نیمه‌مرطوب معتدل و نیمه‌مرطوب سرد است (Talebi Amiri et al, 2009: 135). کمترین و بیشترین ارتفاع منطقه به ترتیب ۱۲- و ۱۲۸۳ متر است.

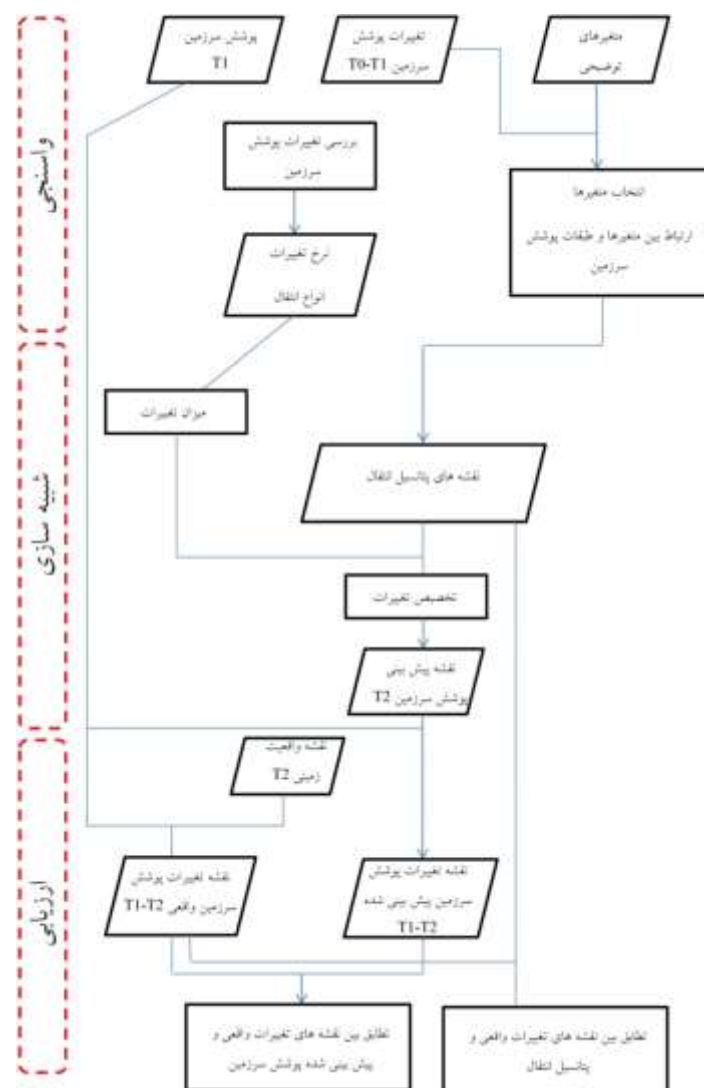
محدوده پژوهش

نکا و بهشهر به ترتیب با جمعیت ۴۶۲۹۱ و ۱۰۵۶۵۱ نفر، دو شهر مهم و صنعتی موجود در منطقه‌اند. از طرف دیگر، این دو شهر رشد و توسعه نسبتاً سریعی داشته‌اند. نکا در ۲۰ کیلومتری شرق ساری و نزدیک خلیج میانکاله واقع شده است. این دو شهر از نواحی گردشگری پذیر در استان‌اند و جاذبه‌هایی زیبا دارند.

منطقه پژوهش با مساحت ۱۱۲۵۴۳ هکتار و با مختصات جغرافیایی ۵۳°۸ تا ۵۳°۳۶ طول شرقی و ۲۹°۳۶ تا ۴۳°۳۶ عرض شمالی در شرق استان مازندران قرار گرفته است (شکل ۱). جنگل و اراضی کشاورزی



شکل ۲. موقعیت منطقه پژوهش در استان مازندران و تصویر ترکیب رنگی کاذب منطقه



شکل ۳. مراحل مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی

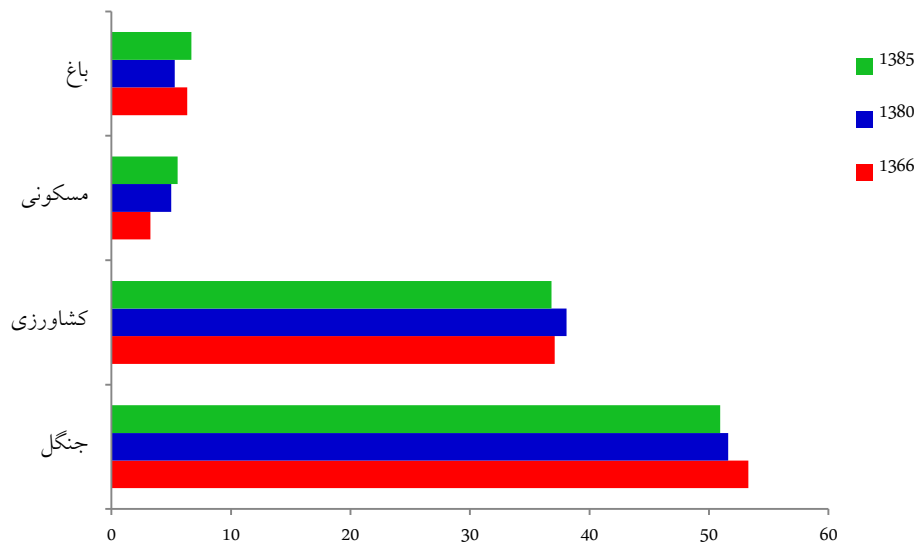
یافته‌های پژوهش

آشکارسازی تغییرات

مساحت هر کاربری به درصد در سال‌های ۱۳۶۶، ۱۳۸۰ و ۱۳۸۵ در شکل (۴) نشان داده شده است. طی سال‌های ۱۳۶۶، ۱۳۸۰، ۱۹۶۴ هکتار از وسعت جنگل کاسته شده است. به ترتیب ۱۱۸۲ و ۱۹۷۸ هکتار به وسعت اراضی کشاورزی و مناطق مسکونی طی سال‌های ۱۳۶۶-۱۳۸۰ اضافه شده است. باغ‌ها نیز طی این دوره به میزان ۱۱۹۷ هکتار کاهش یافتند. طی این دوره میزان تغییر خالص از جنگل به اراضی کشاورزی، مناطق مسکونی و باغ به ترتیب ۱۰۰۹، ۴۲ و ۹۱۲ هکتار بوده است. میزان تغییر خالص از اراضی کشاورزی و باغ به مناطق مسکونی نیز به ترتیب ۱۴۳۰ و ۵۰۶ هکتار بوده است. ۱۶۰۲ هکتار نیز میزان تغییر خالص از باغ به اراضی کشاورزی بوده است.

مدل‌سازی پتانسیل انتقال

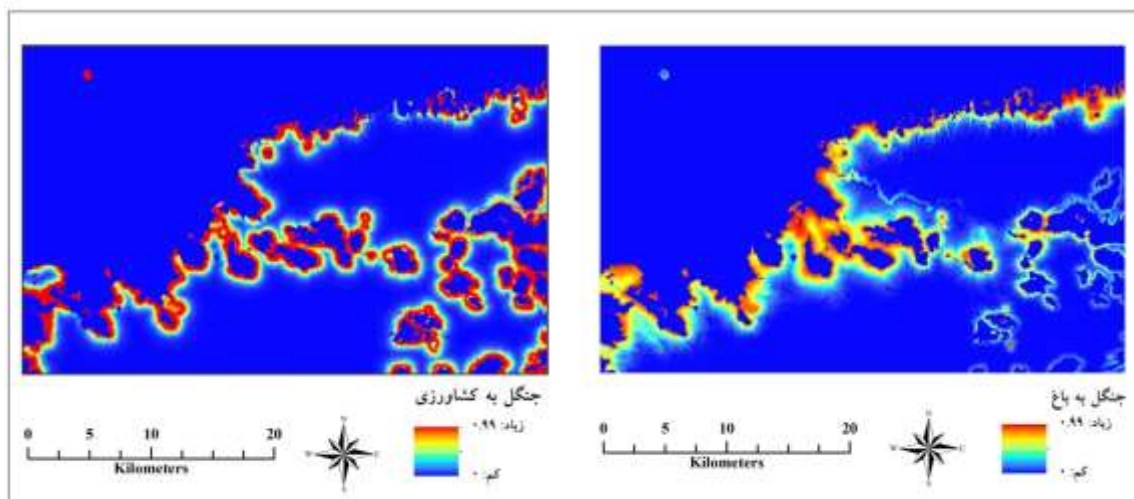
نتایج ضرایب Cramer's V برای متغیرهای مختلف در جدول (۲) آورده شده است. متغیر کیفی استفاده‌شده در زیرمدل توسعه مسکونی، بیشترین مقدار و متغیر فاصله از رودخانه، کمترین میزان Overall Cramer's V را نشان دادند. مدل‌سازی پتانسیل انتقال با استفاده از روش پرسپترون چندلایه شبکه عصبی مصنوعی برای همه زیرمدل‌ها انجام شد. نتایج زیرمدل‌های مناطق جنگلی به اراضی کشاورزی و جنگل به باغ در شکل (۵) نشان داده شده است که پیکسل‌های با ارزش بیشتر پتانسیل بیشتری برای تغییر خواهند داشت. نتایج ارزیابی صحت مدل‌سازی پتانسیل انتقال از یک کاربری به نوع دیگر در جدول (۳) آورده شده است. همه زیرمدل‌ها صحت زیادی (۶۷-۸۹ درصد) را نشان دادند.



شکل ۴. مساحت هر کاربری به درصد در سال‌های ۱۳۶۶، ۱۳۸۰ و ۱۳۸۵

جدول ۲. ضرایب کرامر کاربری‌های مختلف

ضرایب Overall Cramer's V	متغیر
۰,۵۰۶	مدل رقومی ارتفاع
۰,۳۹۳	شیب
۰,۵۲۴	فاصله از مناطق مسکونی در سال ۱۳۶۶
۰,۵۳۹	فاصله از اراضی کشاورزی در سال ۱۳۶۶
۰,۵۵۳	فاصله از جنگل در سال ۱۳۶۶
۰,۳۲۴	فاصله از جاده
۰,۱۲۰	فاصله از رودخانه
۰,۶۷۷	متغیر کیفی در زیرمدل توسعه مسکونی
۰,۶۱۲	متغیر کیفی در زیرمدل توسعه کشاورزی
۰,۵۹۸	متغیر کیفی در زیرمدل توسعه باغ



شکل ۵. نقشه‌های مدل‌سازی پتانسیل انتقال در زیرمدل‌های جنگل به کشاورزی و جنگل به باغ

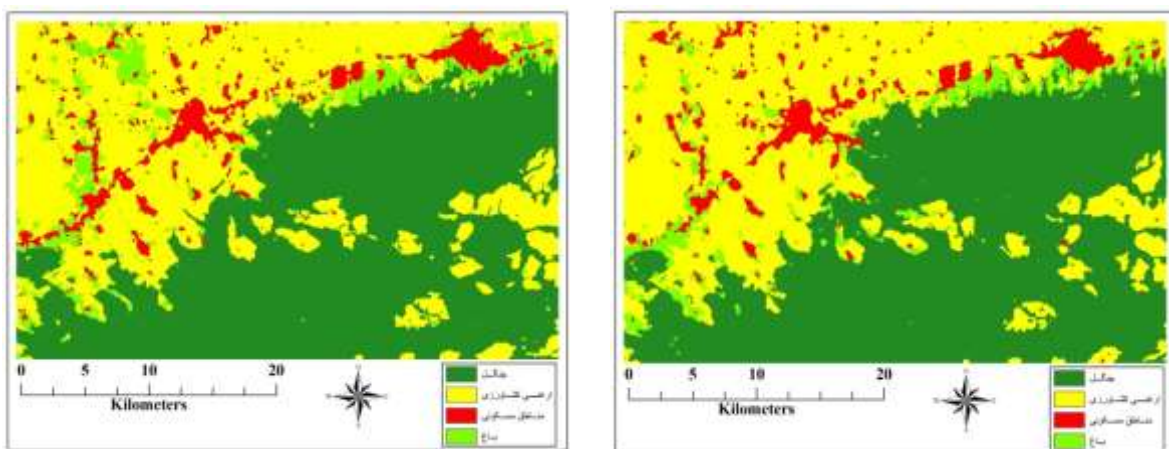
جدول ۳. نتایج شبکه عصبی مصنوعی برای مدل‌سازی پتانسیل انتقال در LCM

خطای تست	خطای آموزش	میزان یادگیری	ارزیابی صحت	زیرمدل
۰/۰۰۱۵۰۶	۰/۰۰۱۴۹۴	۰/۰۰۰۰۵۰	٪۸۹/۳۸	از جنگل به کشاورزی
۰/۰۰۸۹۰۱	۰/۰۰۹۴۸۵	۰/۰۰۰۱۰۰	٪۸۹/۴۳	از جنگل به مسکونی
۰/۰۰۱۹۹۸	۰/۰۰۲۰۰۵	۰/۰۰۰۱۰۰	٪۸۶/۴۶	از جنگل به باغ
۰/۰۰۲۲۴۹	۰/۰۰۲۲۵۷	۰/۰۰۰۰۲۵	٪۶۷/۹۷	از کشاورزی به باغ
۰/۰۰۲۰۰۷	۰/۰۰۱۹۹۹	۰/۰۰۰۰۵۰	٪۷۲/۹۷	از کشاورزی به مسکونی
۰/۰۰۳۱۵۱	۰/۰۰۳۱۷۱	۰/۰۰۰۱۰۰	٪۷۵/۸۶	از باغ به مسکونی
۰/۰۰۱۷۸۷	۰/۰۰۱۷۷۸	۰/۰۰۰۰۲۵	٪۷۰/۷۰	از باغ به کشاورزی

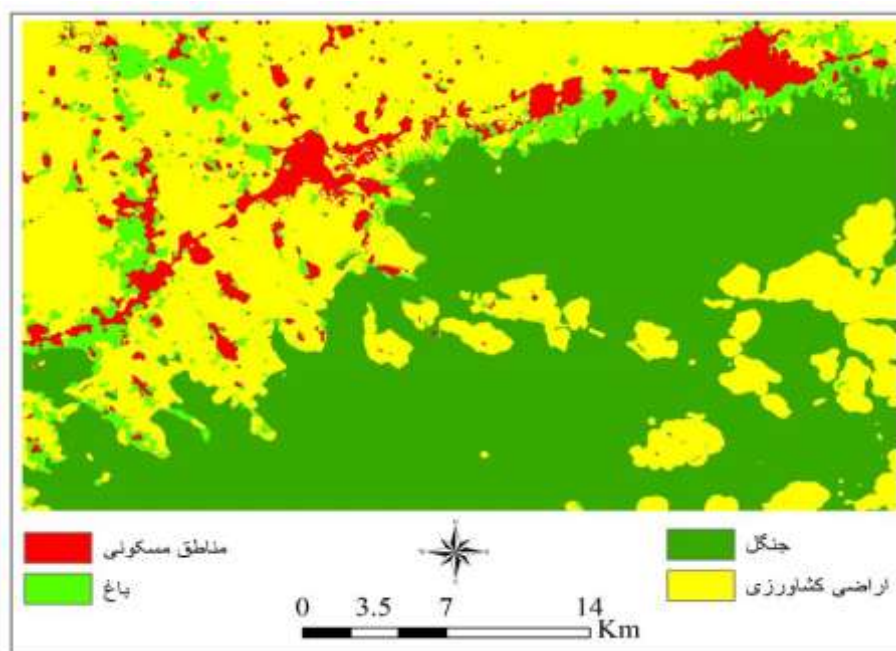
مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی

احتمال انتقال از یک کاربری در سال ۱۳۸۰ به نوع دیگر در سال ۱۳۸۵ با زنجیره مارکف محاسبه شد. بیشترین احتمال انتقال از جنگل به باغ و اراضی کشاورزی به باغ بود. نقشه واقعیت زمینی سال ۱۳۸۵ در مقایسه با نقشه پیش‌بینی شده با مدل نشان داده شده است (شکل ۶). خطای کل پیش‌بینی مدل ۹/۹۸ درصد

بود که نشان‌دهنده کارایی و قابلیت زیاد مدل است. نتایج مدل‌سازی برای سال ۱۳۹۴ نشان داد مساحت کاربری جنگل در این سال نسبت به ۱۳۸۵ کاهش (۲۵۱۶ هکتار) و مناطق مسکونی، اراضی کشاورزی و باغ افزایش (به ترتیب ۳۸۷، ۱۸۶۰ و ۲۶۵ هکتار) خواهد یافت. همچنین نقشه پیش‌بینی شده پوشش سرزمین سال ۱۳۹۴ در شکل ۷ نشان داده شده است.



شکل ۶. نقشه پیش‌بینی شده با شبکه عصبی مصنوعی در LCM (راست) در مقایسه با نقشه واقعیت زمینی سال ۱۳۸۵ (چپ)

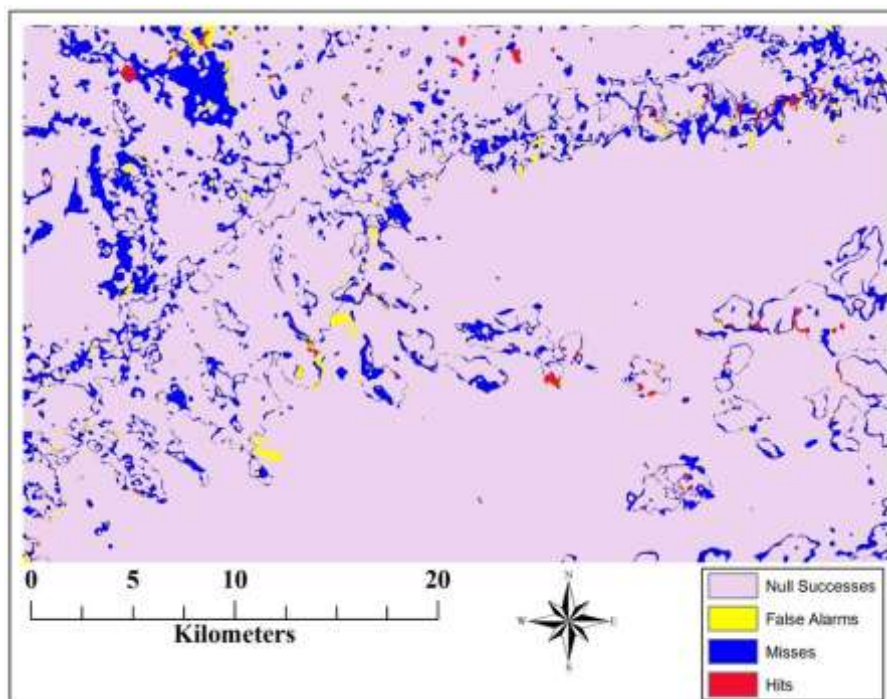


شکل ۷. نقشه پیش‌بینی شده سال ۱۳۹۴

ارزیابی صحت

تصویر واقعیت زمینی است (شکل ۸). کل خطای پیش‌بینی مدل ۹/۹۸ درصد بود که نشان‌دهنده کارایی خوب مدل است. بیشترین مقدار Misses در قسمت شمال غربی منطقه وجود داشت.

نتایج حاصل از ارزیابی مدل نشان داد مقادیر موفقیت خنثی، موفقیت، خطا و هشدار خطا به ترتیب ۸۹/۴۸٪، ۰/۵۲٪، ۹/۱۹٪ و ۰/۷۹٪ بودند که نشان‌دهنده انطباق زیاد تصویر پیش‌بینی شده مدل با



شکل ۸. ارزیابی صحت مدل مبنی بر نقشه‌های پوشش اراضی ۱۳۸۰ واقعیت زمینی، ۱۳۸۵ واقعیت زمینی و ۱۳۸۵ پیش‌بینی شده با LCM

نتیجه‌گیری

تخریب‌ها در حاشیه زمین‌های کشاورزی پیشین به علت در دسترس بودن آنها رخ داده است که نشان‌دهنده تأثیر فعالیت‌های انسانی بر جنگل‌زدایی است. عبدالله و ناکاگوشی^۱ (۲۰۰۶) نیز توسعه کشاورزی را متغیر اصلی در تغییر سرزمین معرفی کردند. مالینیس و همکاران^۲ (۲۰۱۱) نیز عمده‌ترین تغییر کاربری جنگل‌ها را در یونان تبدیل به اراضی

در مطالعه حاضر، از مدل‌سازی GIS و بررسی تغییرات سرزمین به مثابه ابزارهای برنامه‌ریزی نو برای تحلیل پویایی سرزمین در شرق استان مازندران از سال ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۴ استفاده شد. نتایج بررسی تغییرات طی سال‌های ۱۳۶۶-۱۳۸۸، کاهش جنگل‌ها را به میزان ۱۹۶۳ هکتار نشان داد. در این دوره بیشترین میزان تغییر کاربری جنگل‌ها تبدیل به اراضی کشاورزی (۱۰۰۹ هکتار) بوده است. بیشتر این

^۱ Abdullah & Nakagoshi

^۲ Mallinis et al

بین متغیرهای کیفی با تغییرات پوشش سرزمین مبنی بر ضریب کرامر مشخص شد. مانسی و همکاران^۵ (۲۰۱۲) نیز ارتباطی قوی را بین متغیر کیفی با تغییرات پوشش سرزمین در مدل‌سازی الگوی تغییرات جنگل در هندوستان گزارش کردند.

در پژوهش حاضر در شرق استان مازندران متغیرهای ارتفاع، نزدیکی به جنگل، مناطق مسکونی و اراضی کشاورزی، میزان ضریب کرامر بیش از ۰/۵۰ و متغیرهای شیب و فاصله از جاده نیز، ضریب کرامر بیش از ۰/۳ را نشان دادند. بدین معنی که این متغیرها از اهمیت زیادی در توصیف تغییرات برخوردارند. اراسو و همکاران^۶ (۲۰۱۳) نیز گزارش کردند متغیرهای نزدیکی به جاده، شهر و مرتع، محرک‌های اصلی تأثیرگذار بر کاهش جنگل‌های مونتانه^۷ بودند. ارتفاع و نزدیکی به جاده نیز عوامل مهمی در تغییرات جنگل در زمین‌های کم‌ارتفاع سوماترا تشخیص داده شدند (Linkie et al, 2004: 1815). نزدیکی به جاده، شهر و حاشیه جنگل/غیرجنگل در جنوب کامرون متغیرهای مهمی در مدل‌سازی تغییرات جنگل گزارش شدند (Merten and Lambin, 1997: 147). نتایج مطالعه اسپالز و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد شیب و نزدیکی به جاده‌های اصلی تأثیر معناداری بر تغییرات پوشش گیاهی در شیلی دارند. مقایسه متغیرهای استفاده‌شده در پژوهش حاضر با سایر پژوهش‌های مشابه نشان از جامعیت متغیرهای بررسی‌شده در مدل‌سازی پتانسیل انتقال در منطقه مدنظر دارد.

نتایج ارزیابی صحت شبکه عصبی مصنوعی کارایی پذیرفته‌ای را در زیرمدل‌ها نشان داد. در مدل‌سازی

کشاورزی گزارش کردند. کومار و همکاران^۱ (۲۰۱۴) از تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۱۰ برای بررسی تغییرات جنگل در استان چهاتیسگار^۲ کشور هند بهره بردند که نتایج آنها ۱۰۷/۲ کیلومترمربع جنگل‌زدایی را نشان داد. اسپالز و همکاران^۳ (۲۰۱۰) تغییرات کاربری اراضی را طی سال‌های ۱۹۷۵-۲۰۰۸ در مرکز شیلی بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که طی این سال‌ها کاربری جنگل بیشترین کاهش را با ۴۲ درصد در بین سایر کاربری‌ها و با توجه به وسعتش نشان داده است. اسماعیل‌پور پوده و همکاران^۴ (۲۰۰۹) تغییرات جنگل‌ها را در شمال ایران (استان گیلان) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای TM/ETM+ بررسی کردند و عوامل تخریب جنگل‌ها را تبدیل به اراضی کشاورزی، توسعه مناطق مسکونی و جاده‌ها دانستند.

جنگل‌زدایی در منطقه پژوهش آثاری را بر کاهش مواد مغذی ضروری، تنظیم رواناب، اقلیم منطقه، نفوذ باران و جابه‌جایی رسوب خواهد داشت (Joorabian, Shooshtari and Gholamalifard, 2015: 2)؛ بنابراین نیاز است راهبردهایی در ترکیب، آرایش و ساختار کاربری‌های موجود و احیای جنگل‌های هیرکانی در منطقه مطالعه شود.

در مطالعه حاضر از شبکه عصبی مصنوعی به منظور مدل‌سازی پتانسیل انتقال در ۷ زیرمدل استفاده شد. متغیرهای به‌کاررفته در این پژوهش در بیشتر مطالعات مدل‌سازی تغییرات پوشش سرزمین استفاده می‌شوند. در منطقه پژوهش بیشترین ارتباط

⁵ Munsii

⁶ Eraso

⁷ Montane

¹ Kumar

² Chhattisgarh

³ Schulz

⁴ Smailpour PODEH

است که روند تغییرات منطقه در طول دوره واسنجی نسبت به دوره پیش‌بینی مدل متفاوت بوده است (Chen and Pontius Jr, 2010: 1324). در قسمت‌های شمال غربی و غرب منطقه در نقشه واقعیت زمینی سال ۱۳۸۵، وسعت باغ‌ها بسیار زیاد شده است؛ در صورتی که این کاربری در سال ۱۳۸۰ در این نواحی وجود نداشته است؛ به همین علت مدل نیز نتوانسته آنها را پیش‌بینی کند و مقدار خطا زیاد شده است. از دلایل دیگر نیز خطا در طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای است. به‌طورکلی تغییرات کاربری اراضی این منطقه در جهت کاهش اراضی جنگلی و افزایش اراضی کشاورزی و مسکونی بوده است و مدیریت منطقه بایستی به‌منظور حفظ و احیای اراضی جنگلی این منطقه باشد.

جنگل‌های هیرکانی بسیار غنی، با تنوع زیستی زیاد، منحصربه‌فرد و با تاریخ بسیار طولانی‌اند که بعضی از گونه‌های باقی‌مانده آن به دوران Tertiary^۵ بازمی‌گردند؛ بنابراین تغییرات اندک و محدود در این جنگل‌ها بسیار مهم است و آثاری را بر شرایط اکولوژیکی، هیدرولوژی حوزه و جابه‌جایی رسوب بر جا می‌گذارند (Joorabian Shooshtari et al, 2018: 756).

پیشنهاد می‌شود مدل‌سازی پتانسیل انتقال با رگرسیون لجستیک و رویه یادگیری برمبنای نمونه‌زنی مشابهت برای زیرمدل‌های انتخاب‌شده در این پژوهش انجام و نتایج آن با شبکه عصبی مصنوعی مقایسه شود؛ همچنین برای افزایش صحت مدل از تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بیشتر استفاده شود.

پتانسیل انتقال، زیرمدل جنگل به مسکونی بیشترین صحت (۸۹/۴۳٪) و زیرمدل باغ به کشاورزی کمترین صحت (۷۰/۷۰٪) را نشان دادند. در توضیح کارایی بهتر شبکه عصبی مصنوعی، این روش مدل‌سازی ارتباط پیچیده بین متغیرها حتی با وجود هم‌خطی یا وجود متغیرهای بدون معنا را انجام می‌دهد (Sangermano et al, 2012: 574)؛ همچنین هر تابع پیوسته دلخواه را تخمین می‌زند و شبیه‌سازی یک سیستم غیرخطی را بدون فرض قبلی از فرایندها اجرا و راه‌حل خوبی را هنگامی ارائه می‌دهد که داده‌های ورودی ناقص و مبهم‌اند (Zhu et al, 2007: 112).

کیم^۱ (۲۰۱۰) در مدل‌سازی پتانسیل انتقال (در دو زیرمدل جنگل و ساوان به اراضی تخریب‌یافته به دست انسان) با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی به صحتی کمتر (۶۶/۰۳٪) از مطالعه حاضر دست یافت. مشابه نتایج پژوهش حاضر، خوی و موریاما^۲ (۲۰۱۰) به صحت بیش از ۸۰٪ در مدل‌سازی پتانسیل انتقال با MLP دست یافتند. سانگرمانو و همکاران^۳ (۲۰۱۲) نیز برای اجرای مدل‌سازی پتانسیل انتقال در بولیویون آمازون^۴ با شبکه عصبی مصنوعی و اجرای آن در پروژه REDD، میزان یادگیری شبکه را روی ۰/۰۰۰۱ تنظیم کردند و تکرار را تا ۱۵۰۰۰ افزایش دادند که به صحت بسیار پذیرفته‌ای رسیدند.

در مطالعه حاضر، خطای کل پیش‌بینی مدل ۹/۹۸ درصد بود که نشان‌دهنده کارایی و قابلیت زیاد مدل است. در نقشه پیش‌بینی‌شده با مدل مقدار خطا نسبت به موفقیت بیشتر بود که یکی از دلایل آن این

¹ Kim

² Khoi & Murayama

³ Sangermano

⁴ Bolivian Amazon

^۵ (نام دوره‌ای در مقیاس زمانی زمین‌شناسی است که از ۶۶ میلیون سال پیش آغاز شد و تا ۲/۶ میلیون سال پیش ادامه یافت).

سپاسگزاری و قدردانی

بدین‌وسیله مراتب سپاس و قدردانی از دانشگاه تربیت مدرس به دلیل فراهم کردن زمینه و بستر لازم برای انجام این پژوهش علمی کاربردی ابراز می‌شود. همچنین از زحمات و حمایت‌های جناب آقای دکتر سید محمود قاسم‌پوری (هیئت علمی گروه محیط زیست دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس) تقدیر می‌شود.

منابع

امیدی‌پور، رضا، مرادی، حمیدرضا، آرخی، صالح، (۱۳۹۲). مقایسه روش‌های طبقه‌بندی پیکسل پایه و شیء‌گرا در تهیه نقشه کاربری اراضی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، سنجش از دور و GIS ایران، دوره ۵، شماره ۳، ۹۹-۱۱۰.

سارویی، سعید، (۱۳۷۸). بررسی امکان طبقه‌بندی جنگل به لحاظ تراکم در جنگل‌های زاگرس به کمک داده‌های ماهواره‌ای، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: درویش‌صفت، علی‌اصغر، دانشگاه تهران، گروه جنگل.

علی‌بخشی، زهرا، علی‌خواه اصل، مرضیه، رضوانی، محمد، (۱۳۹۴). تهیه نقشه کاربری اراضی تالاب میقان با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده و فازی ۲۰۱۳، انسان و محیط زیست، دوره ۳۲، شماره ۱، ۱۱-۲۳.

قربانی، رسول، پورمحمدی، محمدرضا، محمودزاده، حسن، (۱۳۹۲). رویکرد زیست‌محیطی در مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی محدوده

کلان‌شهر تبریز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه‌ای، ارزیابی چندمعیاری و سلول‌های خودکار زنجیره مارکف (۱۴۱۷-۱۳۶۳)، مطالعات شهری، دوره ۲، شماره ۸، ۱۳-۳۰.

یوسفی، صالح، تازه، مهدی، میرزایی، سمیه، مرادی، حمیدرضا، توانگر، شهلا، (۱۳۹۳). مقایسه الگوریتم‌های مختلف طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در تهیه نقشه کاربری اراضی (مطالعه موردی: شهرستان نور)، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، دوره ۵، شماره ۳، ۶۷-۷۶.

Abdullah, S.A., Nakagoshi, N., (2006). **Changes in land scape spatial pattern in the highly developing state of Selangor, peninsular Malaysia**, Landscape and Urban Planing, Vol 77 (3), Pp 263-275.

Abuelaish, B., Camacho Olmedo, M.T., (2016). **Scenario of land use and land cover change in the Gaza Strip using remote sensing and GIS models**, Arabian Journal of Geosciences, Vol 9, 274 p.

Anand, J., Gosain, A.K., Khosa., R., (2018). **Prediction of land use changes based on Land Change Modeler and attribution of changes in the water balance of Ganga basin to land use change using the SWAT model**, Science of the Total Environment, Vol 644, Pp 503-519.

Berberoglu, S., Akin., A., (2009). **Assessing different remote sensing techniques to detect land use/cover changes in the eastern Mediterranean**, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Vol 11 (1), Pp 46-53.

Camacho Olmedo, M.T., Pontius, R.G., Paegelow, M., and Mas, J., (2015). **Comparison of simulation models in terms of quantity and allocation of land change**, Environmental Modelling & Software, Vol 69, Pp 214-221.

- Gholami, M.H., Mokhayer, B., Bozorgnia, A., and Hosseinzadeh Sahafi, H., (2009). **Prevalence and intensity of parasitic infection from (*Leuciscus cephalus*) and (*Capoeta capoeta gracilis*) of the Neka River**, Journal of Marine Science and Technology Research, Vol 4 (3), Pp 59–66.
- Gontier, M., Mörtberg, U., and Balfors, B., (2010). **Comparing GIS-based habitat models for applications in EIA and SEA**, Environmental Impact Assessment Review, Vol 30 (1), Pp 8-18.
- Joorabian Shooshtari, S., 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, Vol 1, Pp 1–19.
- Joorabian Shooshtari, S., Shayesteh, K., Gholamalifard, M., Azari, M., and López-Moreno, J.I., (2018). **Land cover change modelling in Hyrcanian forests, northern Iran: a landscape pattern and transformation analysis perspective**. Cuadernos de Investigación Geográfica, Vol 44 (2) , Pp 743–761.
- Khoi, D.D., Murayama, Y., (2010). **Forecasting Areas Vulnerable to Forest Conversion in the Tam Dao National Park Region, Vietnam**. Remote Sensing, Vol 2 (5), Pp 1249–1272.
- Kim, O.S. (2010). **An assessment of deforestation models for reducing emissions from deforestation and forest degradation (REDD)**. Transaction in GIS, Vol 14 (5), Pp 631–654.
- Kumar, R., Nandy, S., Agarwal, R., and Kushwaha, S.P.S., (2014). **Forest cover dynamics analysis and prediction modeling using logistic regression model**. Ecological Indicators, Vol 45, Pp 444–455.
- Lambin, E., Ehrlich, D., (1997). **Land-cover changes in sub-saharan Africa (1982–1991): Application of a change index based on remotely-sensed surface temperature and vegetation indices at a**
- Castillo, C.R, Güneralp, I., and Güneralp, B., (2014). **Influence of changes in developed land and precipitation on hydrology of a coastal Texas watershed**, Applied Geography, Vol 47, Pp 154–167.
- Chen, H., Pontius, Jr. R.G., (2010). **Diagnostic tools to evaluate a spatial land change projection along a gradient of an explanatory variable**, Landscape Ecology, Vol 25 (9), Pp 1319-1331.
- Coppedge, B.R., D.M., Engle, S.D., Fuhlendorf., (2007). **Markov models of land cover dynamics in a southern Great Plains grassland region**, Landscape Ecology, Vol 22 (9), Pp 1383-1393.
- Eastman, J.R., (2006). **IDRISI Andes**. Guide to GIS and Image Processing. Clark Labs, Clark University, Worcester, MA.
- Eastman, J.R., (2009). **IDRISI Taiga**. Guide to GIS and Image Processing. Clark Labs, Clark University, Worcester, MA.
- Eastman, J.R., Solorzano, L.A., and Van Fossen., M., (2005). **Transition potential modeling for land-cover change**. In: **Maguire DJ, Batty M, Goodchild MF** (eds) GIS, spatial analysis and modeling. ESRI Press, Redlands, Pp 357-386.
- Eraso, N.R., Armenteras-Pascual, D., and Alumbrosos., J.R., (2013). **Land use and land cover change in the Colombian Andes: dynamics and future scenarios**, Journal of Land Use Science, Vol 8 (2), Pp 154–174.
- Fan, F., Wang, Y., and Wang, Z., (2008). **Temporal and spatial change detecting (1998–2003) and predicting of land use and land cover in Core corridor of Pearl River Delta (China) by using TM and ETM+ images**, Environmental Monitoring Assessment, Vol 137 (1-3), Pp 127-147.
- Fraser, R.H., Abuelgasim, A., and Latifovic, R., (2005). **A method for detecting large-scale forest cover change using coarse spatial resolution imagery**, Remote Sensing of Environment, Vol 95 (4), Pp 414–427.

- Merten, B., Lambin, E.F., (1997). **Spatial modeling of tropical deforestation in southern Cameroon: spatial disaggregation of diverse deforestation processes**, Applied Geography, Vol 17, Pp 143–162.
- Munsi, M., Areendran, G., and Loshi, P.K., (2012). **Modeling spatio-temporal change patterns of forest cover: a case study from the Himalayan foothills (India)**, Regional Environmental Change, Vol 12 (3), Pp 619–632.
- Oñate-Valdivieso, F., Sendra, J.B., (2010). **Application of GIS and remote sensing techniques in generation of land use scenarios for hydrological modeling**, Journal of Hydrology, Vol 395 (3–4), Pp 256–263.
- Pérez-Vega, A., Mas, J., and Ligmann-Zielinska, A., (2012). **Comparing two approaches to land use/cover change modeling and their implications for the assessment of biodiversity loss in a deciduous tropical forest**, Environmental Modelling & Software, Vol 29 (1), Pp 11–23.
- Pijanowski, B.C., Brown, D.G., Shellito, B.A., and Manik, G.A., (2002). **Using neural networks and GIS to forecast land use changes: a Land Transformation Model**, Computers, Environment and Urban Systems, Vol 26 (6), Pp 553–575.
- Rafiee, R., Salman Mahiny, A., and Khorasani, N., (2009). **Assessment of changes in urban green spaces of Mashad city using satellite data**, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Vol 11 (6), Pp 431–438.
- Russell-Smith, J., Yates, C., Edwards, A., Allen, G.E., Cook, G.D., Cooke, P., Craig, R., Heath, B., and Smith, R., (2003). **Contemporary fire regimes of northern Australia, 1997–1380: change since Aboriginal occupancy, challenges for sustainable management**, International Journal of Wildland Fire, Vol 12 (4), Pp 283–297.
- continental scale. Remote Sensing of Environment, Vol 61(2), Pp 181–200.
- Lin, L., Sills, E., and Cheshire, H., (2014). **Targeting areas for Reducing Emissions from Deforestation and forest Degradation (REDD+) projects in Tanzania**. Global Environmental Change, Vol 24, Pp 277–286.
- Linkie, M., Smith, R.J., and Leader-Williams, N., (2004). **Mapping and predicting deforestation patterns in the lowlands of Sumatra**. Biodiversity and Conservation, Vol 13 (10), Pp 1809–1818.
- Lo, C.P., Quattrochi, D.A., (2003). **Land-Use and Land-Cover Change, Urban Heat Island Phenomenon, and Health Implications: A Remote Sensing Approach**. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol 69 (9), Pp 1053–1063.
- Lollo, J.A., Guerrero, J.V.R., Abe, A., and Lorandi, R., (2019). **Land Change, Soil Degradation Processes, and Landscape Management at the Clarinho River Watershed, Brazil**, IAEG/AEG Annual Meeting Proceedings, San Francisco, California, Vol 2, Pp 99–106.
- López, E., Bocco, G., Mendoza, M., and Duhau, E., (2001). **Predicting land-cover and land-use change in the urban fringe: A case in Morelia city, Mexico**. Landscape and Urban Planning, Vol 55 (4), Pp 271–285.
- Mallinis, G., Emmanoloudis, D., Giannakopoulos, V., Maris, F., and Koutsias, N., (2011). **Mapping and interpreting historical land cover/land use changes in a Natura 2000 site using earth observational data: The case of Nestos delta, Greece**, Applied Geography, Vol 31 (1), Pp 312–320.
- Mas, J.F., Kolb, M., Paegelow, M., Carmacho Olmedo, M.T., and Houet, T., (2014). **Inductive pattern-based land use/cover change models: a comparison of four software packages**, Environmental Modeling and Software, Vol 51, Pp 94–111.

- Environmental Sciences, Vol 6 (3), Pp 133-144.
- Thapa, R.B., Murayama, Y., (2011). **Urban growth modeling of Kathmandu metropolitan region, Nepal**. Computers, Environment and Urban Systems, Vol 35 (1), Pp 25–34.
- Wang, F., Jun, Y., Xu., (2010). **Comparison of remote sensing change detection techniques for assessing hurricane damage to forests**, Environmental Monitoring and Assessment, Vol 162 (1–4), Pp 311–326.
- Wilson, C.O., Weng, Q., (2011). **Simulating the impacts of future land use and climate changes on surface water quality in the Des Plaines River watershed, Chicago Metropolitan Statistical Area, Illinois**, Science of the Total Environment, vol 409 (20), Pp 4387–4405.
- <http://www.ncc.org.ir>. (2010).
- Yu, W., Zang, S., Wu, C., Liu, W., and Na, X., (2011). **Analyzing and modeling land use land cover change (LUCC) in the Daqing City, China**, Applied Geography, Vol 31 (2), Pp 600-608.
- Zhu, Y., Lu, X., and Zhou, Y., (2007). **Suspended sediment flux modeling with artificial neural network: An example of the Longchuanjiang River in the Upper Yangtze Catchment, China**. Geomorphology, Vol 84, Pp 111–125.
- Sangermano, F., Toledano, J., and Eastman, J., (2012). **Land cover change in the Bolivian Amazon and its implications for REDD+ and endemic biodiversity**, Landscape Ecology, Vol 27, Pp 571–584.
- Shalaby, A., Tateishi, A., (2007). **Remote sensing and GIS for Mapping and Monitoring Land Cover and Landuse changes in the northwestern coastal zone of Egypt**, Applied Geography, Vol 27 (1), Pp 28–41.
- Schulz, J.J., Cayuela, C., Echeverria, C., Salas, J., and Rey Benayas, J.M., (2010). **Monitoring land cover change of the dryland forest landscape of Central Chile (1975–2008)**, Applied Geography, Vol 30 (3), Pp 436–447.
- Schulz, J.J., Cayuela, L., Rey-Benayas, J., and Schroder, B., (2011). **Factors influencing vegetation cover change in Mediterranean Central Chile (1975–2008)**, Applied Vegetation Science, Vol 14 (4), Pp 1-12.
- Smailpour Poteh, S., Oladi, J., Pormajdian, M.R., and Zadeh, M., (2009). **Forest change detection in the north of Iran using TM/ETM+ Imagery**, Asian journal of applied sources, Vol 2 (6), Pp 464-474.
- Talebi Amiri, S., Azari Dehkord, F., Sadeghi, S.H., and Soofbaf, S.R., (2009). **Study on Landscape Degradation in Neka Watershed Using Landscape Metrics**,

