

مدل‌سازی تغییرات پوشش سرزمین شهرستان تبریز با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و زنجیره مارکف

محمد طاهری - کارشناس ارشد محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، مازندران
مهدی غلامعلی‌فرد* - استادیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، مازندران
علیرضا ریاحی بختیاری - استادیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، مازندران
شاهین رحیم‌اوغلی - کارشناس ارشد ارزیابی و آمایش سرزمین، دانشگاه پیام نور، تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۰۷/۱۹ تأیید نهایی: ۱۳۹۲/۱۲/۱۰

چکیده

هدف از پژوهش پیش رو، مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی شهرستان تبریز برای سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۴۰۰ با استفاده از مدل‌ساز تغییر سرزمین (LCM) در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی است. برای این کار، تجزیه و تحلیل و بارزسازی تغییرات کاربری‌ها، به کمک سه دوره از تصاویر ماهواره‌اندست مربوط به سال‌های ۱۳۶۷، ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ انجام شد و نقشه‌های پوشش اراضی جداگانه‌ای برای هر سال تهیه شد. مدل‌سازی پتانسیل انتقال، به کمک الگوریتم پرسپترون چندلایه شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از شش متغیر مستقل صورت پذیرفت و میزان تخصیص تغییرات کاربری‌ها به همدیگر، به روش زنجیره مارکف مورد محاسبه قرار گرفت. نتایج حاصل نشان داد که در کل دوره مورد بررسی، یعنی بین سال‌های ۱۳۶۷ تا ۱۳۹۰، حدود ۵۱۹۵ هکتار به وسعت مناطق شهری و مسکونی افزوده شده است که اراضی مرتعی به‌ویژه مراتع درجه یک، اراضی کشاورزی و درنهایت اراضی بایر و شوره‌زار، به ترتیب با مساحت ۳۴۸۸، ۱۰۰۷ و ۴۸۴ هکتار تبدیل اراضی، بیشترین سهم را در افزایش وسعت اراضی شهری و مسکونی داشته‌اند. نتایج پیش‌بینی پوشش اراضی نیز نشان داد که میزان توسعه و رشد شهری تبریز تا سال ۱۳۹۵ مساحتی برابر با ۱۰۳۷ هکتار و تا سال ۱۴۰۰ حدود ۲۰۳۳ هکتار خواهد بود.

کلیدواژه‌ها: تبریز، زنجیره مارکف، شبکه عصبی مصنوعی، مدل‌سازی تغییر سرزمین (LCM).

مقدمه

زمین یک سرمایه طبیعی است که بشر حیات اجتماعی خود را از طریق توسعه روی آن شکل می‌دهد. با استناد به بحث‌های مطرح‌شده و نگرانی‌های موجود در مورد تهدیدهای محیط‌زیستی، مانند تغییرات اقلیمی، بیابان‌زایی،

جنگل‌زدایی‌ها و به‌طور کلی از دست‌دادن تنوع زیستی، تغییرات کاربری اراضی و پوشش سرزمین در دهه‌های اخیر مورد توجه جدی کارشناسان محیط زیست قرار گرفته است (کومرل و همکاران، ۲۰۰۹؛ ویتوسک، مونی، لایچنکو و ملیلو، ۱۹۹۷).

نوع کاربری اراضی و پوشش سرزمین را در واقع می‌توان نتیجه روابط متقابل عوامل اجتماعی - فرهنگی و توان بالقوه سرزمین دانست. به‌گفته دیگر، تغییرات کاربری اراضی و پوشش سرزمین را می‌توان آغاز بهره‌برداری‌های پویای انسان از منابع طبیعی برای برطرف کردن نیازهایش دانست (اونات، والدیویسو و سندرا، ۲۰۱۰). کاربری زمین نمونه‌ای مهم از تأثیرگذاری انسان بر محیط زیست است و در نیم قرن اخیر، کاربری زمین شاهد بیشترین و کامل‌ترین تغییرات بوده است (تاپا و مورایاما، ۲۰۱۱؛ گومز، وایت و ولدر، ۲۰۱۱).

هدف از انجام مطالعات در زمینه تغییرات کاربری اراضی و پوشش سرزمین، تهیه اطلاعات اساسی درباره ویژگی‌های سرزمین و فعالیت‌های مختلفی است که روی آن سرزمین انجام می‌گیرد. در واقع، در روند تهیه و تدوین برنامه‌های ارزیابی و آمایش سرزمین، تشخیص و درک به‌هنگام و دقیق تغییرات کاربری و پوشش اراضی بسیار مهم است. به‌طور معمول، تغییرات پوشش سرزمین و کاربری اراضی به دو صورت انجام می‌گیرد (یوان و الویج، ۱۹۹۸):

۱. تغییراتی که از عوامل طبیعی، مانند فرسایش، نیروهای تکتونیکی یا وقوع سیلاب ایجاد می‌شود.

۲. تغییراتی که انسان در اثر بهره‌برداری‌های بی‌رویه و غیر استاندارد از منابع موجود بر زمین تحمیل می‌کند.

از این لحاظ، شکل‌گیری و گسترش کاربری‌های نامطلوب و ناسازگار، بخش اعظمی از پیامدهای محیط‌زیستی در یک ناحیه را در پی خواهد داشت و این به‌معنای اهمیت و جایگاه کاربری زمین در مباحث توسعه ناحیه‌ای در چارچوب توسعه پایدار است. بنابراین مدل‌های تغییرات پوشش سرزمین، ابزاری بسیار مهم برای تجزیه و تحلیل دلایل و پیامدهای این تغییرات به‌منظور درک بهتر عملکرد سیستم‌های پوشش اراضی، مدیریت پوشش اراضی و شناسایی زون‌های حساس شناخته می‌شوند (وربورگ، اسکات، دیجست و ولدکامپ، ۲۰۰۴). اطلاعات تولیدشده، برای تجزیه و تحلیل نحوه استفاده از سرزمین در وضعیت موجود و پیش‌بینی وضعیت پوشش سرزمین در سال‌های آینده به‌کار گرفته می‌شوند.

نقشه‌های پوشش سرزمین و کاربری اراضی به دو شکل تهیه می‌شوند. در روش‌های نوع اول که به‌روش‌های سنتی معروف هستند، تهیه نقشه با پیمایش زمینی و فعالیت‌های میدانی صورت می‌گیرد. معایب این روش، ضرورت استفاده از نیروی انسانی زیاد، وسائل و تجهیزات گران‌قیمت، وقت‌گیر بودن، هزینه‌بر بودن و غیر رقومی بودن نقشه‌های تولیدی است. در روش‌های نوع دوم که به‌روش‌های سنجش از دوری موسوم هستند، در کوتاه‌ترین زمان ممکن، نقشه‌های پوشش سرزمین تهیه شده و از چگونگی، نوع و شدت تغییرات می‌توان آگاهی یافت. اگر هدف بررسی تغییرات پوشش سرزمین در طول زمان باشد، می‌توان با تهیه عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای یا نقشه‌های چندزمانه در دوران‌های مختلف و مقایسه آنها، تغییرات ایجادشده را بررسی کرد. بنابراین تلفیق روش‌های سنجش از دور (RS)^۱ و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)^۲، در کوتاه‌ترین زمان ممکن و با بالاترین دقت، می‌تواند اطلاعات بسیار مؤثری در

1. Remote Sensing

2. Geographic Information System (GIS)

زمینه تغییرات پوشش اراضی فراهم آورد و مدل‌سازی شرایط آینده با استفاده از این تغییرات، شناخت مناسبی از چگونگی تغییرات کاربری اراضی، به‌همراه راه‌کارهای مدیریتی مناسب ارائه دهد.

یانگ (۲۰۰۲)، آلبرتی، ویکز و کو، (۲۰۰۴)، آیاد (۲۰۰۵) و وو و همکاران (۲۰۰۶)، در مطالعات خود این نکته را بیان داشته‌اند که روش‌های سنجش از دور ماهواره‌ای، برای تولید اطلاعات مکانی دقیق و به‌هنگام از تغییرات کاربری و پوشش اراضی، پتانسیل بالایی دارند. شهرها با توسعه فیزیکی خود، از عوامل اصلی تغییر کاربری و پوشش سرزمین هستند که مشکلات عدیده‌ای چون از بین رفتن اراضی کشاورزی، کاهش فضای سبز، آلودگی آب، فرسایش خاک و افت کیفیت محیط زیست را به‌دنبال دارند. دلیل اصلی توسعه فیزیکی شهرها، رشد و گسترش جمعیت در مناطق مختلف شهری است که موجب گستردگی فیزیکی شهر در فضای جغرافیایی می‌شود (مونوز - روجاس و همکاران، ۲۰۱۱).

متراکم‌شدن مراکز جمعیتی در شهرها و تبدیل چشم‌اندازهای طبیعی به چشم‌انداز شهری، عمده‌ترین روند تغییرات کاربری اراضی سال‌های اخیر در کشورهای در حال توسعه بوده است و انتظار می‌رود این روند در سال‌های آینده شتاب بیشتری نیز بگیرد. فرایندهای اقتصادی - اجتماعی، مانند مهاجرت، خزش شهری، کشاورزی و مانند اینها، اغلب به توسعه شهرنشینی کمک کرده‌اند (تاپا و مورایاما، ۲۰۰۹؛ پورتنوف، آدهیکاری و شوارتز، ۲۰۰۷).

شرایط بد اجتماعی و شلوغی، سبب به‌وجود آمدن مشکلات محیط‌زیستی و نبود زیرساخت‌ها خواهد شد (تاپا، مورایاما و آله، ۲۰۰۸؛ ونگ، ۲۰۰۷). طبیعی است که شهرها نمی‌توانند برای همه جمعیت افزوده‌شده، شرایط رفاهی و زندگی را فراهم آورند و به همین دلیل بخشی از جمعیت اضافه‌شده، به فضاهای پیرامونی شهر رانده می‌شوند که در این مورد اراضی روستایی، زمین‌های کشاورزی و مراتع حاشیه شهر، مهم‌ترین مکان‌های جذب چنین جمعیتی هستند. بنابراین آشکارسازی تغییرات توسعه شهری، موجب خواهد شد تا نه تنها کنش‌های متقابل میان انسان و پدیده‌های طبیعی بهتر درک شود، بلکه تأمین نیازهای شهروندان در کنار حفظ منابع طبیعی با مدیریت اصولی منابع صورت گیرد و درنهایت با برنامه‌ریزی جامع و کاربردی اراضی شهری، رشد مناطق شهری در مناسب‌ترین جهت هدایت شود. مواردی که بیان شد و همچنین رشد اقتصادی کشور در چند دهه گذشته، موجب شده است که اغلب کلان‌شهرهای کشور در معرض تغییرات کاربری اراضی قرار گیرند. درواقع کلان‌شهرها، به‌دلیل برخورداری از میزان جمعیت زیاد و تأثیرات متقابل فضایی، همواره دگرگونی‌ها و تغییرات عمده‌ای را بر فضای پیرامون خود تحمیل کرده‌اند (ظاهری، ۱۳۸۷).

مدل‌ساز تغییر سرزمین (LCM)، نرم‌افزاری است که می‌تواند انقلابی را در زمینه تجزیه و تحلیل‌های تغییرات پوشش سرزمین و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی برای آینده به‌وجود آورد. همچنین مدل‌ساز تغییر سرزمین، ابزارهایی فراهم می‌کند که به پژوهشگر این اجازه را می‌دهد تا به تجزیه و تحلیل و اندازه‌گیری تأثیرات پروژه‌های اجرایی روی زیستگاه‌ها و تنوع زیستی پردازد (شولز و همکاران، ۲۰۱۰). مدل‌ساز تغییر سرزمین، شامل مجموعه‌ای از ابزارهای هوشمند است که به پیچیدگی‌های تجزیه و تحلیل تغییرات کاربری اراضی، مدیریت منابع و ارزیابی زیستگاه به‌طور

خودکار می‌پردازد. مهم‌ترین فرض در این نحوه مدل‌سازی این است که طبیعت توسعه و تغییرات طی زمان، یکسان خواهد بود و تغییرات گذشته می‌توانند تغییرات آینده را براساس سناریوی تاریخی پیش‌بینی کنند.

تاپا و مورایاما (۲۰۱۲) در یک مطالعه سناریومینا با استفاده از مدل‌سازی تغییر سرزمین در زمینه توسعه شهری دره کاتماندو نپال، از تصاویر ماهواره‌ای مربوط به سال‌های ۱۹۹۱، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ و با در نظر گرفتن سه سناریوی تاریخی، زیست‌محیطی و حفاظت از منابع، برای مدل‌سازی پوشش اراضی مربوط به سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ بهره‌جستند.

شولز و همکاران (۲۰۱۰) به‌منظور پایش تغییرات پوشش سرزمین از چشم‌انداز جنگل خشک شیلی، مدل‌سازی تغییر سرزمین و تصاویر ماهواره‌ای مربوط به چهار دوره ۱۹۷۵، ۱۹۸۵، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۸ را به‌کار گرفتند. آنها به این نکته پی بردند که گرایش عمده تغییرات در این چشم‌انداز بسیار پویا، به‌سمت کاهش جنگل خشک و تبدیل درختچه‌زارها به کاربری‌های فشرده‌شده‌ای چون کشاورزی بوده است. همچنین نتایج آنها نشان داد که بین سال‌های ۱۹۷۵ تا ۲۰۰۸، نرخ سالانه کاهش جنگل و درختچه‌زارها، به‌ترتیب $1/7$ - درصد و $0/7$ - درصد و نرخ سالانه افزایش کاربری‌های کشاورزی، شهری و مزارع چوب، به‌ترتیب $1/1$ درصد، $2/7$ درصد و $3/2$ درصد بوده است.

جورابیان شوشتری، حسینی، اسماعیلی ساری و غلامعلی فرد (۲۰۱۲) در مطالعه‌ای با عنوان «پایش تغییرات کاربری اراضی، تخریب و ترمیم جنگل‌های هیرکانی شمال ایران»، از مدل‌سازی تغییر سرزمین استفاده کردند. طی بررسی، آنها به پایش تغییرات کاربری اراضی میان سال‌های ۱۹۷۷ تا ۲۰۱۰ اقدام کردند و معلوم شد که جنگل‌های مورد مطالعه در شمال ایران با نرخ سالانه $0/06$ - درصد کاهش یافته‌اند.

غلامعلی فرد، جورابیان شوشتری، حسینی کهنوج و میرزائی (۱۳۹۱) به‌منظور مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی سواحل استان مازندران با استفاده از مدل‌سازی تغییر سرزمین، از تصاویر ماهواره‌ای لندست متعلق به سال‌های ۱۳۶۷، ۱۳۷۹، ۱۳۸۵ و ۱۳۹۰ استفاده کردند و با استفاده از مدل پیش‌بینی سخت^۱ و دوره واسنجی^۲ سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۵، مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی را برای سال ۱۳۹۰ انجام دادند. ارزیابی صحت مدل با استفاده از نقشه واقعی زمینی سال ۱۳۹۰ انجام شد و نتایج نشان از انطباق زیاد تصویر پیش‌بینی‌شده با تصویر واقعیت زمینی داشت. نتایج پیش‌بینی آنها برای سال ۱۳۹۵ نشان داد که کاربری‌های جنگل و اراضی باز، نسبت به سال ۱۳۹۰ کاهش نشان خواهند داد.

شهرستان تبریز که مرکز استان آذربایجان شرقی است، به‌سبب افزایش شدید جمعیت، تغییرات چشمگیری را طی دهه‌های اخیر در اراضی پیرامونی و جوامع روستایی واقع در حوزه نفوذش تجربه کرده است. رشد لجام‌گسیخته جمعیت شهر تبریز و به‌دنبال آن، ساخت‌وسازهای صورت‌گرفته در شهر، گسترش فیزیکی - کالبدی شهر را از جوانب مختلف شهر، به‌ویژه از جهت شرقی در پی داشته است. این رشد جمعیتی موجب شده است تا جمعیت شهر تبریز از ۲۱۳۵۴۲ نفر در سال ۱۳۱۹، به بیش از $1/8$ میلیون نفر در سال ۱۳۹۰ برسد (ظاهری، ۱۳۸۷) که ضمن تخریب زمین‌های زراعی، مراتع، فضای سبز و گسترش حاشیه‌نشینی‌ها، زمینه‌سازی تغییرات و دگرگونی‌های قابل توجهی در پوشش اراضی حومه تبریز بوده است. از این رو، برای مدیریت بحران فعلی و پیش‌بینی شرایط آینده، ضروری است روند توسعه شهری و

1. Hard Prediction

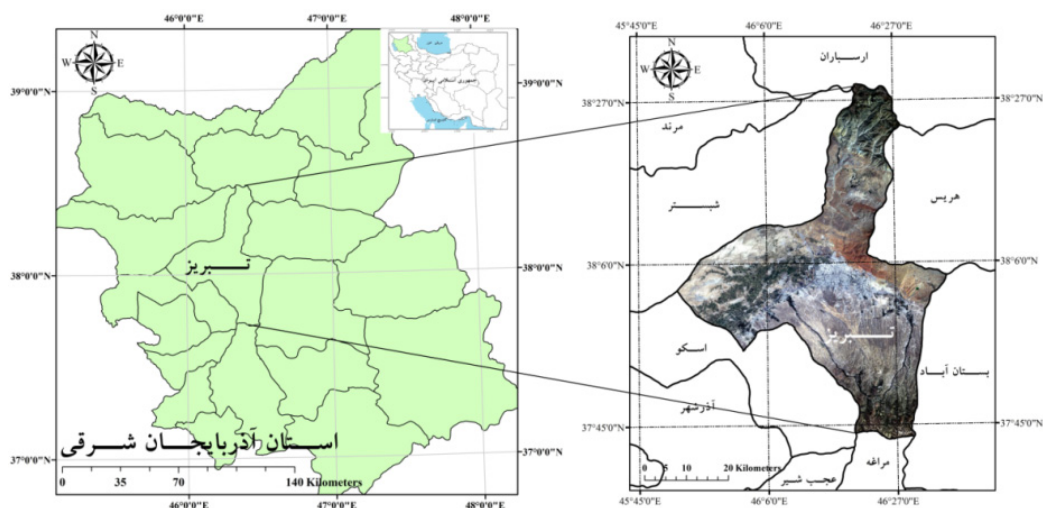
2. Calibration

تغییرات کاربری و پوشش اراضی شهرستان تبریز آشکار شود. پژوهش حاضر با هدف مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی شهرستان تبریز برای سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۴۰۰ با استفاده از مدل‌ساز تغییر سرزمین، در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه‌ای که این مطالعه به آن پرداخته، محدوده شهرستان تبریز در مرکز استان آذربایجان شرقی در شمال غرب ایران است. وسعت محدوده مورد بررسی حدود ۲۱۷۹ کیلومتر مربع است و در موقعیت جغرافیایی ۴۵ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۳۴ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۴۶ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۲۸ دقیقه عرض شمالی (شکل ۱) با ارتفاع متوسط حدود ۱۳۴۰ متر از سطح دریا در جلگه‌ای به همین نام واقع شده است که شهرهای تبریز، سردرود، خسروشهر و باسمنج را در برمی‌گیرد. این شهرستان از سمت شمال به شهرستان اهر و جنگل‌های ارسباران، از جنوب به شهرستان مراغه، از شرق به شهرستان‌های هریس و بستان‌آباد و از غرب به شهرستان‌های شبستر و اسکو منتهی می‌شود. در این پژوهش، از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ منطقه و داده‌های سنجش از دور، شامل تصاویر ماهواره‌ای از سنجنده‌های TM و ETM+ ماهواره لندست مربوط به سال‌های ۱۳۶۷، ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ در دو چارچوب با شماره گذر ۱۶۸ و ردیف‌های ۳۳ و ۳۴ با قدرت تفکیک ۲۸/۵ متر استفاده شده است.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد بررسی (شهرستان تبریز) در بین شهرستان‌های استان آذربایجان شرقی

تولید نقشه‌های پوشش اراضی

به‌منظور تولید نقشه‌های پوشش اراضی منطقه مورد مطالعه، تصاویر ماهواره لندست با سنجنده TM مربوط به سال‌های ۱۳۶۷ و ۱۳۹۰ و سنجنده ETM+ مربوط به سال ۱۳۸۰ مورد استفاده قرار گرفت که تمام این تصاویر در شهریورماه

(سپتامبر) برداشت شده بودند. پس از مرحله پیش‌پردازش، یعنی اعمال تصحیحات هندسی و اتمسفری روی تصاویر، به‌منظور شناسایی و تفکیک پدیده‌ها از همدیگر، تصویر رنگی کاذب^۱ مربوط به هر تاریخ با استفاده از ترکیب باندهای ۲ (سبز)، ۳ (قرمز) و ۴ (مادون قرمز نزدیک) تهیه شد (علوی‌پناه و مسعودی، ۱۳۸۰).

در ادامه مراحل تولید نقشه‌های پوشش اراضی، از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده^۲ بیشترین احتمال^۲ استفاده شد که از دید بسیاری از محققان، یکی از دقیق‌ترین روش‌های طبقه‌بندی سلول پایه شمرده می‌شود (نظری سامانی، قربانی و کوهبنانی، ۱۳۸۹). نخستین گام در انجام طبقه‌بندی نظارت‌شده، معرفی نمونه‌های تعلیمی برای هر طبقه از پوشش اراضی است (غلامعلی‌فرد، جورابیان شوشتری، حسینی کهنوج و میرزائی، ۱۳۹۱).

با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور و تفسیر بصری تصاویر رنگی کاذب تولیدشده، نمونه‌های تعلیمی برای هر کلاس پوشش اراضی معرفی شد. بیش از شصت نمونه تعلیمی تعیین شد که در پایان این مرحله، شش کلاس پوشش اراضی، شامل کشاورزی آبی و باغداری، مرتع درجه یک و کشت دیم، مرتع درجه دو، مرتع درجه سه، شورزار و اراضی بایر و درنهایت مناطق شهری و مسکونی مشخص شد. پس از مشخص شدن نمونه‌های تعلیمی و کلاس‌های پوشش اراضی، برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای از روش طبقه‌بندی بیشترین احتمال و به‌منظور ساده‌سازی تصاویر منتج از طبقه‌بندی و حذف قسمت‌های کوچک، از فیلتر ۳×۳ Mode استفاده شد (ناهلول‌آل و همکاران، ۲۰۱۲). در گام آخر، نقشه‌های پوشش اراضی مربوط به سال‌های ۱۳۶۷، ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ در پایان این مراحل تهیه شد.

ارزیابی صحت نقشه‌های پوشش اراضی

برای ارزیابی صحت نقشه‌های پوشش اراضی تولیدشده با استفاده از سیستم موقعیت‌یاب مکانی (GPS)^۳، تعداد ۳۸۹ نقطه ارزیابی صحت، به‌صورت سیستماتیک در شبکه‌های ۲/۵ × ۲/۵ کیلومتر روی تصاویر مربوط به سال‌های ۱۳۶۷، ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ مشخص شد و کاربری اراضی این ۳۸۹ نقطه واقعی زمینی با کاربری اراضی تصاویر طبقه‌بندی‌شده مقایسه شدند. درنهایت ماتریس خطا و ضرایب کاپا^۴ برای هر کلاس کاربری اراضی و کاپای کلی به‌دست آمد (تاپا و مورایاما، ۲۰۱۲).

مراحل مدل‌سازی با مدل‌ساز تغییر سرزمین

مدل‌ساز تغییر سرزمین (LCM)، نرم‌افزاری برای ایجاد توسعه پایدار بوم‌شناختی است که به‌منظور درک و شناسایی تغییرات پوشش سرزمین و نیازمندی‌های حفاظتی و محیط زیستی ناشی از این تغییرات، طراحی شده است. این نرم‌افزار به‌صورت یک برنامه کاربردی عمودی^۵ در سامانه نرم‌افزاری IDRISI وجود دارد. مدل‌سازی تغییرات پوشش اراضی با استفاده از مدل‌ساز تغییر سرزمین، در چهار مرحله اصلی زیر انجام می‌گیرد:

1. False Color Composite
2. Maximum Likelihood
3. Global Positioning System (GPS)
4. Kappa Coefficients
5. Vertical Application

۱. تجزیه و تحلیل و بارزسازی تغییرات^۱؛
۲. مدل‌سازی پتانسیل انتقال^۲؛
۳. پیش‌بینی و مدل‌سازی تغییرات^۳؛
۴. ارزیابی صحت مدل‌سازی^۴.

تجزیه و تحلیل و بارزسازی تغییرات

بارزسازی تغییرات ایجادشده میان کاربری‌ها، موجب خواهد شد تا این تغییرات در محیط زیست و منابع طبیعی کمی شده و نقشه‌سازی شود. در پژوهش حاضر، نقشه‌های پوشش اراضی مربوط به سال‌های ۱۳۶۷ و ۱۳۸۰ با هم، نقشه‌های سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ با همدیگر و درنهایت، نقشه‌های پوشش اراضی سال‌های ۱۳۶۷ و ۱۳۹۰ با هم وارد مدل‌ساز تغییر سرزمین (LCM) شدند و بارزسازی و تجزیه و تحلیل تغییرات روی آنها انجام گرفت و سرانجام نقشه‌های تغییرات و انتقال کاربری‌ها ترسیم شدند تا توزیع مکانی تغییرات کاربری اراضی میان دوره‌های زمانی مورد بررسی، آشکار شود. همچنین نقشه روند مکانی تغییرات توسعه مسکونی و کاربری شهری در این مرحله به دست آمد. در پایان این مرحله میزان تغییرات سالانه هر کاربری، به لحاظ درصد افزایش یا کاهش نیز مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

مدل‌ساز تغییر سرزمین، شرایطی را برای کاربر فراهم می‌کند که بتواند پس از ارزیابی تغییرات، به طرح‌ریزی و مدل‌سازی تجربی تغییرات کاربری‌ها و پوشش اراضی در آینده پردازد و تأثیر این تغییرات را روی زیستگاه گونه‌ها و حیات وحش بررسی کند. نرم‌افزاری که برای این منظور در پژوهش حاضر مورد استفاده قرار گرفت، IDRISI Taiga 16.0 است.

مدل‌سازی پتانسیل انتقال کاربری‌ها

در مرحله دوم از مدل‌سازی تغییرات پوشش سرزمین شهرستان تبریز، پتانسیل انتقال میان کاربری‌ها (پتانسیل انتقال از یک کاربری به کاربری دیگر) با توجه به متغیرهای معرفی شده به مدل‌ساز تغییر سرزمین، مدل می‌شود. به گفته دیگر، در این مرحله پتانسیل هر پیکسل از تصویر برای تبدیل شدن به کاربری‌های دیگر مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این مرحله انواع تغییرات و انتقالات کاربری‌ها، در زیرمدل‌ها طبقه‌بندی و گروه‌بندی می‌شوند و پتانسیل بالقوه متغیرهای توضیحی مورد بررسی قرار می‌گیرند. نتایج به دست آمده از این مرحله، نقشه‌های پتانسیل انتقال برای هر تغییر هستند که یک توصیف زمان ویژه از هر نوع تغییر در اختیار کاربر می‌گذارند. برای انتخاب مناسب‌ترین زیرمدل‌ها با بالاترین صحت، فرایند مدل‌سازی چندین مرتبه با حالت‌های مختلف مورد اجرا قرار گرفت و درنهایت سه زیرمدل برای مدل‌سازی پتانسیل انتقال به شرح زیر انتخاب شد:

۱. زیرمدل کامل (تبدیل تمامی کاربری‌ها به کاربری شهری و مسکونی)؛

۲. زیرمدل مراتع (تبدیل کاربری مرتع به کاربری شهری و مسکونی)؛

۳. زیرمدل کشاورزی (تبدیل کاربری کشاورزی به کاربری شهری و مسکونی).

شش متغیر برای کار مدل‌سازی پتانسیل انتقال به مدل‌ساز تغییر سرزمین معرفی شدند. متغیرهای به‌کار رفته در پژوهش حاضر، متغیرهایی هستند که در اغلب مطالعات مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی استفاده می‌شوند (لینکی، اسمیت و لیدر - ویلیامز، ۲۰۰۴؛ شولز و همکاران، ۲۰۱۰). این شش متغیر به شرح زیر هستند:

۱. مدل رقومی ارتفاع؛

۲. شیب؛

۳. فاصله از جاده‌ها؛

۴. فاصله از رودخانه‌ها؛

۵. فاصله از مناطق مسکونی؛

۶. متغیر کیفی پوشش اراضی.

برای بررسی میزان ارتباط بین متغیرهای مورد استفاده در مدل (متغیرهای مستقل) و تغییرات طبقات کاربری اراضی (متغیر وابسته)، از ضریب همبستگی کرامر استفاده شد. ضریب کرامر عددی میان صفر و یک است که هرچه به یک نزدیکتر باشد، نشان‌دهنده میزان همبستگی بالا بین متغیر مستقل و وابسته است. معمولاً متغیرهایی که دارای ضریب همبستگی بالاتر از ۰/۱۵ باشند، برای ورود به مدل انتخاب می‌شوند.

درنهایت با توجه به بررسی‌های انجام‌گرفته در مطالعات پیشین و ضریب کرامر متغیرها، این شش متغیر وارد مدل شدند. پنج متغیر اول همگی کمی هستند و به‌منظور تولید متغیر کیفی^۱ برای سه زیرمدل انتخابی، نقشه انتقال از کل کاربری‌ها به کاربری شهری و مسکونی، نقشه انتقال از کاربری کشاورزی به کاربری شهری و مسکونی و درنهایت نقشه انتقال از کاربری مراتع به کاربری شهری و مسکونی تهیه شد و با استفاده از تابع تغییر شکل احتمال شواهد و نقشه پوشش اراضی سال قدیمی‌تر در ورودی مدل، متغیرهای کیفی برای سه زیرمدل به‌دست آمد (ایستمن، ۲۰۰۶).

روش‌های متعددی برای مدل‌سازی پتانسیل انتقال وجود دارد که از آن دسته می‌توان مدل‌های آماری و رگرسیون لجستیک^۲، زنجیره مارکف^۳، الگوریتم ژنتیک^۴، منطق فازی^۵ و شبکه عصبی مصنوعی^۶ را نام برد که مطالعات پیشین نشان داده‌اند شبکه عصبی مصنوعی، قوی‌ترین روش در میان سایر روش‌ها است (ایستمن، ۲۰۰۶).

شبکه‌های عصبی مصنوعی، روش‌های محاسباتی طراحی‌شده‌ای برای مدل‌کردن روشی خاص هستند که در مغز انسان برای انجام یک وظیفه ویژه پایه‌ریزی شده است. درواقع این شبکه‌ها به‌منظور مدل‌کردن سیستم به‌هم‌پیوسته از نوروها در مغز انسان توسعه داده شده‌اند تا بتوانند به‌کمک رایانه‌ها و به تقلید از توانایی مغز انسان، براساس الگوها و

1. Explanatory Variables
2. Logistic Regression
3. Markov chain
4. Genetic Algorithms
5. Fuzzy Logic
6. Artificial Neural Network

آزمون و خطا و با در نظر گرفتن روابط میان داده‌ها، به مرتب کردن الگوهای رفتاری در طبیعت بپردازند (پيجانوفسکی، براون، شلیتو و مانیک، ۲۰۰۲). به‌گفته دیگر، شبکه‌های عصبی مصنوعی، الگوی پردازش اطلاعات با الهام‌گرفتن از ساختار به‌هم‌پیوسته و موازی مغز انسان هستند (ماس، ۲۰۰۴).

یک شبکه عصبی، شامل چندین نورون متصل به هم است که به‌ازای ورودی‌های مختلف، خروجی آن از رابطه ۱ به‌دست می‌آید.

$$Y = f \left[\sum_1^n (x_1 w_1 + x_2 w_2 + \dots + x_n w_n) + \beta \right] \quad \text{رابطه ۱}$$

در این رابطه؛ Y : مقدار خروجی نورون؛ x_1, x_2, x_n : مقادیر ورودی؛ w_1, w_2, w_n : اوزان ارتباطی؛ β : مقدار بایاس و f : تابع انتقال است.

امروزه شبکه‌های عصبی مصنوعی، در ارتباط با مسائل و مشکلات مربوط به منابع طبیعی و محیط زیست، راه‌حل‌های جدید و جذابی ارائه می‌دهند. مدل‌سازی‌های محیط زیستی نیازمند به‌کارگیری انواع روش‌های ترکیبی است و انتخاب مناسب‌ترین روش، بستگی به پیچیدگی و میزان درک ما از آن مشکل دارد، ولی به‌طور کلی با افزایش پیچیدگی یک مشکل، از میزان درک نظری آن مشکل کاسته می‌شود و در این حالت، نیاز به رویکردهای آماری بیشتر احساس می‌شود. به همین دلیل طی سال‌های اخیر، شبکه‌های عصبی مصنوعی و یکی از بنیادی‌ترین مدل‌های این شبکه‌ها، یعنی پرسپترون چندلایه، نشان داده‌اند که می‌توانند جایگزین مناسبی برای روش‌های سنتی آماری در حل مسائل محیط زیستی باشند.

پرسپترون چندلایه از یک لایه ورودی، یک لایه مخفی و یک لایه خروجی تشکیل شده است و برخلاف روش‌های آماری دیگر، هیچ‌گونه مفروضات قبلی از خود درباره توزیع داده‌ها ارائه نمی‌دهد. پرسپترون چندلایه قادر به مدل‌سازی توابع غیرخطی است و از طریق آموزش می‌تواند به‌هنگام مواجهه با داده‌های جدید، این مسئله را تعمیم دهد (گاردنر و دورلینگ، ۱۹۹۸). با انتخاب مجموعه‌ای مناسب از وزن‌های متصل به هم و توابع انتقال، پرسپترون چندلایه می‌تواند توابع روان و قابل اندازه‌گیری بین ورودی‌ها و خروجی‌ها را به‌صورت تقریبی در اختیار کاربر قرار دهد (هورنیک، استینچ کومب و وایت، ۱۹۸۹).

همان‌گونه که گفته شد، پرسپترون چندلایه می‌تواند تحت آموزش قرار بگیرد و این آموزش نیازمند یک سری داده‌های آموزش‌دهنده است که از مجموعه‌ای از اطلاعات ورودی مرتبط با اطلاعات خروجی تشکیل شده‌اند. هنگام آموزش، پرسپترون چندلایه بارها در معرض داده‌های آموزش‌دهنده قرار می‌گیرد و این کار تا زمانی ادامه می‌یابد که وزن‌های شبکه عصبی در مطلوب‌ترین حالت ممکن بین ورودی‌ها و خروجی‌ها قرار گیرند. درواقع پرسپترون چندلایه، در حالتی نظارت‌شده تحت آموزش قرار می‌گیرد. به‌هنگام آموزش، خروجی به‌دست‌آمده از پرسپترون چندلایه ممکن است با خروجی مورد نظر برابر نباشد. بنابراین یک سیگنال خطا به‌منزله تفاوت بین خروجی به‌دست‌آمده و خروجی واقعی، از سوی شبکه صادر خواهد شد و سیستم آموزش‌دهی شبکه، از این سیگنال‌های خطا به‌منزله تنظیم‌کننده وزن‌ها در شبکه استفاده خواهد کرد تا درنهایت، خطای کلی پرسپترون چندلایه به کمترین میزان ممکن برسد (گاردنر و دورلینگ، ۱۹۹۸).

پرطرفدارترین روش کاهش خطا، الگوریتم پس‌انتشار در شبکه عصبی مصنوعی است که به صورت تصادفی وزن‌های اولیه را انتخاب می‌کند و خروجی به دست آمده از داده‌های ورودی را با خروجی واقعی داده‌ها مقایسه می‌کند و با تکرار این کار، در نهایت کمترین میزان میانگین مربعات خطا را ارائه می‌دهد. این فرایند تغذیه روبه‌جلو و خطای پس‌انتشار، آنقدر تکرار می‌شود تا میزان خطا در پایین‌ترین سطح ممکن تثبیت شود و این مسئله، نقطه قوتی برای شبکه عصبی مصنوعی تلقی می‌شود (پاترسون، ۱۹۹۸). از این رو در مطالعه حاضر، به منظور مدل‌سازی پتانسیل انتقال کاربری‌ها و پوشش‌های سرزمین، از روش شبکه عصبی مصنوعی با تابع پرسپترون چندلایه^۱ استفاده شده است.

مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات پوشش اراضی

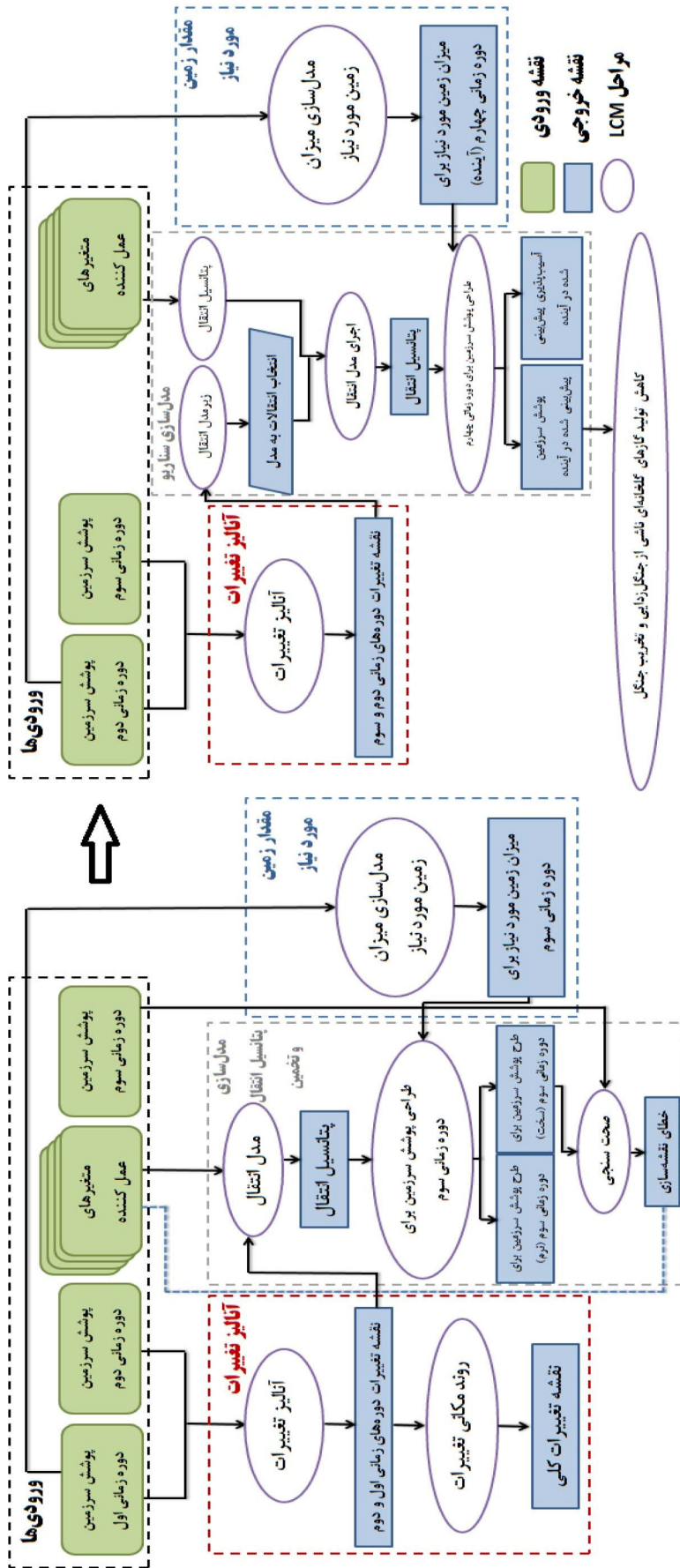
در این مرحله با استفاده از زنجیره مارکف، احتمال تغییر هر کاربری به کاربری دیگر محاسبه شد (هایبو، لانگ جیانگ، هنگ لیانگ و جی، ۲۰۱۱). زنجیره مارکف، یک نوع مدل فرایند تصادفی است که بیان می‌کند با چه احتمالی ممکن است یک وضعیت به وضعیت و حالت دیگری تغییر یابد. این مدل یک ابزار توصیفی کلیدی دارد و آن ماتریس احتمال انتقالات است (ارسنجانی، هلیچ، کائینز و درویشی بلورانی، ۲۰۱۳). یک زنجیره مارکف دنباله‌ای از متغیرهای تصادفی x_1, x_2, x_3, \dots است که خاصیت مارکف را دارند (رابطه ۲).

$$\Pr(X_{n+1} = x | X_1 = x_1, X_2 = x_2, \dots, X_n = x_n) = \Pr(X_{n+1} = x | X_n = x_n) \quad (\text{رابطه ۲})$$

مقادیر ممکن برای X_i ، مجموعه قابل شمارشی را می‌سازند که فضای حالت نام دارد. روش مارکوف برای مدل‌سازی رفتار اتفاقی، به صورت پیوسته و ناپیوسته نسبت به زمان یا در فضای حالت، تقسیم‌بندی می‌شود. این تغییرات پیوسته یا ناپیوسته اتفاقی را به اصطلاح فرایندهای اتفاقی می‌نامند. درحقیقت به کارگیری روش مارکوف، نیازمند این امر است که سیستم نمایانگر فقدان حافظه باشد؛ یعنی حالت و وضعیت آینده سیستم، مستقل از وضعیت‌های گذشته آن بوده و تنها به آخرین جزء آن وابسته باشد.

مدل زنجیره مارکف، مجموعه‌ای از حالات ممکن تعریف می‌شود که این فرایند از یک وضعیت شروع شده و به طور متوالی از وضعیتی به وضعیت دیگری جابه‌جا می‌شود و هر حرکت، یک گام تلقی می‌شود (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۱). در این مدل، باید دو نقشه پوشش اراضی از دو دوره زمانی متفاوت وجود داشته باشد که در این حالت، امکان محاسبه احتمال انتقالات کاربری‌ها در بین دوره‌های زمانی مورد بررسی، امکان‌پذیر می‌شود. درحقیقت، ساده‌ترین مدل زنجیره مارکف، توجهی به تأثیر سلول‌های همسایگی ندارد و تنها وضعیت سلول‌ها را در دو دوره زمانی اول و دوم در نظر می‌گیرد (ایستمن، ۲۰۰۶).

در ادامه، مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات پوشش اراضی برای سال ۱۳۹۰ با استفاده از مدل پیش‌بینی سخت و دوره‌های واسنجی متفاوت (جدول ۱) انجام شد (خوی و مورایاما، ۲۰۱۰) و در پایان پس از انتخاب کردن بهترین زیرمدل و دوره واسنجی با بالاترین صحت، پیش‌بینی تغییرات پوشش اراضی برای سال ۱۳۹۵ و ۱۴۰۰ صورت گرفت.



شکل ۲. مراحل مدل‌سازی تغییرات پوشش سرزمین شهرستان تبریز در محیط LCM به کمک شبکه عصبی مصنوعی و زنجیره مارکف

جدول ۱. سناریوهای (دوره‌های واسنجی) متفاوت برای مدل‌سازی تغییرات پوشش اراضی در سال ۱۳۹۰

سناریو	دوره واسنجی	زیر مدل	تعداد متغیر	سال پیش‌بینی	تصویر مورد استفاده برای ارزیابی
۱	۱۳۶۷-۱۳۸۰	A	۶	۱۳۹۰	TM سال ۱۳۹۰، شهریور ماه
۲	۱۳۶۷-۱۳۹۰	A	۶	۱۳۹۰	TM سال ۱۳۹۰، شهریور ماه
۳	۱۳۸۰-۱۳۹۰	A	۶	۱۳۹۰	TM سال ۱۳۹۰، شهریور ماه
۴	۱۳۶۷-۱۳۸۰	B	۶	۱۳۹۰	TM سال ۱۳۹۰، شهریور ماه
۵	۱۳۶۷-۱۳۹۰	B	۶	۱۳۹۰	TM سال ۱۳۹۰، شهریور ماه
۶	۱۳۸۰-۱۳۹۰	B	۶	۱۳۹۰	TM سال ۱۳۹۰، شهریور ماه
۷	۱۳۶۷-۱۳۸۰	C	۶	۱۳۹۰	TM سال ۱۳۹۰، شهریور ماه
۸	۱۳۶۷-۱۳۹۰	C	۶	۱۳۹۰	TM سال ۱۳۹۰، شهریور ماه
۹	۱۳۸۰-۱۳۹۰	C	۶	۱۳۹۰	TM سال ۱۳۹۰، شهریور ماه

ارزیابی صحت مدل‌سازی

ارزیابی اعتبار و صحت مدل‌سازی براساس برآورد ضریب کاپا میان نقشه پوشش اراضی سال ۱۳۹۰ و نقشه‌های پوشش اراضی حاصل از زیرمدل‌ها و دوره‌های واسنجی متفاوت که برای سال ۱۳۹۰ تولید شدند، انجام گرفت (وو و همکاران، ۲۰۰۶). ضریب کاپا، توافق بین دو ارزیاب متفاوت را از رابطه ۳ اندازه‌گیری می‌کند.

$$k = \frac{Pr(a) - Pr(e)}{1 - Pr(e)} \quad \text{رابطه ۳}$$

در این رابطه؛ $Pr(a)$: توافق مشاهده‌شده نسبی میان ارزیاب‌ها است و $Pr(e)$ احتمال فرضی توافق شانس است. اگر ارزیاب‌ها در توافق کامل باشند، کاپا برابر یک خواهد بود و چنانچه توافقی بین ارزیاب‌ها، جدای از آنچه به‌صورت شانس انتظار می‌رود وجود نداشته باشد، کاپا برابر صفر خواهد بود. همچنین صحت مدل‌سازی براساس برآورد میزان دقت، خطای آموزش و خطای تست شبکه عصبی مصنوعی، در مرحله مدل‌سازی پتانسیل انتقال نیز مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌های پژوهش

تولید نقشه‌های پوشش اراضی

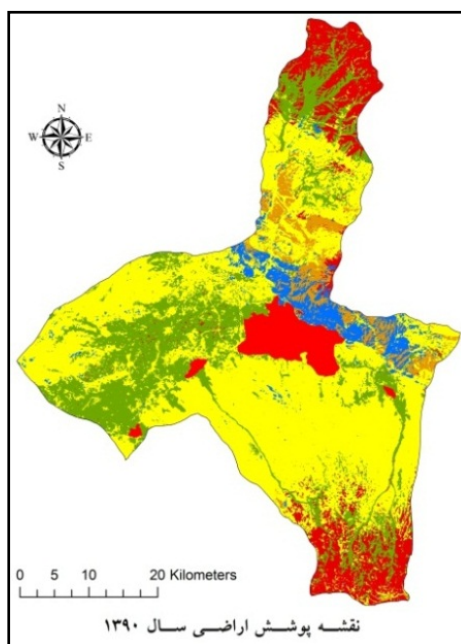
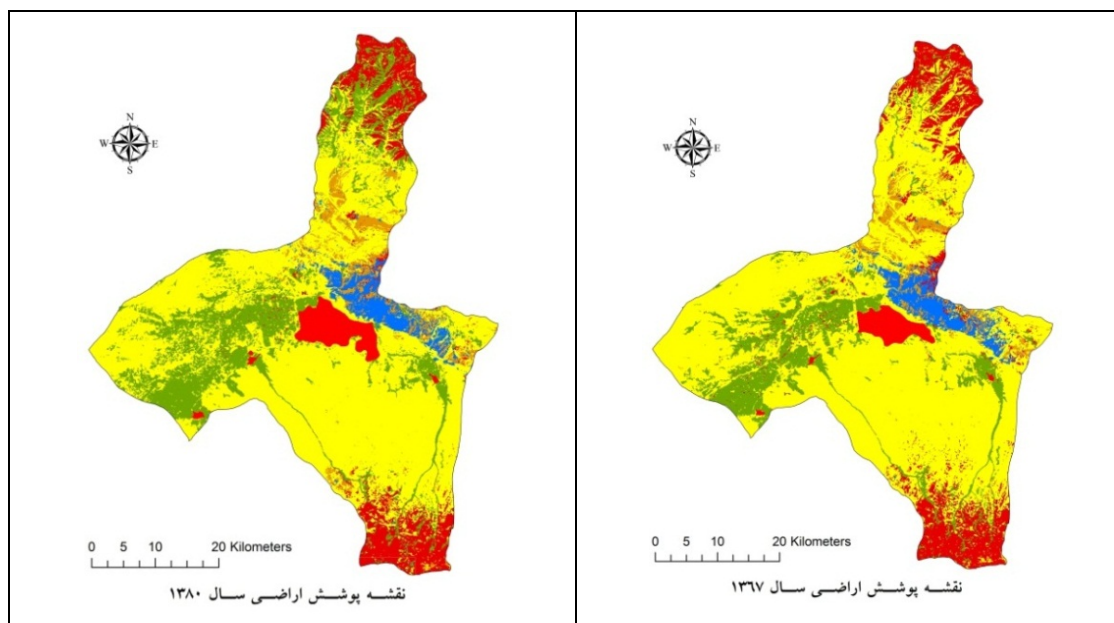
نقشه‌های پوشش اراضی محدوده شهرستان تبریز مربوط به سال‌های ۱۳۶۷، ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰، به‌ترتیب طی مرحله تولید نقشه‌ها در شش طبقه کاربری اراضی تولید شدند (شکل ۳). همچنین ماتریس خطا^۱ نیز برای این نقشه‌ها تشکیل شد و

1. Error matrix

ضریب کاپای کلی برای نقشه‌های پوشش اراضی سال‌های ۱۳۶۷، ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰، به ترتیب ۹۱/۲۲، ۹۳/۸۸ و ۹۵/۸۷ به دست آمد (جدول ۲).

جدول ۲. ماتریس ارزیابی صحت نقشه‌های پوشش اراضی

کاپا	خطای Commission	شهری و مسکونی	شوره‌زارها و اراضی بایر	مرتع درجه سه	مرتع درجه دو	مرتع درجه یک و کشت دیم	کشاورزی آبی و باغ‌داری	ماتریس خطای نقشه‌های پوشش اراضی سال‌های ۱۳۶۷، ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰
۱۳۶۷								
۰/۸۹۲۵	۰/۱۵۳۶	۰	۲	۰	۲	۴	۷۵	کشاورزی آبی و باغ‌داری
۰/۹۶۵۴	۰/۱۰۲۱	۰	۳	۱	۱	۱۳۹	۵	مرتع درجه یک و کشت دیم
۰/۹۲۴۱	۰/۱۱۱۵	۰	۲	۰	۲۷	۲	۳	مرتع درجه دو
۰/۹۴۲۵	۰/۱۱۲۰	۰	۲	۴۶	۱	۳	۱	مرتع درجه سه
۰/۸۸۳۶	۰/۱۷۰۸	۲	۳۸	۱	۰	۳	۲	شوره‌زارها و اراضی بایر
۰/۸۶۳۴	۰/۱۹۸۶	۱۸	۳	۰	۰	۲	۱	شهری و مسکونی
		۰/۰۲۲۴	۰/۰۲۶۶۹	۰/۰۵۱۱	۰/۰۲۴۲۱	۰/۰۳۵۹۶	۰/۰۲۶۳۹	خطای Commission
۰/۹۱۲۲								کاپای کلی
۱۳۸۰								
۰/۹۵۶۸	۰/۱۱۳۱	۰	۱	۰	۳	۵	۱۰۹	کشاورزی آبی و باغ‌داری
۰/۹۳۶۰	۰/۱۳۲۰	۱	۳	۰	۳	۱۱۴	۶	مرتع درجه یک و کشت دیم
۰/۸۹۹۹	۰/۱۴۰۱	۰	۱	۱	۳۴	۳	۳	مرتع درجه دو
۰/۹۳۶۱	۰/۱۲۲۰	۰	۰	۴۳	۱	۴	۱	مرتع درجه سه
۰/۹۱۴۸	۰/۱۲۰۰	۳	۳۹	۰	۰	۳	۰	شوره‌زارها و اراضی بایر
۰/۹۸۳۲	۰/۰۶۹۸	۳۱	۰	۰	۰	۱	۰	شهری و مسکونی
		۰/۰۱۱۲	۰/۰۵۸۹	۰/۰۲۰۱	۰/۰۱۲۴۴	۰/۰۱۴۵۸	۰/۰۰۷۶۵	خطای Commission
۰/۹۳۸۸								کاپای کلی
۱۳۹۰								
۰/۹۶۲۴	۰/۰۹۱۴	۰	۰	۰	۰	۳	۱۱۸	کشاورزی آبی و باغ‌داری
۰/۹۵۱۲	۰/۱۱۲۴	۰	۲	۰	۰	۱۱۲	۲	مرتع درجه یک و کشت دیم
۰/۹۷۵۶	۰/۰۹۸۹	۰	۱	۱	۴۲	۲	۰	مرتع درجه دو
۰/۹۴۰۲	۰/۱۰۱۰	۰	۱	۲۶	۱	۲	۱	مرتع درجه سه
۰/۹۳۱۱	۰/۱۰۱۴	۲	۳۵	۰	۱	۰	۰	شوره‌زارها و اراضی بایر
۰/۹۹۲۱	۰/۰۰۹۸	۳۶	۱	۰	۰	۰	۰	شهری و مسکونی
		۰/۰۸۹۸	۰/۰۱۱۰۹	۰/۰۲۰۱	۰/۰۹۶۰۱	۰/۰۱۲۰۸	۰/۰۱۰۰۵	خطای Commission
۰/۹۵۸۷								کاپای کلی

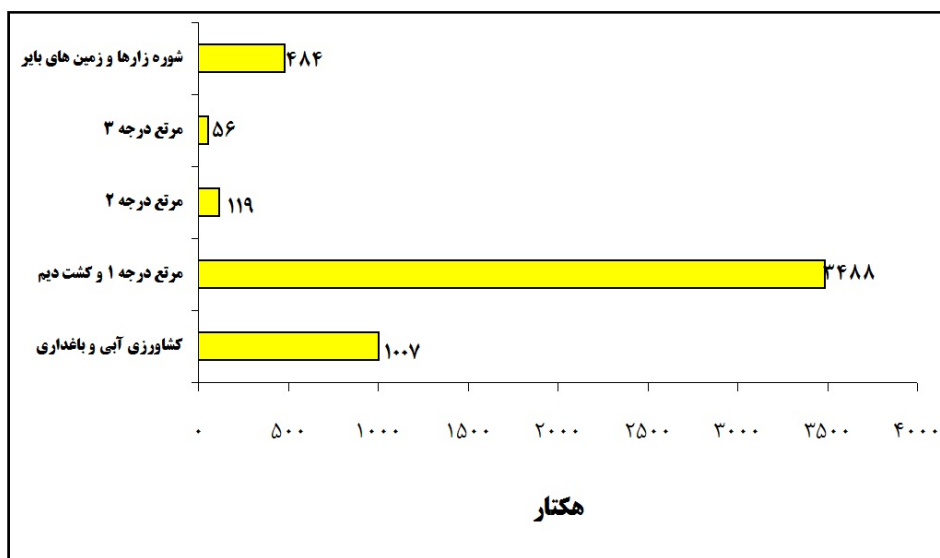


شکل ۳. نقشه‌های پوشش اراضی
مربوط به سال‌های ۱۳۶۷، ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰

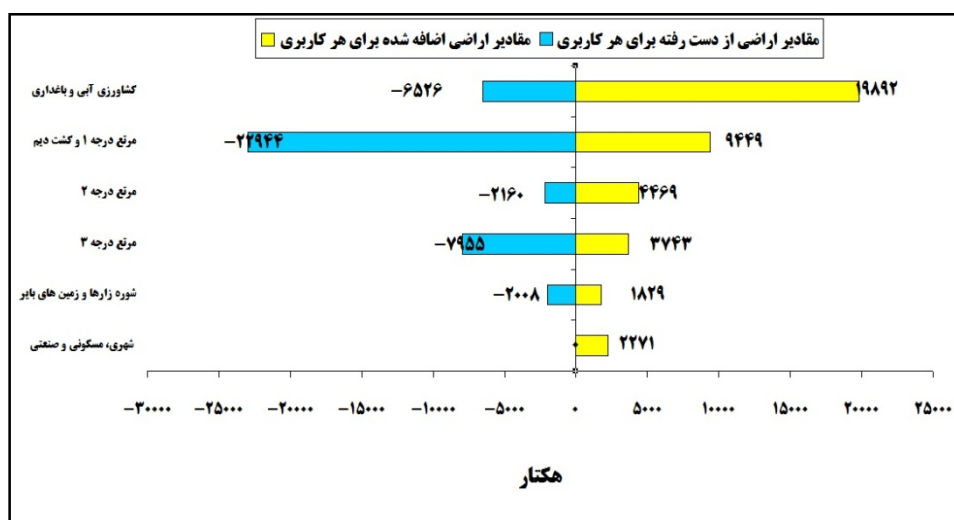
تجزیه و تحلیل و بارزسازی تغییرات

نتایج تجزیه و تحلیل و بارزسازی تغییرات پوشش اراضی طی دوره مورد مطالعه، یعنی بین سال‌های ۱۳۶۷ تا ۱۳۹۰، نشان داد که طی این مدت، ۵۱۹۵ هکتار به وسعت مناطق شهری و مسکونی افزوده شده است که اراضی مرتعی به خصوص مراتع درجه یک، اراضی کشاورزی و درنهایت اراضی بایر و شورزار، به ترتیب با ۳۴۸۸، ۱۰۰۷ و ۴۸۴ هکتار تبدیل اراضی، بیشترین سهم را در افزایش وسعت اراضی شهری و مسکونی داشته‌اند (شکل ۴). همچنین ذکر این نکته

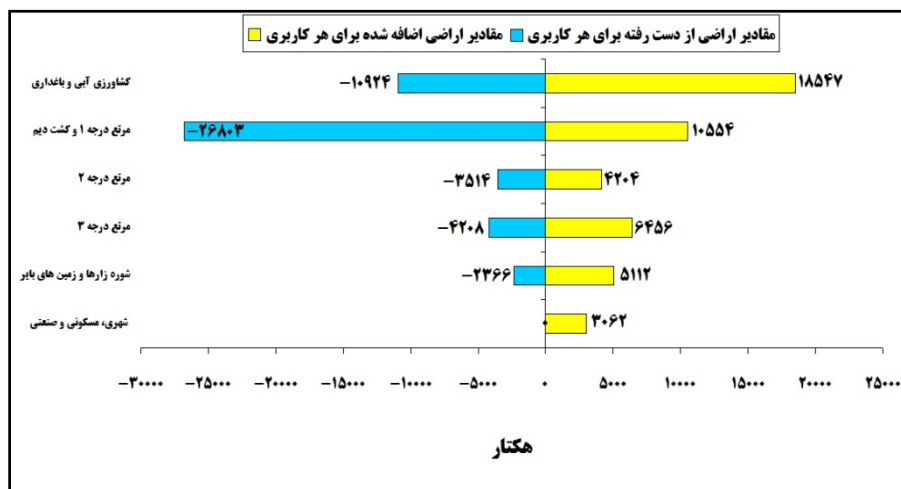
ضروری است که میزان تغییرات مساحت اراضی شهری و مسکونی طی دوره‌های مورد مطالعه یکسان نبوده و در سال‌های اخیر سرعت رشد مناطق شهری بیشتر شده است؛ به‌گونه‌ای که بین سال‌های ۱۳۶۷ تا ۱۳۸۰ مساحتی برابر با ۲۲۷۱ هکتار و بین سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۰ حدود ۳۰۶۲ هکتار به وسعت اراضی شهری و مسکونی اضافه شده است (شکل ۵ و ۶). ضمن اینکه طی این دوره، اراضی مرتعی درجه یک با ۳۶۹۵۸ هکتار کاهش مساحت و اراضی کشاورزی و باغی با ۲۶۶۱۷ هکتار افزایش مساحت، به‌ترتیب بیشترین کاهش و افزایش مساحت را داشته‌اند (شکل ۷).



شکل ۴. مقادیر انتقال یافته از سایر کاربری‌ها به کاربری شهری و مسکونی بین سال‌های ۱۳۶۷ تا ۱۳۹۰



شکل ۵. تغییرات پوشش اراضی شهرستان تبریز بین سال‌های ۱۳۶۷ تا ۱۳۸۰



شکل ۶. تغییرات پوشش اراضی شهرستان تبریز بین سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۰



شکل ۷. درصد طبقات پوشش اراضی طی سال‌های ۱۳۶۷، ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰

در تمام دوره مورد مطالعه، مراتع درجه یک تیپ غالب محدوده شهرستان تبریز را شکل می‌داده‌اند که بین سال‌های ۱۳۶۷ تا ۱۳۸۰ مقدار ۲۲۹۴۴ هکتار و بین سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۰ حدود ۲۶۸۰۳ هکتار کاهش مساحت را نشان داده‌اند. بیشترین نرخ سالانه تغییرات پوشش سرزمین بین سال‌های ۱۳۶۷ تا ۱۳۹۰ برای اراضی شهری و مسکونی به‌دست آمد، به‌طوری که این مقدار برای اراضی شهری و مسکونی، اراضی کشاورزی و باغی، مراتع درجه دو و اراضی بایر و شوره‌زار، به‌ترتیب ۳/۱۶ درصد، ۲/۳۳ درصد، ۱/۴۶ درصد و ۱/۱۸ درصد محاسبه شد؛ در حالی که اراضی مرتعی درجه یک و درجه سه، به‌ترتیب کاهش وسعت سالانه‌ای برابر با ۱/۰۱- درصد و ۰/۳۴- درصد را نشان دادند. همچنین نقشه روند تغییرات مکانی توسعه شهری و مسکونی بین دوره زمانی مورد مطالعه، نشان داد که اراضی شهری و مسکونی برای رشد و توسعه، بیشتر به‌سمت شرق گرایش دارند.

مدل‌سازی پتانسیل انتقال کاربری‌ها

مدل‌سازی پتانسیل انتقال کاربری‌ها و پوشش اراضی با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی و تابع پرسپترون

چندلایه انجام شد و ارزیابی مدل‌سازی پتانسیل انتقال با استفاده از سه عامل میزان دقت، خطای آموزش و خطای تست (جدول ۳) صورت گرفت که نتایج در همه زیرمدل‌ها و سناریوها (دوره‌های واسنجی متفاوت) صحت بسیار بالایی (۸۹/۹۰ درصد و ۹۸/۵۶ درصد) را نشان دادند. همچنین ضرایب کرامر که میزان ارتباط بین متغیرها و کلاس‌های پوشش اراضی را نشان می‌دهد نیز برای هر متغیر محاسبه شد (جدول ۴). همان‌طور که دیده می‌شود، بیشترین و کمترین مقدار ضریب کرامر به ترتیب برای متغیر کیفی در زیرمدل کامل و متغیر فاصله از رودخانه‌ها به دست آمد.

جدول ۳. نتایج ارزیابی صحت مدل‌های ساخته‌شده از سناریوهای متفاوت

سناریو	مدل‌سازی پتانسیل انتقال			پیش‌بینی تغییرات ضریب کاپا
	میزان دقت	خطای آموزش	خطای تست	
۱	٪۹۴/۶۵	۰/۱۰۵۶	۰/۱۰۳۱	٪۸۴/۷۷
۲	٪۹۵/۱۱	۰/۰۸۷۳	۰/۰۸۸۰	٪۹۹/۹۳
۳	٪۹۶/۹۷	۰/۱۲۹۷	۰/۱۶۳۳	٪۹۹/۹۰
۴	٪۹۸/۵۶	۰/۰۵۵۶	۰/۰۸۴۳	٪۸۴/۷۵
۵	٪۹۷/۰۷	۰/۰۸۲۹	۰/۰۹۲۴	٪۹۹/۹۹
۶	٪۹۸/۱۱	۰/۰۷۵۶	۰/۰۷۶۶	٪۹۹/۹۳
۷	٪۸۹/۹۰	۰/۲۸۲۲	۰/۲۷۳۵	٪۸۴/۸۲
۸	٪۹۱/۶۳	۰/۲۶۵۹	۰/۲۶۶۷	٪۹۹/۹۷
۹	٪۹۶/۴۸	۰/۱۸۰۵	۰/۱۷۳۱	٪۹۹/۹۸

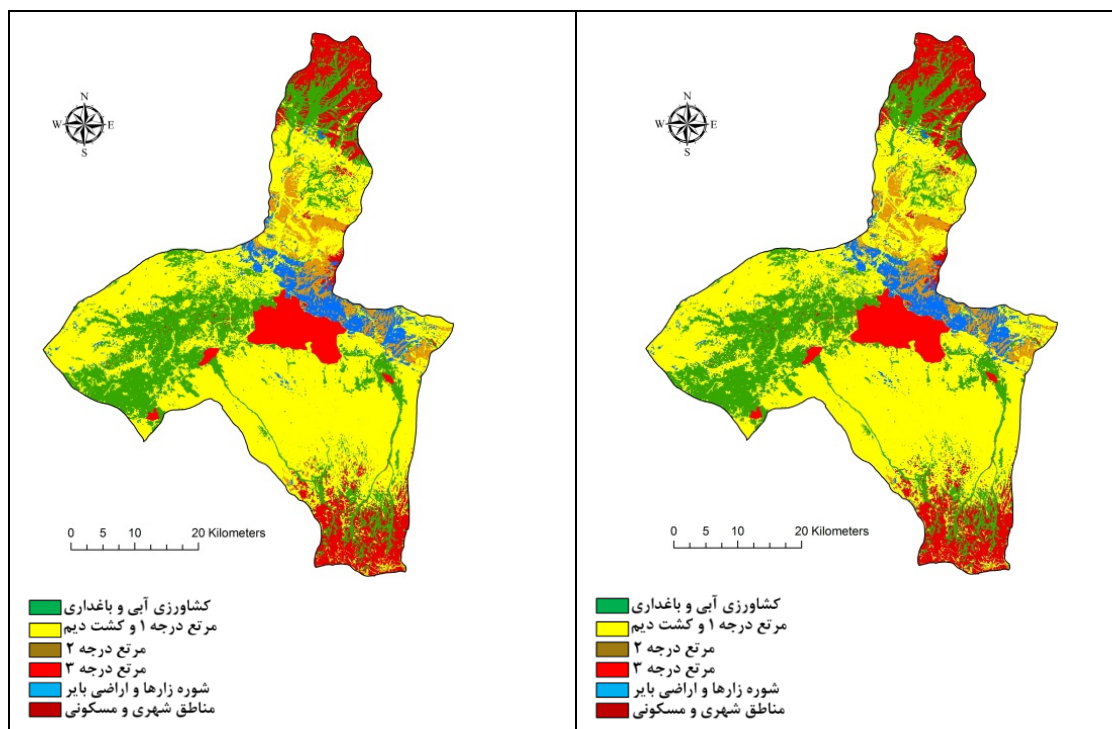
جدول ۴. مقادیر ضریب همبستگی کرامر برای متغیرهای استفاده‌شده در مدل

متغیر	مقدار ضریب همبستگی کرامر
مدل رقومی ارتفاع	۰/۱۵۱۸
شیب	۰/۱۰۱۲
فاصله از جاده‌ها	۰/۰۹۵۰
فاصله از رودخانه‌ها	۰/۰۵۸۳
فاصله از مناطق مسکونی	۰/۱۹۳۵
متغیر کیفی در زیرمدل کامل	۰/۴۳۱۴
متغیر کیفی در زیرمدل مراتع	۰/۳۶۹۶
متغیر کیفی در زیرمدل کشاورزی	۰/۲۱۹۵

مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات و ارزیابی صحت

احتمال اینکه در سال ۱۳۹۰ هر کاربری به کاربری دیگری تغییر یابد، براساس دوره‌های واسنجی ۱۳۶۷ تا ۱۳۸۰؛ ۱۳۶۷ تا ۱۳۹۰ و ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۰ (جدول ۱) با استفاده از زنجیره مارکف محاسبه شد و نتایج نشان داد که تبدیل اراضی مرتعی درجه یک به اراضی کشاورزی و شهری و همچنین تبدیل اراضی کشاورزی و باغی به اراضی شهری، دارای بیشترین احتمال انتقال هستند. به‌منظور ارزیابی صحت مدل‌های ساخته‌شده، ضریب کاپا بین نقشه پوشش اراضی واقعی سال ۱۳۹۰ و نقشه‌های پوشش اراضی پیش‌بینی‌شده برای سال ۱۳۹۰ تعیین شد (جدول ۳) که بیشتر این ضرایب، دقت بسیار بالای مدل‌سازی (۸۴/۷۲ درصد و ۹۹/۹۹ درصد) را نشان دادند. درنهایت با دخالت‌دادن نتایج حاصل از خطای آموزش، خطای تست، میزان دقت مدل‌سازی پتانسیل انتقال و همچنین ضرایب کاپای به‌دست‌آمده در مرحله ارزیابی صحت، سناریوی شش، یعنی زیرمدل مراتع (تبدیل کاربری مرتع به کاربری شهری و مسکونی) در دوره واسنجی ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۰، بهترین مدل برای پیش‌بینی تغییرات پوشش اراضی شهرستان تبریز انتخاب شد.

نقشه پیش‌بینی‌شده سال ۱۳۹۰ با استفاده از تغییرات رخ داده طی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۰ در زیرمدل مراتع با نقشه واقعیت زمینی سال ۱۳۹۰، مورد مقایسه قرار گرفته است (شکل ۸). مقایسه مقادیر مساحت کاربری‌ها بین نقشه‌های پوشش اراضی واقعی و برآوردی سال ۱۳۹۰، هرچند اختلاف فاحشی را نشان نمی‌داد (جدول ۵)؛ ولی با این حال، اراضی مرتعی درجه یک، ۲۲۵/۶ هکتار کمتر از مقدار واقعی و اراضی شهری و مسکونی به‌همان میزان بیشتر از مقدار واقعی برآورد شده بودند. بین مساحت واقعی و برآوردی سایر کاربری‌ها اختلافی مشاهده نشد.

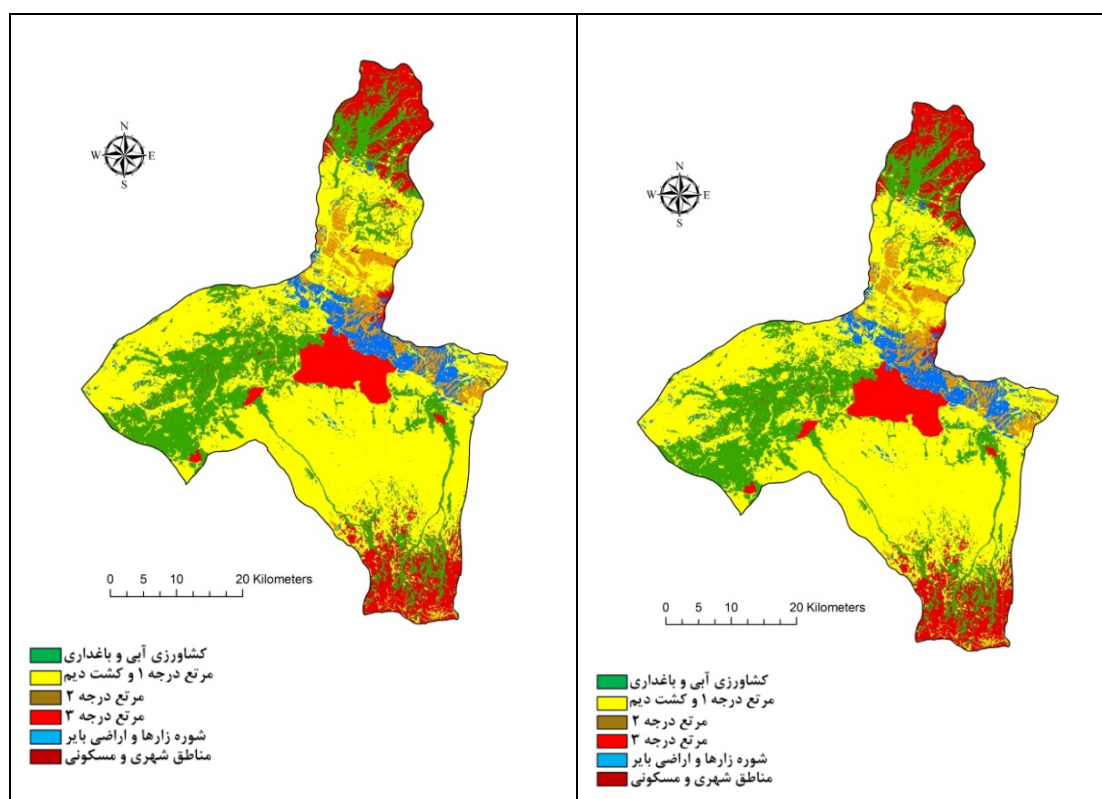


شکل ۸. نقشه واقعیت زمینی سال ۱۳۹۰ (راست) در مقایسه با نقشه پیش‌بینی‌شده سال ۱۳۹۰ (چپ)

جدول ۵. مساحت واقعی و پیش‌بینی شده طبقات پوشش اراضی در سال ۱۳۹۰

کاربری‌ها	نقشه واقعی پوشش اراضی سال ۱۳۹۰ (هکتار)	نقشه برآوردی پوشش اراضی سال ۱۳۹۰ (هکتار)
کشاورزی آبی و باغداری	۵۰۴۵۷/۲۱	۵۰۴۵۷/۲۱
مرتع درجه یک و کشت دیم	۱۱۲۸۰۱/۶	۱۱۲۵۷۶
مرتع درجه دو	۱۰۴۹۹/۷۱	۱۰۴۹۹/۷۱
مرتع درجه سه	۲۳۴۳۳/۷۳	۲۳۴۳۳/۷۳
شوره‌زارها و اراضی بایر	۱۰۷۲۴/۲۱	۱۰۷۲۴/۲۱
شهری و مسکونی	۹۹۶۴/۷۶	۱۰۱۹۰/۴

مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی شهرستان تبریز براساس سناریوی شماره شش، به ترتیب برای سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۴۰۰ انجام گرفت. نتایج حاصل نشان داد که میزان توسعه و رشد شهری تبریز تا سال ۱۳۹۵ مساحتی برابر با ۱۰۳۷ هکتار و تا سال ۱۴۰۰، حدود ۲۰۳۳ هکتار خواهد بود. همچنین نتایج به‌دست‌آمده بیانگر این مطلب بود که مرتع درجه یک تا سال ۱۳۹۵، حدود ۱۰۲۸ هکتار و تا سال ۱۴۰۰ حدود ۱۹۸۸ هکتار کاهش مساحت خواهد داشت. به همین ترتیب مرتع درجه دو نیز تا سال ۱۳۹۵ حدود ۹/۵۹ هکتار و تا سال ۱۴۰۰ کمایش برابر با ۴۴ هکتار کاهش مساحت نشان خواهد داد. نقشه‌های پیش‌بینی‌شده پوشش اراضی مربوط به سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۴۰۰ در شکل ۹ ارائه شده است.



شکل ۹. نقشه‌های پیش‌بینی‌شده پوشش اراضی مربوط به سال‌های ۱۳۹۵ (راست) و ۱۴۰۰ (چپ)

بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه از مدل‌ساز تغییر سرزمین (LCM)، برای مدل‌سازی تغییرات پوشش اراضی و پیش‌بینی رشد و توسعه شهری در شهرستان تبریز استفاده شد. نتایج پژوهش نشان داد که تغییرات انجام‌شده روی پوشش اراضی شهرستان تبریز، به‌ویژه کاربری شهری و مسکونی، طی بیست‌وسه سال گذشته بسیار چشمگیر بوده است. در نتایج مشابهی با این مطالعه، در پژوهشی که تاپا و مورایاما (۲۰۱۲) به مطالعه رشد شهری در دره کاتماندو نپال پرداختند، نشان دادند که روند توسعه شهری در مناطق شهری و حومه شهری بی‌سابقه بوده است و اکوسیستم‌های طبیعی در تماس با این مناطق نیز، دچار تنش و استرس شده‌اند.

نتایج به‌دست‌آمده در این مطالعه نشان داد طی بیست‌وسه سال گذشته، ۵۱۹۵ هکتار به وسعت مناطق شهری و مسکونی شهر تبریز افزوده شده است که سهم اراضی مرتعی و کشاورزی مرغوب در این افزایش و توسعه مناطق شهری نسبت به شوره‌زارها بسیار زیاد بوده است، به‌خصوص اینکه میزان تغییرات و رشد در مساحت اراضی شهری و مسکونی طی سال‌های اخیر، سرعت بیشتری به خود گرفته است. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که گسترش انفجارگونه و لجام‌گسیخته شهر تبریز، براساس خواست‌ها و نیازهای جامعه شهری، دگرگونی‌ها و تحولات پدیده‌ای را در عرصه‌های گوناگون موجب خواهد شد که از مهم‌ترین آنها، می‌توان به ادغام شهر تبریز با برخی از روستاهای پیرامونی اشاره کرد که درنهایت به تشکیل یک پهنه وسیع فضایی با عملکردی واحد می‌انجامد. به‌یقین، این پهنه وسیع فضایی موجب خواهد شد تا افزون‌بر اینکه مرز فیزیکی معینی بین کاربری شهری و روستایی مشخص نباشد، عملکردهای مختلف اقتصادی، فرهنگی و... نیز که پیش از این هر کدام به‌تنهایی ارائه می‌کردند، محقق نشود.

احدنژاد و حسینی (۱۳۹۰) در مطالعه‌ای به ارزیابی تغییرات افقی شهر تبریز، به‌کمک فنون سنجش از دور در بازه زمانی ۱۳۶۳-۱۳۸۹ پرداخته‌اند. عمده‌ترین تفاوتی که بین مطالعه آنها با مطالعه حاضر وجود دارد، این مسئله است که مطالعه حاضر تغییرات پوشش اراضی و پیش‌بینی وضعیت آینده تبریز را در کل محدوده سیاسی شهر انجام داده است؛ این در حالی است که مطالعه احدنژاد و حسینی به این مسئله فقط در بافت شهری، یعنی مناطق ساخته‌شده و مسکونی و قسمتی از حاشیه شهر می‌پردازد. این امر موجب می‌شود که درعمل مقایسه مساحت کاربری‌های دیگر ناممکن شود، اما نتایج تغییر مساحت بافت شهری مطالعه احدنژاد و حسینی در بازه زمانی بیست‌وهفت سال، حدود شش هزار هکتار گزارش شده است و این برآورد برای میزان رشد مناطق شهری ساخته‌شده در مطالعه احدنژاد و حسینی و مطالعه حاضر که در بازه زمانی بیست‌وسه ساله انجام شده است، همخوانی دارد؛ زیرا تغییرات رشد مناطق شهری در این مطالعه، حدود ۵۳۰۰ هکتار است. نکته مهم دیگری که احدنژاد و حسینی (۱۳۹۰) به آن اشاره کردند، کاهش شدید مناطق کشاورزی و تبدیل مساحت بزرگی از این اراضی به مناطق شهری و مسکونی است. هرچند این ادعا درباره اراضی پیرامونی شهر درست و کاملاً آشکار است، اما اطلاعات کافی و برآورد دقیقی از میزان اراضی کشاورزی فعلی شهر تبریز در اختیار ما قرار نمی‌دهد؛ زیرا آنها کل محدوده سیاسی شهر تبریز را بررسی نکرده‌اند. پژوهش حاضر نیز منکر این مسئله نیست که اراضی کشاورزی پیرامون مناطق ساخته‌شده و مسکونی مورد تخریب قرار گرفته‌اند، ولی نتایج حاصل و نقشه‌های پوشش اراضی نشان دادند که طی بیست‌وسه سال گذشته، حدود بیست‌هزار هکتار به مساحت اراضی کشاورزی و باغ‌ها افزوده

شده است که این افزایش میزان مساحت اراضی کشاورزی نیز همانند بسیاری از شهرهای بزرگ دنیا با توجه به رشد جمعیتی، افزایش کیفیت بهداشت و تغذیه عمومی، بالارفتن سرانه مصرف کالا و معیارهای دیگر توسعه اقتصادی، امری طبیعی است. هرچند نباید غافل شد که نابودی پوشش سبز اطراف شهر، در تشدید شرایط آلودگی هوا و بروز سایر مشکلات محیط زیستی اثر بسیار مخربی خواهد گذاشت. بنابراین می‌توان با رعایت و اجرای قوانین مربوط به کاربری اراضی و همچنین همراه کردن بهره‌برداران حوضه‌های آبخیز موجود در منطقه، ارگان‌ها، سازمان‌ها، مؤسسه‌های دولتی و نیز، بنگاه‌های معاملاتی و بورس‌بازان زمین، تا حد زیادی از ایجاد مشکلات آینده پیشگیری کرد.

در این مطالعه رویکرد شبکه عصبی مصنوعی، به دلیل مزیت‌هایش از قبیل نبود، هیچ‌گونه فرض قبلی درباره مدل احتمالی از داده‌ها، قوی و مستحکم‌بودن در محیط‌ها و فضاهای شلوغ، توانایی قبول الگوهای پیچیده موجود در پایگاه داده‌ها و توانایی مدل‌سازی روابط غیرخطی، مورد استفاده قرار گرفت (جی، ۲۰۰۰). اگرچه مدل‌های مختلف شبکه عصبی توسعه داده شده‌اند، ولی پرسپترون چندلایه به صورت وسیع مورد استفاده قرار گرفته است (هو و ونگ، ۲۰۰۹). پرسپترون چندلایه در برنامه‌های کاربردی مختلفی، مانند طبقه‌بندی‌های پوشش اراضی و کاربری زمین، مدل‌سازی پتانسیل انتقال تغییر کاربری‌ها، مدل‌سازی تخریب جنگل‌ها و مدل‌سازی توسعه شهری مورد استفاده قرار گرفته است. یک مدل شبیه‌ساز از توسعه شهری در چارچوب پرسپترون چندلایه و زنجیره مارکف در تابع مدل‌ساز تغییر سرزمین یا LCM در نرم‌افزار IDRISI Taiga تعبیه شده است. پرسپترون چندلایه، اجازه می‌دهد عوامل توضیحی تغییرات زمین ادغام شوند، درحالی‌که مدل مارکف، پویایی زمانی تبدیل مناطق را کنترل می‌کند. در مدل‌ساز تغییر سرزمین پرسپترون چندلایه، نخست یک نمونه تصادفی از سلول‌های دارای تغییر و همچنین بدون تغییر می‌سازد و به صورت خودکار، فرایند آموزش‌دهی را آغاز می‌کند. درواقع پرسپترون چندلایه، یک تابع چندمتغیره را توسعه می‌دهد که وظیفه آن تابع، پیش-بینی پتانسیل برای تغییرات و انتقالات براساس مقادیر ارزش‌های متغیرهای توضیحی در هر موقعیت است. رویکرد زنجیره مارکف، میزان تغییرات را با استفاده از نقشه‌های پوشش اراضی قبلی و بعدی تعیین می‌کند. این پژوهش، برای پیش‌بینی مقادیر کمی تغییرات در فرایند پیش‌بینی و برآورد پوشش اراضی از زنجیره مارکف استفاده کرد (ایستمن، ۲۰۰۹).

ظاهری (۱۳۸۷) در مطالعه خود، مبنی بر نقش روند گسترش کالبدی شهر تبریز در ایجاد تغییرات کاربری اراضی حومه شهر و روستاهای حوزه نفوذ، ضمن اشاره به این مسئله که توسعه کلان‌شهر تبریز و تغییر دیدگاه‌های اقتصادی از بخش کشاورزی به بخش صنعت و خدمات یا به‌گفته‌ای، تحولات اقتصادی و اجتماعی برآمده از تغییر مناسبات شهر و روستا، به صورت مجموعه‌ای مرتبط با همدیگر در توسعه ناموزون و بدون برنامه‌ریزی شهر مؤثر بوده‌اند. وی این نکته را نیز اضافه می‌کند که در توسعه بیش‌ازحد شهر تبریز و ادغام آن با روستاهای همجوار، می‌بایست به ویژگی تکتونیک و زلزله‌خیزی منطقه نیز اشاره کرد که همگی به دلیل قرارگیری در نزدیکی گسل تبریز، پیوسته مورد تهدید زمین‌لرزه‌های شدید قرار دارند و سرانجام، از آنجایی که تمامی منطقه روی رسوبات آبرفتی جای گرفته‌اند، خواه ناخواه شرایط برای افزایش شدت زمین‌لرزه‌ها در آنها مهیا است. همچنین در این رابطه، کامیاب، ماهینی، حسینی و غلامعلی فرد (۱۳۸۸)، مدل‌سازی توسعه شهر گرگان را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و رگرسیون لجستیک انجام دادند و بیان کردند که نادیده گرفتن محدودیت‌ها و توان سرزمین برای انتخاب کاربری، شدت مشکلات را افزایش می‌دهد و می‌توان با توزیع و

پراکنش مناسب زمین‌های زراعی، مرتعی و شهری، تراکم مناطق مسکونی و شهری کنونی و مراکز تجاری را مدیریت کرد و در مسیر مطلوب قرار داد.

مسئله دیگری که بسیار مهم و قابل توجه است و با توسعه و گسترش شهر تبریز با آن روبه‌رو خواهیم شد، نقش خوابگاهی است که روستاهای اطراف به خود خواهند گرفت؛ یعنی با افزایش ارتباط فیزیکی بین شهر و روستاها، برخی از روستاهای پیرامون نقش یک خوابگاه را به خود خواهند گرفت و آن عده از جمعیت فعالی که در شهر کار می‌کنند و توانایی تهیه مسکن در شهر را ندارند، به سکونت در روستاها گرایش می‌یابند. بنابراین شهر تبریز محل کار این نوع افراد تلقی خواهد شد و به‌منظور یافتن مسکن کم‌بها برای اقامتشان، چشم به زمین‌های روستاها خواهند داشت که هرچه شدت مهاجرت به روستاهای اطراف بیشتر باشد، امکان تغییر کاربری اراضی نیز بیشتر خواهد بود. نتایج مدل‌ساز تغییر سرزمین نیز این موضوع را برای ما آشکارا نشان داد که با بزرگ‌شدن و توسعه شهر تبریز و نزدیک‌شدن شهر به روستاهای پیرامونی در سال‌های آینده، میزان اراضی مرتعی و زراعی روستاها به‌میزان چشمگیری کاهش خواهد یافت. نتایج مدل‌سازی نشان داد که برای سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۴۰۰، به‌ترتیب ۱۰۳۷ و ۲۰۳۳ هکتار افزایش مساحت در کاربری شهری و مسکونی خواهیم داشت. این مسئله همان‌گونه که پیش از این گفته شد با توجه به فشاری که روی اراضی مرتعی و زراعی وارد می‌آورد، بسیار نگران‌کننده خواهد بود که انتظار می‌رود مسئولان هرچه سریع‌تر راه‌کاری برای این مسئله بیندیشند.

با توجه به نتایج مطلوب ارائه‌شده از مطالعات پیشین در زمینه مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات پوشش سرزمین در آینده، در پژوهش حاضر نیز از این ابزار به‌منزله تخمین‌گر و پیش‌بینی‌کننده تغییرات پوشش سرزمین در محدوده شهرستان تبریز استفاده شد. درواقع با برقراری مدلی تجربی^۱ بین متغیر وابسته (میزان تغییرات کاربری و پوشش اراضی) و متغیرهای مستقل بیان‌شده، تغییرات پوشش سرزمین محدوده شهرستان تبریز برای سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۴۰۰ پیش‌بینی شد. با توجه به این نکته که نوع روابط بین متغیرهای مستقل مورد بررسی از نوع غیرخطی بود، در این پژوهش از شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد که این شبکه با داده‌های سال‌های قبل (نقشه‌های پوشش اراضی سال‌های ۱۳۶۷، ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰) آموزش داده شده بود.

نتایج برآمده از این مطالعه می‌تواند با توجه به ماهیت تغییرات پوشش سرزمین شهرستان تبریز در گذشته، حال و آینده، دیدگاه‌ها و چشم‌اندازهای مناسبی را برای مدیران و برنامه‌ریزان شهری در راستای مدیریت صحیح کاربری اراضی در تبریز فراهم آورد. همچنین نتایج این پژوهش، می‌تواند مقدمه و مکملی باشد برای پروژه‌های ارزیابی اثرات زیست‌محیطی، پروژه‌های امکان‌سنجی و مکان‌یابی یا پروژه‌های دیگری که به شناسایی زون‌ها و نقاط حساس و آسیب‌پذیر در سطح و محدوده شهرستان تبریز می‌پردازند.

منابع

- احدنژاد روشنی، م.؛ حسینی، س. ا. (۱۳۹۰). ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات و پراکنش افقی شهرها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه و سیستم اطلاعات جغرافیایی (نمونه موردی: شهر تبریز در مقطع زمانی ۱۳۶۳-۱۳۸۹). پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، دوره ۲، شماره ۴، صص. ۱-۲۰.
- ظاهری، م. (۱۳۸۷). نقش روند گسترش کالبدی شهر تبریز در ایجاد تغییرات کاربری اراضی حومه شهر و روستاهای حوزه نفوذ، مطالعه موردی؛ روستاهای الوار سفلی، باغ معروف، شادآباد مشایخ و کندرود، جغرافیا و توسعه، دوره ۶ شماره ۱۱، صص. ۱۹۸-۱۸۱.
- علوی‌پناه، س. ک.؛ مسعودی، م. (۱۳۸۰). تهیه نقشه کاربری اراضی با استفاده از داده‌های رقومی ماهواره‌ای TM و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: منطقه موک استان فارس)، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دوره ۸، شماره ۱، صص. ۷۶-۶۵.
- غلامعلی‌فرد، م.؛ جورابیان شوشتری، م.؛ حسینی کهنوج، س. ح.؛ میرزایی، م. (۱۳۹۱). مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی سواحل استان مازندران با استفاده از LCM در محیط GIS، محیط‌شناسی، دوره ۳۸، شماره ۴، صص. ۱۲۴-۱۰۹.
- کامیاب، ح.؛ سلمان‌ماهینی، ع.؛ حسینی، س. م.؛ غلامعلی‌فرد، م. (۱۳۸۸). اتخاذ رهیافت اطلاعات‌محور با کاربرد روش رگرسیون لجستیک برای مدل‌سازی توسعه شهری گرگان، محیط‌شناسی، دوره ۳۶، شماره ۲، صص. ۹۶-۸۹.
- نظری سامانی، ع. ا.؛ قربانی، م.؛ کوهبنانی، ح. ر. (۱۳۸۹). ارزیابی روند تغییرات کاربری اراضی حوزه آبخیز طالقان در دوره ۱۳۶۶ تا ۱۳۸۰، مجله علمی پژوهشی مرتع، دوره ۴، شماره ۳، صص. ۴۵۱-۴۴۲.
- Ahadnezhad, M. and Hossain, A., 2011, **The Evaluation and Predicting of Urban Sprawl using Multi-temporal Satellite Imagery and GIS (A Case Study: Tabriz City 1984-2010)**, Research and Urban Planning, Vol. 2, No. 4, PP. 1-20.
- Alavipanah, S. K. and Masoudi, M., 2001, **Preparation of Land Use Map using Landsat TM Digital Data and Geographic Information Systems**, Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, Vol. 8, No. 1, PP. 65-76.
- Alberti, M., Weeks, R. and Coe, S., 2004, **Urban Land Cover Change Analysis in Central Puget Sound**. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 70, No. 9, PP. 1043-1052.
- Arsanjani, J.J., Helbich, M., Kainz, W. and Darvishi Bolorani, A., 2013, **Integration of Logistic Regression, Markov Chain and Cellular Automata Models to Simulate Urban Expansion**, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Vol. 21, PP. 265-275.
- Ayad, Y.M., 2005, **Remote Sensing and GIS in Modeling Visual Landscape Change: A Case Study of the Northwestern Arid Coast of Egypt**, Landscape and Urban Planning, Vol. 73, No. 4, PP. 307-325.
- Eastman, J. R., 2009, **IDRISI Taiga, Guide to GIS and Remote Processing**, Worcester: Clark University.
- Eastman, J.R., 2006, **IDRISI Andes. Guide to GIS and Image Processing**, Clark Labs, Clark University, Worcester, MA.
- Gardner, M.W. and Dorling, S.R., 1998, **Artificial Neural Networks (the Multilayer Perceptron)- a Review of Applications in the Atmospheric Sciences**, Atmospheric Environment, Vol. 32, No. 14-15, PP. 2627-2636.
- Gholamalifard, M., Joorabian Shooshtari, S., Hosseini Kahnuj, S. H. and Mirzaei, M., 2012, **Land Cover Change Modeling of Coastal Areas of Mazandaran Province Using LCM in a GIS Environment**, Journal of Environmental Studies, Vol. 38, No. 4, PP. 109-124.
- Gómez, C., White, J.C. and Wulder, M.A., 2011, **Characterizing the State and Processes of Change in a Dynamic Forest Environment Using Hierarchical Spatio-temporal Segmentation**, Science of the Total Environment, Vol. 115, No. 7, PP. 1665-1679.
- Haibo, Y., Longjiang, D., Hengliang G. and Jie Zh., 2011, **Tai'an Land Use Analysis and Prediction Based on RS and Markov Model**, Procedia Environmental Sciences, Vol. 10, Part C, PP. 2625-2630.
- Hornik, K., Stinchcombe, M. and White, H., 1989, **Multilayer Feed Forward Networks are Universal Approximators**, Neural Networks, Vol. 2, No. 5, PP. 359-366.
- Hu, X. and 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, Vol. 113, No. 10, PP. 2089-2102.

- Ji, C. Y., 2000, **Land-use Classification of Remotely Sensed Data Using Kohonen Self Organizing Feature Map Neural Networks**, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 66, No. 12, PP. 1451-1460.
- Joorabian Shooshtari, SH., Hosseini, S.M., Esmaili-Sari, A. and Gholamalifard, M., 2012, **Monitoring Land Cover Change, Degradation, and Restoration of the Hyrcanian Forests in Northern Iran (1977-2010)**, International Journal of Environmental Sciences, Vol. 3, No. 3, PP. 1038-1056.
- Kamyab, H., Salman Mahini, A., Hoseini, S. M. and Gholamalifard, M., 2009, **A Knowledge-Based Approach to Urban Growth Modeling in Gorgan City Using Logistic Regression**, Journal of Environmental Studies, Vol. 36, No. 2, PP. 89-96.
- Khoi, D.D. and Murayama, Y., 2010, **Forecasting Areas Vulnerable to Forest Conversion in the Tam Dao National Park Region, Vietnam**, Remote Sensing, Vol. 2, No. 5, PP. 1249-1272.
- Kuemmerle, T., Chaskovskyy, O., Knorn, J., Radeloff, V.C., Kruhlov, I., Keeton, W.S. and Hostert, P., 2009, **Forest Cover Change and Illegal Logging in the Ukrainian Carpathians in the Transition Period from 1988 to 2007**, Remote Sensing of Environment, Vol. 113, No. 6, PP. 1194-1207.
- 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, No. 10, PP. 1809-1818.
- Mas, J.F., 2004, **Mapping Land Use/Cover in a Tropical Coastal Area Using Satellite Sensor Data, GIS and Artificial Neural Networks**, Estuarine, Coastal and Shelf Science, Vol. 59, No.2, PP.219-230.
- Muñoz-Rojas, M., De la Rosa, D., Zavala, L.M., Jordán, A. and Anaya-Romero, M., 2011, **Changes in Land Cover and Vegetation Carbon Stocks in Andalusia, Southern Spain (1956 - 2007)**, Science of the Total Environment, Vol. 409, No. 14, PP. 2796-2806.
- Nahuelhual, L., Carmona, A., Lara, A., Echeverría, C. and 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, Vol. 107, No. 1, PP. 12-20.
- Nazari Samani, A., Ghorbani, M. and Kohbanani, H. R., 2010, **Land Use Changes in Taleghan Watershed from 1987 to 2001**, Range, Vol. 4, No. 3, PP. 442-451.
- Oñate-Valdivieso, F. and 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, No. 3-4, PP. 256-263.
- Patterson, D. W., 1998, **Artificial neural networks: theory and applications**. Prentice Hall PTR.
- 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 Urban Systems Journal, Vol. 26, No.6, PP. 553-575.
- Portnov, B.A., Adhikari, M. and Schwartz, M., 2007, **Urban Growth in Nepal: Does Location Matter?** Urban Studies, Vol. 44, No. 5-6, PP. 915-937.
- Schulz, J.J., Cayuela, L., 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, No. 3, PP. 436-447.
- Thapa, R.B. and Murayama, Y., 2009, **Examining Spatiotemporal Urbanization Patterns in Kathmandu Valley, Nepal: Remote Sensing and Spatial Metrics Approaches**, Remote Sensing, Vol. 1, No. 3, PP. 534-556.
- Thapa, R.B. and Murayama, Y., 2011, **Urban growth modeling of Kathmandu metropolitan region, Nepal**. Computers, Environment and urban systems, Vol. 35, No. 1, PP. 25-34.
- Thapa, R.B. and Murayama, Y., 2012, **Scenario Based Urban Growth Allocation in Kathmandu Valley, Nepal**, Landscape and Urban Planning, Vol. 105, No. 1-2, PP. 140-148.
- Thapa, R.B., Murayama, Y. and Ale, S., 2008, **Kathmandu**, Cities, Vol. 25, No. 1, PP. 45-57.
- Verburg, P.H., Schot, P.P., Dijst, M.J. and Veldkamp, A., 2004, **Land Use Change Modeling: Current Practice and Research Priorities**, Geo Journal, Vol. 61, No. 4, PP. 309-324.
- Vitousek, P.M., Mooney, H.A., Lubchenco, J. and Melillo J.M., 1997, **Human Domination of Earth's Ecosystems**, Science, Vol. 277, No. 5325, PP. 494-499.

- Weng, Y., 2007. **Spatiotemporal Changes of Landscape Pattern in Response to Urban-ization**, Landscape and Urban Planning, Vol. 81, No. 4, PP. 341-353.
- Wu, Q., Li, H., Wang, R., Paulussen, J., He, Y., Wang, M., Wang, B. and Wang, Z., 2006, **Monitoring and Predicting Land Use Change in Beijing Using Remote Sensing and GIS**, Landscape and Urban Planning, Vol. 78, No. 4, PP. 322-333.
- Yang, X., 2002, **Satellite Monitoring of Urban Spatial Growth in the Atlanta Metropolitan Area**, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 68, No. 7, PP. 725-734.
- Yuan, D. and Elvidge, C., 1998, **NALC Land Cover Change Detection Pilot Study: Washington D.C Area Experiments**, Remote Sensing of Environment, Vol. 66, No. 2, PP. 166-178.
- Zaheri, M., 2008, **The Rate of Frame Development and Extension of Tabriz and its Role on Changes in Using the Lands of Impact Area Villages and Suburbs (The Case Study: Alvare-Sofla, Bagh-e-Marroof, Shadabad-Mashayekh and Kondrood Villages)**, Geography and Development Iranian Journal, Vol. 6, No. 11, PP. 181-198.
- Zhang, R., Tang, C., Ma, S., Yuan, H., Gao, L. and Fan, W., 2011, **Using Markov Chains to Analyze Changes in Wetland Trends in Arid Yinchuan Plain, China**, Mathematical and Computer Modeling, Vol. 54, No. 3-4, PP. 924-930.