

پیش‌بینی روند تغییرات و توسعه شهری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: شهر بجنورد)

زهرا پروار^{۱*} و کامران شایسته^۲

۱. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد ارزیابی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر

۲. استادیار، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر ka_shayesteh@yahoo.com

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۸/۱۵

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۵/۱۰/۲۸

چکیده

رشد سریع جمعیت و افزایش فعالیت‌های اقتصادی بشر، منجر به بهره‌برداری ناپایدار منابع و کاهش سریع در ذخایر طبیعی زمین می‌شود. مدل‌سازها می‌توانند ابزار بسیار مفیدی در تحقیقات محیط زیستی و رشد شهری مرتبط با نگرانی در زمینه تغییر کاربری سرزمین باشند. در این مطالعه، تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ سنجنده ETM+ (سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۸ میلادی) و لندست ۸ سنجنده OLI (سال ۲۰۱۵ میلادی) برای تهیه نقشه کاربری اراضی استفاده شد. پس از انجام تصحیحات لازم و برش مرز، طبقه‌بندی نظارت‌شده به روش حداکثر احتمال انجام شد. در حال حاضر، این روش دقیق‌ترین و پراستفاده‌ترین روش طبقه‌بندی ذکر شده است. با توجه به هدف مطالعه ۳ کاربری مناطق مسکونی، پوشش گیاهی و زمین‌های بایر برای این مطالعه تعریف شد. به‌منظور تجزیه و تحلیل و آشکارسازی تغییرات، دو به دو نقشه‌های پوشش سرزمین سال‌های ۲۰۰۱ با ۲۰۰۸، ۲۰۰۸ با ۲۰۱۵ و ۲۰۰۱ با ۲۰۱۵ بررسی شد. افزایش و کاهش، تغییر خالص، مناطق بدون تغییر و انتقال بین دو نقشه کاربری بررسی و ارزیابی شدند. بر این اساس با استفاده از نقشه‌های سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۸ نقشه کاربری اراضی در سال ۲۰۱۵ با روش زنجیره مارکوف پیش‌بینی شد و نقشه پیش‌بینی شده با نقشه واقعی این سال مقایسه شد. از کاپای استاندارد (Kstandard) برای بررسی صحت مدل‌سازی استفاده شد و با مقدار بالای ۸۰ درستی آن تأیید شد. در مطالعه حاضر، بررسی روند کلی تغییرات در بازه زمانی ۱۴ ساله یعنی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵ نشان می‌دهد در تحلیل این دوره، تبدیل سایر کاربری‌ها به طبقه مسکونی ۸ درصد (۱۲۰۳ هکتار)، تغییر از پوشش گیاهی به بایر ۷۳۷ هکتار و بایر به پوشش گیاهی ۵۵۴ هکتار بوده است. در فاصله ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۵، از یک سو گسترش و توسعه مناطق مسکونی از جهات مختلف ادامه داشت (۹۸۱ هکتار) و از سوی دیگر افزایش زمین‌های بایر ناشی از تغییر از کاربری پوشش گیاهی (۶۷۷ هکتار) از عمده تغییرات این دوره به حساب می‌آید.

کلیدواژه

پتانسیل انتقال، رشد شهری، زنجیره مارکوف، شبکه‌های عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه، مدل‌ساز تغییر کاربری سرزمین.

۱. سرآغاز

تشخیص و پیش‌بینی تغییرات برای تصمیم‌گیری و اجرای سیاست‌های مناسب در پاسخ به تغییرات و اختلالات رخ داده در زمین ضروری است (Adedeji et al., 2015). منابع محیط‌زیستی در جهان کنونی، سرمایه‌های ارزشمندی هستند که حفظ آن‌ها باید در ردیف اساسی‌ترین تلاش‌های انسان قرار گیرد (عباس پور، ۱۳۸۸). تغییر کاربری سرزمین

رشد سریع جمعیت و افزایش فعالیت‌های اقتصادی بشر منجر به بهره‌برداری ناپایدار منابع و کاهش سریع در ذخایر طبیعی زمین می‌شود. مطالعه تغییرات کاربری‌ها و استفاده از زمین به تجزیه و تحلیل پیامدهای مختلف محیط‌زیستی و توسعه در طول زمان کمک می‌کند. نقشه‌برداری،

مدل‌سازها به‌طور معمول تعیین می‌کنند چه تغییراتی رخ داده یا پتانسیل وقوع را دارد و با شناخت عواملی که باعث تغییر می‌شوند، امکان پیش‌بینی محلی را که این تغییرات احتمال دارد رخ دهد را نیز فراهم می‌کنند. محرک‌های تغییر، اغلب شامل افزایش جمعیت، فاصله از جاده، نوع خاک و غیره می‌شود. مدل‌های تغییر کاربری/پوشش زمین به منظور ارزیابی اثر تجمعی تغییر کاربری زمین و توسعه سناریوهای آینده به کار می‌روند (Halmy et al., 2015). مدل‌ها از اطلاعات بسیاری استفاده می‌کنند (تصاویر طبقه‌بندی شده سنجنش‌ازدور، متغیرهای فیزیکی-زیستی و اقتصادی-اجتماعی، سناریوها و شاخص‌های اقتصادی، داده‌های آماری و بررسی‌های زمینی و غیره) که اغلب این قابلیت‌ها در GIS وجود دارد و می‌تواند در ترکیب با هم استفاده شوند (Mas et al., 2014). مدل‌های تغییر سرزمین ابزارهایی مناسب در مطالعات محیط‌زیستی و جغرافیایی در زمینه تغییر پوشش/کاربری سرزمین هستند. نقشه‌های شبیه‌سازی که از مدل‌های تغییر پوشش/کاربری سرزمین به دست می‌آیند، به ما در پیش‌بینی ارزیابی آینده مشکلات محیط‌زیست کمک می‌کنند (Camacho Olmedo et al., 2015). 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 به وجود 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 بپردازد (Schulz et al., 2010). در محیط نرم‌افزار IDRISI (LCM)، پیش‌بینی با تشکیل یک ماتریس برای محاسبه مقدار هر تغییر کاربری سرزمین انجام می‌شود. زمانی که پیش‌بینی در یک دوره چندگانه زمانی است، این ماتریس احتمال انتقال با یک نیروی ساده محاسبه می‌شود (Mas et al., 2014). LCM از

به‌احتمال‌زیاد یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر رفاه انسان در سراسر جهان است. در مقیاس جهانی، تغییر کاربری/پوشش سرزمین، منجر به کاهش یا تغییر تنوع زیستی و همچنین کاهش خدمات اکوسیستم و منافع آن‌ها برای جامعه می‌شود (Nahuelhual et al., 2014). این روند کلی در تغییرات پوشش/کاربری زمین منجر به انجام مطالعات مختلفی با تمرکز بر وضعیت تغییرات کشاورزی، جنگل‌ها و توسعه شهری شده است. مهم‌ترین تغییرات در بخش کشاورزی به دلیل تغییر در ساختار زمین‌ها به دست مالکان و ذینفعان بوده است. اجرای اصلاحات اراضی، به دلیل تقسیم قطعات بزرگ زمین‌ها به مزارع کوچک منجر به پهرودگی و تکه‌تکه شدن اراضی زراعی شده است (Rogan & Vaclavik, 2009).

تعیین تغییرات کاربری سرزمین و آثار آن بر اکوسیستم‌های طبیعی به یکی از نگرانی‌های کارشناسان و برنامه‌ریزان محیط‌زیست تبدیل شده است (Halmy et al., 2015) و این مسئله از جنبه‌های زیادی برای تغییرات جهانی محیط‌زیست مهم است و روزه‌روز توجه بیشتر دانشمندان و تصمیم‌گیران را به خود جلب می‌کند (Mas et al., 2014). در دهه‌های گذشته، گرایش زیادی در جوامع علمی و سیاسی به پیش و مدل‌سازی تغییرات در سطح زمین به وجود آمده است (Paegelow et al., 2013). پیشرفت‌های اخیر در روش‌های سنجنش‌ازدور و GIS پیش از پیش به محققان در مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات پوشش/کاربری سرزمین کمک کرده است به طوری که تاکنون راه‌های بسیاری نیز برای مدل‌سازی و پیش‌بینی پویایی و تغییرات پوشش/کاربری سرزمین به وجود آمده است (Kumar et al., 2014). مدل‌سازی پویایی محیط‌زیست به فهم تغییرات در حال وقوع و همین‌طور به پیش‌بینی اتفاقاتی که در آینده رخ خواهد داد کمک می‌کند. مدل‌سازی تغییر سرزمین یعنی شبیه‌سازی رفتار سیستم‌های محیطی و جامعه در مکان و زمان به گونه‌ای که مرتبط با تغییرات زمین باشد (Paegelow et al., 2013).

دارد، لذا این مدل‌ها در گروه مدل‌های رگرسیونی قرار می‌گیرند (قلاتی و همکاران، ۱۳۹۲).

شبکه‌های عصبی مصنوعی با ساختار نقشه‌سازی غیرخطی و برای مدل‌سازی سیستم‌های متصل به یکدیگر مانند مغز متشکل از نورون‌ها توسعه داده شده‌اند. شبکه‌های عصبی پرسپترون چندلایه^۳ از پرکاربردترین شبکه‌های عصبی مورد استفاده هستند. یک پرسپترون چندلایه معمولاً از یک لایه ورودی، یک یا چند لایه نهفته و یک لایه خروجی تشکیل شده است که به ترتیب اطلاعات را دریافت و پردازش می‌کنند و سپس نمایش می‌دهند (قلاتی و همکاران، ۱۳۹۲). شبکه عصبی مصنوعی مستقل از توزیع آماری داده‌ها است و متغیرهای آماری ویژه نیاز نیستند؛ بنابراین این ویژگی امکان ترکیب داده‌های سنسج از دور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی را تسهیل می‌کند. علاوه بر این، تجزیه و تحلیل دقت، حتی با گروه داده آموزشی اندک از منطقه امکان‌پذیر است، زیرا محاسبات پیکسل - مبنا هستند (حیدریان و همکاران، ۱۳۹۳).

در طول دو دهه گذشته، برای کمک به مدیریت، درک بهتر، ارزیابی و طرح‌ریزی بهتر آینده، مطالعات بسیاری به روش‌های مختلف به مدل‌سازی و پیش‌بینی روند تغییرات کاربری سرزمین پرداخته‌اند. از جمله این مطالعات می‌توان به مطالعه Halmy و همکاران (۲۰۱۵)، اشاره کرد. در این مطالعه تغییرات کاربری در بخشی از شمال غرب بیابان مصر را با استفاده از روش زنجیره مارکوف برای پیش‌بینی تغییرات آن در آینده مطالعه کردند. این مطالعه نشان داد استفاده از روش مدل‌سازی فضایی تغییرات کاربری سرزمین، از جمله روش زنجیره مارکوف، راه‌هایی برای طرح‌ریزی سناریوهای آینده فراهم می‌آورد. زنجیره مارکوف امکان پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین در سال ۲۰۱۱ و طرح‌ریزی تغییرات برای سال ۲۰۲۳ با استفاده از برون‌یابی روند حاضر تغییرات را میسر ساخت. این روش برای پیش‌بینی توزیع تغییرات کاربری/پوشش سرزمین

ماتریس مارکوف برای پیش‌بینی مقدار هر انتقال استفاده می‌کنند. طرح مارکوف در نرم‌افزار ادریسی ماتریس مارکوف را بر اساس نقشه‌های دو نقطه زمانی که فاصله کالیبراسیون تعریف می‌کند محاسبه می‌کند (Camacho Olmedo et al., 2015). در انتخاب مدل‌ها صحت و اعتبار مدل موضوع مهم و نگران‌کننده‌ای است (Villa et al., 2007; Camacho Olmedo et al., 2007; Pontius et al., 2007; Wang & Mountrakis, 2007). مدل‌سازی تغییر زمین (LCM) برای پایداری اکولوژیکی به کاربر اجازه می‌دهد تا افزایش و کاهش را در طبقات کاربری سرزمین، پوشش بدون تغییر سرزمین و انتقال‌هایی بین طبقات انتخابی ارزیابی کند (Rogan & Vaclavik, 2009).

LCM ابزاری مناسب برای تحلیل و مدل‌سازی تغییر کاربری است که می‌تواند با ارزیابی تنوع زیستی و گازهای گلخانه‌ای نیز ترکیب شود. اندازه‌گیری مدل‌سازی تغییر بر اساس ماتریس زنجیره مارکوف و نقشه‌های قابلیت انتقال که از رگرسیون لجستیک به دست می‌آید (Mas et al., 2014). مدل‌سازی تغییر اراضی LCM مدلی است که تحت ویندوز بوده و محدودیت خاصی برای ورود متغیرهای توصیفی نداشته و ضمن کاربرد آسان قابلیت‌های بیشتری را برای کاربر ایجاد می‌کند (غلامعلی فرد و همکاران، ۱۳۹۳).

برای مدل‌سازی الگوهای مکانی تغییرات کاربری اراضی دو رویکرد رایج وجود دارد: ۱. مدل‌های رگرسیون مبنا و ۲. مدل‌هایی که بر پایه انتقال مکانی هستند. مدل‌هایی که بر مبنای انتقال‌های مکانی هستند، تکنیک‌های احتمالی را پوشش می‌دهند که اساس کار آن‌ها، روش سلول‌های خودکار^۱ و زنجیره مارکوف^۲ است و مدل‌های رگرسیون مبنا، رابطه بین دامنه گسترده‌ای از متغیرهای مستقل، پیش‌بینی‌کننده و تغییرات مشاهده‌شده در کاربری اراضی را شکل می‌دهد. سپس با استفاده از این متغیرها، محل تغییرات آینده در چشم‌انداز تخمین زده می‌شود. از آنجا که استفاده از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی بسیار با مدل‌های رگرسیونی مرتبط است و شباهت زیادی در الگوهای مورد استفاده با آن

جنگل اولیه از ۱۸/۰۳٪ در ۲۰۰۷ به ۱۵/۱۰٪ در ۲۰۱۴ و ۱۲/۶۶٪ در ۲۰۲۱ کاهش خواهد یافت.

Vaclavik و Rogan (۲۰۰۹)، روند تغییرات کاربری سرزمین را در ارتباط با تحولات سیاسی و اقتصادی جمهوری چک با استفاده از نقشه‌های کاربری / پوشش زمین از ۱۹۹۱ و ۲۰۰۱ در منطقه Olomouc تحلیل و بررسی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد زمین‌های کشاورزی ۱۲ درصد تبدیل به سایر کاربری‌ها از جمله مراتع شدند و پس از آن تغییر از جنگل مخلوط به جنگل پهن‌برگ ۶ درصد و توسعه شهری ۳/۵ درصد تعیین شد.

در ایران نیز در سال‌های اخیر با توجه به اهمیت و ضرورت پایش و مدل‌سازی تغییرات در سطح زمین پژوهش‌هایی صورت گرفته است که در این میان می‌توان به نمونه‌های زیر اشاره کرد. در مطالعه شوشتری و غلامعلی فرد (۲۰۱۵)، تغییرات کاربری حوزه رودخانه نکا در شمال ایران پیش‌بینی شد و با استفاده از سنجش‌های سیمای سرزمین کمی‌سازی شد. نتایج آن مطالعه نشان داد در طول سال‌های ۱۹۸۷-۲۰۰۱، کشاورزی بیشترین سهم را در ایجاد نواحی انسان ساخت داشته است. همچنین بیشترین انتقال تبدیل کشاورزی به بیشه و اراضی مسکونی بین سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۶ بود. احیای جنگل از بیشه و زمین‌های کشاورزی صورت گرفت. نتایج پیش‌بینی، پهرودسگی و پیچیدگی شکل و افزایش تنوع در سیمای سرزمین تا سال ۲۰۱۷ را نیز نشان می‌داد.

آرخی (۱۳۹۳)، تغییرات کاربری اراضی شهرستان سرابله ایلام سال ۱۳۹۰، با استفاده از نقشه‌های کاربری سال‌های ۱۳۶۷ و ۱۳۸۰ و به کمک مدل LCM و بر پایه شبکه‌های عصبی مصنوعی و تحلیل زنجیره مارکوف انجام شد. نتایج نشان می‌داد در طول دوره مطالعه ۱۴۶۹۱ هکتار جنگل تخریب شده است و اراضی بایر ۹۸۷۴ هکتار نسبت به سطح اولیه خود توسعه یافته است. همچنین در مطالعه غلامعلی فرد و همکاران (۱۳۹۳)، در بررسی تغییرات

۲۰۱۱ موفق بود و نتایج با نقشه حقیقی موجود برای سال ۲۰۱۱ قابل مقایسه شد. نقشه پیش‌بینی شده برای سال ۲۰۲۳ شهرنشینی بیشتر در سیمای سرزمین با پتانسیل گسترش اراضی زراعی به سمت غرب و شمال، افزایش معادن و رشد مراکز مسکونی را نشان می‌داد.

Kumar و همکاران نیز (۲۰۱۴)، در مطالعه خود نقشه‌های پوشش جنگل Bhanupratap-pur واقع در استان Chhattisgarh هند مربوط به سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰ را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست TM به دست آوردند تا به کمک آن‌ها پوشش جنگل در سال ۲۰۱۰ پیش‌بینی شود و به منظور مطالعه روند تغییرات و مدل‌سازی پیش‌بینی پوشش جنگل از مدل رگرسیون لجستیک (LRM) استفاده کردند. برای توضیح آثار فشار انسانی در جنگل، این مطالعه سه متغیر فاصله یعنی، فاصله از حاشیه جنگل، جاده‌ها و مناطق مسکونی و وضعیت طبقات شیب به‌عنوان متغیرهای توضیحی تغییرات جنگل در نظر گرفته شد. تحلیل‌ها نشان داد پوشش جنگل متحمل تغییرات پیوسته‌ای بین سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۱۰ شده که منجر به کاهش ۱۰۷,۲ کیلومتر از مناطق جنگلی شده است. در مطالعه‌ای دیگر، Wilson و Weng (۲۰۱۱)، آثار آتی کاربری شهری و تغییرات اقلیم را بر کیفیت سطح آب حوزه رودخانه Illinois, Des Plaines، بین سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۳۰ را پیش‌بینی کردند. از مدل‌سازی پیش‌بینی تغییر سرزمین (LCM) زمین برای تعیین سه سناریوی برنامه‌ریزی آینده کاربری زمین به ترتیب تراکم پایین رشد سکونتگاه‌ها، رشد نرمال شهری و رشد تجاری استفاده شد. همچنین Khoi و Murayama (۲۰۱۰) از LCM و شبکه عصبی مصنوعی برای مدل‌سازی تغییرات جنگل در پارک ملی Tam Dao استفاده کردند. از تصاویر ماهواره‌ای مربوط به سال‌های ۱۹۹۳، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۷ به عنوان ورودی مدل آشکار سازی و پیش‌بینی تغییرات سطح جنگل برای سال‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۲۱ بهره جستند. نتایج آن‌ها نشان داد

جغرافیایی ۵۷ درجه و ۲۰ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲۸ دقیقه و در ارتفاع متوسط ۱۰۱۰ متری از سطح دریا و تقریباً در مرکز جغرافیایی استان واقع شده است (شکل ۱). دشت بجنورد که شهر بجنورد در آن واقع شده است، از شمال به ارتفاعات قره‌باغ و کوه آخور، از شرق به ارتفاعات خانه سرو شمیلی، از جنوب به ارتفاعات بینالود و از غرب به بلندی‌های بدرانلو محدود می‌شود. وسعت دشتی که شهر در آن واقع شده است، بالغ بر ۱۰۵۰ کیلومتر مربع است که ۱۰۰ کیلومتر آن هموار و بقیه را ارتفاعات فرا گرفته است. آب و هوا در محدوده محیطی از نوع نیمه‌خشک تا خشک با تابستان‌های گرم و زمستان‌های سرد و طولانی است. از کل جمعیت شهرستان بجنورد براساس آمار سرشماری سال ۱۳۹۰، تعداد ۲۰۷۱۹۶ نفر جمعیت شهری و ۱۵۸۶۶۵ نفر در روستاها ساکنند.

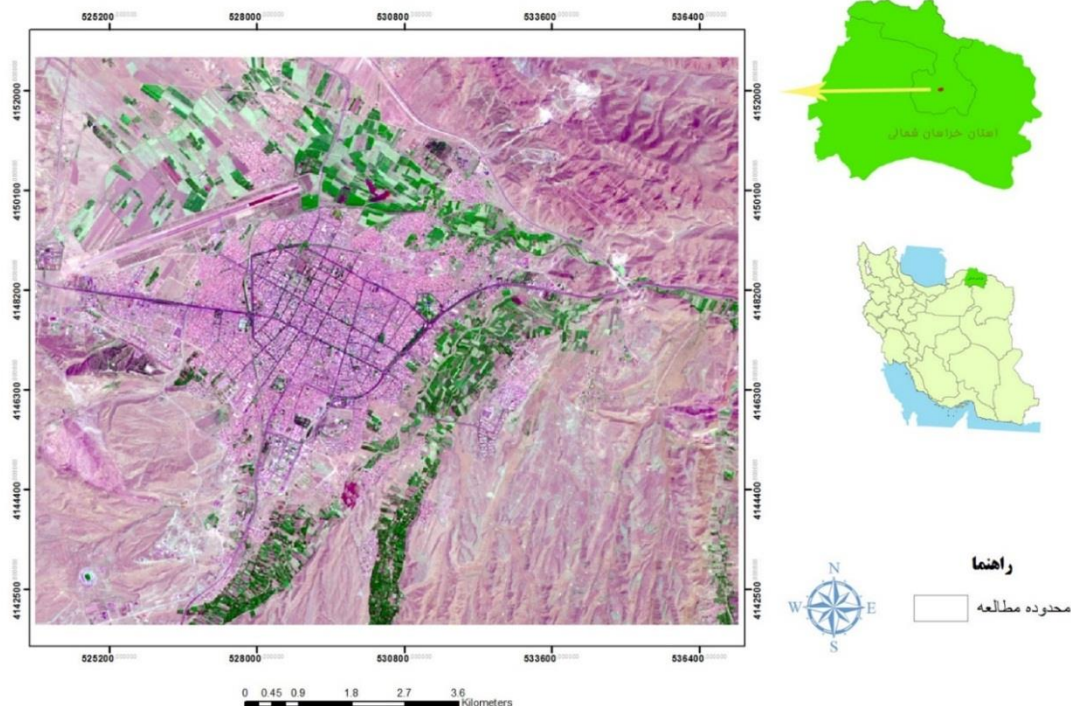
کاربری سرزمین در سواحل میانی استان بوشهر، در یک دوره ۲۳ ساله از ۷ متغیر و سه زیر مدل و نقشه‌های کاربری سرزمین سال‌های ۱۳۷۹ و ۱۳۸۴ برای مدل‌سازی تغییرات کاربری سرزمین ۱۳۹۰ استفاده شد. نتایج بیانگر تغییرات شدید و تبدیل اراضی باز به اراضی کشاورزی و رهاسازی زمین‌های کشاورزی در منطقه بود.

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، شهر بجنورد، مرکز استان خراسان شمالی است. در این مطالعه منطقه‌ای با وسعت ۱۴۴۳۸/۰۳ هکتار که پتانسیل تغییر و گسترش را دارد در نظر گرفته شد.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. منطقه مورد مطالعه

شهر بجنورد که مرکز استان خراسان شمالی است، در فاصله ۲۵۰ کیلومتری شمال غرب مشهد و در طول



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در کشور و استان

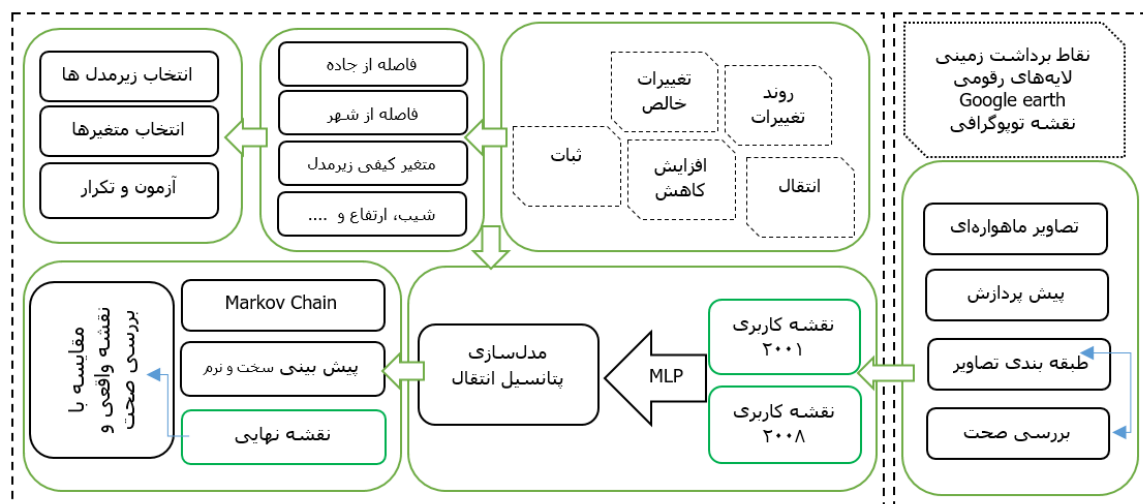
(منبع: نگارنده)

۲.۲. روش انجام مطالعه

پس از انجام مطالعات میدانی و کتابخانه‌ای در منطقه مورد مطالعه، اطلاعات، داده‌ها، لایه‌های رقومی شده و نقشه توپوگرافی مربوط به منطقه مورد مطالعه تهیه و جمع‌آوری شد. همچنین تصاویر ماهواره‌ای از پایگاه داده زمین‌شناسی آمریکا (USGS) تهیه شدند. برای تهیه نقشه کاربری اراضی از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ سنجنده ETM+ (سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۸ میلادی) و لندست ۸ سنجنده OLI (سال ۲۰۱۵ میلادی) استفاده شد. تصاویر اخذ شده از شهر بجنورد در مسیر ۱۶۱ و ردیف ۳۴ تصاویر ماهواره‌ای لندست قرار گرفته است.

مراحل کلی انجام این تحقیق، به ترتیب عبارت‌اند از:

- تهیه نقشه‌های کاربری اراضی
- آشکارسازی تغییرات و انتخاب زیر مدل‌ها
- انتخاب متغیرهای مستقل
- مدل‌سازی پتانسیل انتقال
- پیش‌بینی نقشه کاربری اراضی
- ارزیابی صحت مدل (شکل ۲)



شکل ۲. مراحل مدل‌سازی

(منبع: نگارنده)

شود. در این مطالعه تصحیح اتمسفری، هندسی و رادیومتریک در محیط نرم‌افزار ENVI 5 بر روی تصاویر صورت گرفت. هدف از تصحیح اتمسفری تعیین ارزش‌های واقعی بازتاب سطح و بازیابی پارامترهای فیزیکی سطح زمین، از جمله بازتاب سطح، با از بین بردن آثار جوی از تصاویر ماهواره‌ای است. تصحیح هندسی، جبران انحراف‌ها، به نحوی که شکل تصحیح شده قابلیت انطباق با نقشه را داشته باشد تعریف می‌شود. به عبارت دیگر می‌توان گفت به نحوه تغییر و تبدیل یک تصویر

سطح زمین به خودی خود سیستمی پیچیده است و مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی فرآیندی پیچیده با دخالت انواع متغیرهاست. معمولاً نقشه‌های موضوعی برای مدل‌سازی با استفاده از روش‌های سنجنش ازدور، پردازش تصویر و نرم‌افزارهای نقشه‌سازی به دست می‌آیند (آرخی، ۱۳۹۳).

پیش از به کار بردن تصاویر ماهواره‌ای، لازم است تا فرایندهای پردازشی برای حذف نویز یا خطاهای موجود در تصویر که در اثر خطای آشکارسازی سنجنده‌ها یا شرایط اتمسفری ایجاد می‌شود، بر روی تصویر اعمال

مؤثراند شناسایی شوند. این متغیرها، در فرمت نقشه تهیه و بررسی می‌شوند که آیا توان آشکارسازی انتقال را دارند و سپس انتخاب شده و در مدل استفاده می‌شوند. نقشه‌های فاصله از جاده یا دسترسی به جنگل نمونه‌هایی از این متغیرها هستند (Eastman, 2006).

به منظور انتخاب متغیرهای اثرگذار بر تغییرات کاربری اراضی، پس از مرور منابع از ضرایب کرامر^{۱۱} استفاده شد که میزان ارتباط بین متغیرها و طبقات کاربری اراضی را نشان می‌دهد. این ضریب یک شاخص آماری است که مقادیر مربع کای^{۱۲} را در یک بازه از ۰ تا ۱ نشان می‌دهد که در آن ۱ بیانگر توافق کامل بین دو متغیر اسمی است. پردازنده بررسی قدرت توضیحی متغیرها بر پایه جدول مقادیر ضریب همبستگی کرامر استوار است که در آن شدت همبستگی بین متغیر وابسته (تغییرات پوشش سرزمین) با متغیرهای کمی (متغیرهای فاصله) و متغیرهای کیفی (پوشش سرزمین) تعیین می‌شود. برای بررسی شدت این همبستگی از پردازنده مربوطه در نرم‌افزار IDRISI استفاده شد. قبل از بررسی قدرت توضیحی، در ابتدا باید متغیرها از حالت اسمی به حالت عددی تبدیل گردند. برای این کار از ابزار تغییر شکل احتمال شواهد در نرم‌افزار IDRISI نقشه پوشش سرزمین سال قدیمی‌تر (در ورودی مدل) استفاده شد. برای محاسبه ضریب همبستگی کرامر از رابطه (۱) استفاده می‌شود (چاپلکی، ۱۳۹۳):

$$V = \sqrt{\frac{\phi^2}{t}} = \sqrt{\frac{X^2}{nt}} \quad (1)$$

t: تعداد ردیف‌ها - ۱ یا تعداد ستون‌ها - ۱

n: تعداد ردیف‌ها

X: تعداد ستون‌ها

میزان این ضریب در هر کاربری به جهت پیش‌بینی کاربری اراضی نیز بسیار مهم است، زیرا ممکن است، میزان ضریب کلی کرامر برای یک متغیر در حد پایینی باشد اما آن متغیر با بعضی از کاربری‌ها، وابستگی بسیار زیادی داشته باشد. لازم به ذکر است که مقدار بالای

سنجش از دور یا عکس هوایی به صورتی که هم مقیاس با نقشه شود تصحیح هندسی گویند. از جمله منشاء خطاهای هندسی در تصاویر لندست خطای تجهیزات، انحنای زمین، عدم ثبات سکوها است.

پس از انجام تصحیحات لازم و برش مرز، طبقه‌بندی تصاویر به روش نظارت‌شده^۴ انجام می‌شود. در حال حاضر طبقه‌بندی نظارت‌شده به روش حداکثر احتمال، به‌عنوان دقیق‌ترین و پر استفاده‌ترین روش نظارت‌شده ذکر شده است (رونالد جی، ۱۳۸۸).

آشکارسازی و تحلیل تغییر سرزمین در مواردی از جمله مدیریت منابع و محیط‌زیست، برنامه‌ریزی کاربری سرزمین، حفاظت از تنوع زیستی و پروژه‌های REDD (کاهش انتشارات ناشی از جنگل‌زدایی و تخریب جنگل) بسیار ضروری است. مدل‌ساز تغییر سرزمین (LCM) با تحلیل تغییرات بین دو نقشه پوشش زمین در دو مقطع زمانی مختلف این امکان را فراهم کرده است تا مقدار افزایش^۵ و کاهش^۶، تغییر خالص^۷، مناطق بدون تغییر^۸ و انتقال^۹ بین دو نقشه کاربری را ارزیابی کند (Eastman, 2009).

با استفاده از مدل‌ساز LCM روند تغییرات، تغییرات خاص هر کاربری، تبدیل کاربری‌ها به هم، میزان کاربری‌های بدون تغییر و بسیاری تحلیل‌های دیگر را بر روی نقشه‌ها انجام داد. در برخی شرایط، مقدار و ماهیت تغییرات می‌تواند بسیار پیچیده باشد، از این رو LCM شامل ابزاری برای کشف روند ظاهری تغییرات پیچیده براساس تحلیل روند نیز است. یکی از روش‌های آشکارسازی پس از طبقه‌بندی، جدول بندی افقی است. این تغییرات که بین دو سال اتفاق می‌افتد شناسایی می‌شوند و به‌عنوان یک زیر مدل در نظر گرفته می‌شوند. برای انتخاب زیر مدل‌هایی که بالاترین، صحت را داشته باشند، لازم است که مدل با چند سناریوی مختلف اجرا شود (حیدریان و همکاران، ۱۳۹۳).

پس از بررسی و تحلیل تغییرات بین هر دو نقشه، باید متغیرهای مستقل^{۱۱} که در تحلیل انتقال تغییرات سرزمین

(Eastman, 2006). در این مطالعه مدل‌سازی پتانسیل انتقال با روش شبکه‌های عصبی مصنوعی (MLP) صورت گرفت.

بعد از تعیین تاریخ پایانی، مقدار تغییر برای هر انتقال مدل‌سازی خواهد شد. در این تحقیق از روش تحلیل زنجیره مارکف برای مدل‌سازی این انتقال‌ها استفاده شد. دو مدل پایه، برای تغییرات تولید خواهد شد. یک مدل پیش‌بینی سخت^{۱۴} و یک مدل پیش‌بینی نرم^{۱۵}. مدل پیش‌بینی سخت بر اساس یک مدل وضعیت^{۱۶} زمین مشابه فرایندهای تصمیم‌گیری چندمنظوره است. یک مدل پیش‌بینی نرم نقشه آسیب‌پذیری تغییر برای انتقال‌های تعیین شده را تولید می‌کند. به‌طور کل، نتایج یک مدل پیش‌بینی نرم برای ارزیابی تنوع زیستی و زیستگاه ترجیح داده می‌شود. مدل پیش‌بینی سخت تنها درکی از پتانسیل تغییرات می‌دهد اما مدل پیش‌بینی نرم ارزیابی کاملی از پتانسیل تغییرات دارد (Eastman, 2006).

احتمال انتقال محاسبه شده از هر کاربری به کاربری دیگر با استفاده از زنجیره مارکف محاسبه شد. در مدل مارکوف حالت سیستم در زمان ۲ می‌تواند بر اساس حالت سیستم در زمان ۱ پیش‌بینی شود و در نتیجه آن ماتریس احتمالات انتقال به مثابه پایه مدل‌سازی پیش‌بینی تغییر کاربری سرزمین ارائه شود (آرخی، ۱۳۹۲).

خروجی‌های مدل‌سازی پتانسیل انتقال به عنوان ورودی‌های مرحله پیش‌بینی تغییرات بکار می‌روند. مقدار تغییر هر تبدیل کاربری با استفاده از زنجیره مارکوف پیش‌بینی می‌شود و نقشه کل تغییرات کاربری اراضی با استفاده از ۲ مدل سخت و نرم در مدل LCM تهیه خواهد شد. تحلیل زنجیره مارکوف تغییرات کاربری زمین را از یک دوره به دوره دیگر بیان کرده و با استفاده از توسعه یک ماتریس، احتمال انتقال تغییرات کاربری زمین را از زمان ۱ به زمان ۲ انجام می‌دهد که به عنوان پایه‌ای برای نقشه‌سازی دوره‌های زمانی آینده استفاده خواهد شد (حیدریان و همکاران، ۱۳۹۳).

ضریب کرامر، توانایی خوب متغیر را نشان می‌دهد اما الزاماً عملکرد بسیار عالی مدل را تضمین نمی‌کند، زیرا عوامل دیگری نیز در محاسبات مدل‌سازی و روابط پیچیده بین متغیرها دخالت دارند. با این حال زمانی که مقدار آن بسیار کم است، نشانه خوبی برای کنار گذاشتن یک متغیر ورودی در فرآیند پیش‌بینی، است. به‌طور کلی مقادیر نزدیک به ۰/۴ و بالاتر از آن به عنوان مقدار مناسب برای یک متغیر و مقادیر کمتر از ۰/۱۵ برای یک متغیر به عنوان توانایی ضعیف آن در پیش‌بینی قلمداد می‌شود (Eastman, 2006).

بعد از انتخاب زیر مدل‌ها و طبق متغیرهای مستقل انتخاب شده، مدل‌سازی احتمال وقوع در هر انتقال از طریق شبکه‌های عصبی پرسپترون چندلایه انجام می‌شود. این مفهوم که هر پیکسل تصویر برای تغییر از یک کاربری به نوع دیگر، چقدر پتانسیل دارد و در نهایت نقشه‌های پتانسیل انتقال ایجاد می‌شود.

در مرحله مدل‌سازی، نیروی انتقال از یک کاربری (مثل زمین‌های بایر) به کاربری دیگر (نظیر منطقه مسکونی) با توجه به متغیرهای توضیحی (مثلاً شیب و نزدیکی به جاده) مدل می‌شود. به این معنی که هر پیکسل از تصویر برای تغییر از یک کاربری به نوع دیگر چقدر قابلیت دارد. خروجی این قسمت، نقشه قابلیت نیرو برای هر تغییر خواهد بود. برای انتخاب زیر مدل‌هایی که بالاترین صحت را داشته باشند، ضروری است که مدل چندین مرتبه با سناریوهای مختلف اجرا شود (آرخی، ۱۳۹۲).

مدل‌سازی تغییر زمین (LCM) می‌تواند با استفاده از اطلاعات گذشته مربوط به انتقال زمین، که از نقشه‌های متغیرهای مختلف زیستی، اقتصادی-اجتماعی و فیزیکی، پتانسیل به دست می‌آیند، انتقال هر کاربری در آینده را پیش‌بینی کند. پتانسیل انتقال می‌تواند به روش رگرسیون لجستیک، شبکه‌های عصبی مصنوعی (پرسپترون چندلایه)، یا روش Similarity Weighted مدل‌سازی شود. مدل‌سازی پتانسیل انتقال^{۱۳} بسیار مهم است زیرا بیشترین احتمال موفقیت در هر پیش‌بینی، انجام درست این مرحله است

در تصویر مرجع (تاریخ اول) و P نسبت تصویر کل در طبقه i در تصویر غیر مرجع (تاریخ دوم) است.

۳. یافته‌های تحقیق

به منظور تعیین طبقات و کاربری‌ها پس از بررسی‌های میدانی، مشاهده چشمی و بررسی ترکیب باندی‌های مختلف تصاویر ماهواره‌ای و با توجه به هدف مطالعه ۳ کاربری تعریف شد که این کاربری‌ها در جدول ۱ شرح داده شده است.

نقشه‌های طبقات کاربری سرزمین سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۸ در شکل ۳ مشاهده می‌شوند.

در این مطالعه برای بررسی صحت مدل‌سازی از کاپای استاندارد (Kstandard) استفاده شد. درستی کل عبارت است از نسبت پیکسل‌های مشابه به تعداد کل پیکسل‌های مورد مقایسه. دامنه تغییرات نمایه توافق کاپا از -۱ تا +۱ است و نشان دهنده درجه تشابه بین تصاویر است. در صورتی که دو تصویر تشابه کامل داشته باشند، ضریب کاپا یک است و اگر هیچ پیکسلی ارزش ثابت در دو تصویر نداشته باشد ضریب کاپا -۱ است. KIA از رابطه زیر محاسبه می‌شود (غلامعلی فرد و همکاران، ۱۳۹۳).

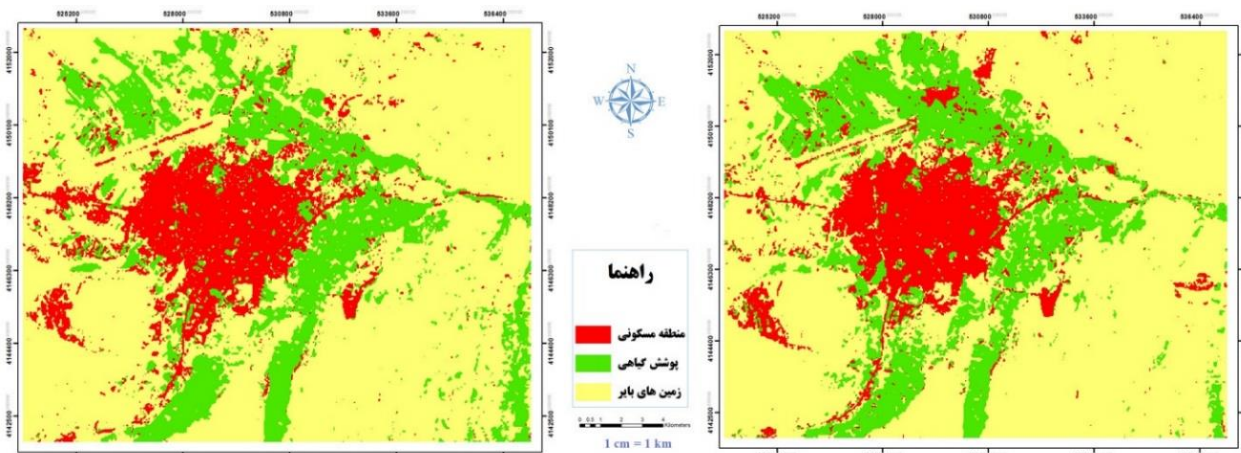
$$K_i = \frac{P_{ii} - P_i P_i}{P_i - P_i P_i} \quad (2)$$

در این رابطه P نسبت تصویر کل در طبقه i که در هر دو تاریخ بدون تغییر است، P نسبت تصویر کل در طبقه i

جدول ۱. مساحت و درصد کاربری‌ها

طبقات کاربری	۲۰۰۱	۲۰۰۸	۲۰۱۵
	مساحت (هکتار) / درصد	مساحت (هکتار) / درصد	مساحت (هکتار) / درصد
مناطق مسکونی	۱۹۱۰/۷۰ / ۱۳	۲۰۸۷/۱۵ / ۱۴	۲۷۸۴/۲۲ / ۱۹
پوشش گیاهی	۲۸۷۳/۲۳ / ۲۰	۲۷۶۵/۹۳ / ۱۹	۲۵۶۱/۷۲ / ۱۸
زمین‌های بایر	۹۶۵۴/۱۰ / ۶۷	۹۵۸۴/۰۳ / ۶۶	۹۱۲۸/۰۹ / ۶۳

(منبع: نگارنده)



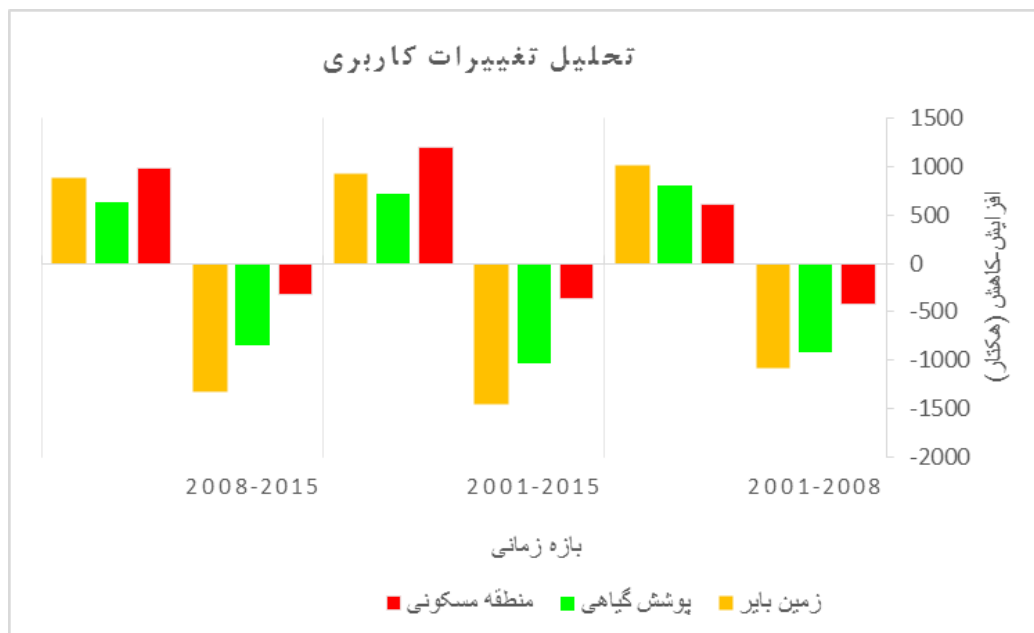
شکل ۳. نقشه کاربری‌های سرزمین سال ۲۰۰۱ (راست) و ۲۰۰۸ (چپ)

(منبع: نگارنده)

شامل آنالیز تغییرات، پتانسیل انتقال، پیش‌بینی تغییرات، کاربردها، کاهش انتشارات ناشی از جنگل‌زدایی و تخریب جنگل‌ها (REDD)، برنامه‌ریزی و هماهنگ‌کننده هستند. در این مرحله از تحقیق نقشه‌های کاربری سرزمین که در مراحل قبل تهیه شده‌اند دو به دو به مدل ساز LCM معرفی می‌شوند و پس از تجزیه و تحلیل و آشکارسازی تغییرات، مدل‌سازی تغییرات بر روی آن‌ها صورت می‌گیرد. برای این منظور نقشه‌های پوشش سرزمین سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۸ با هم وارد مدل‌ساز تغییر سرزمین شدند و تغییرات پوشش سرزمین بررسی و نقشه تغییرات تهیه شد.

متغیرهای استفاده شده در این مطالعه براساس مطالعات مشابه مدل‌سازی انتخاب شده‌اند به‌طوری که قابلیت و توانایی این متغیرها در غالب این مطالعات اثبات شده است (جدول ۲).

به‌منظور بررسی درستی طبقه‌بندی، مقایسه‌ای با نقشه‌های کاربری موجود و همچنین بازدیدهای میدانی انجام شد. معمول‌ترین پارامترها برای برآورد درستی، شامل درستی کل، درستی تولیدکننده، درستی تهیه‌کننده و ضریب کاپا است. از نظر تئوری احتمالات، دقت کل نمی‌تواند معیار خوبی برای ارزیابی نتایج طبقه‌بندی باشد زیرا در این شاخص نقش شانس قابل توجه است. برای تعیین نقشه واقعیت زمینی از برداشت زمینی و نرم‌افزار گوگل ارث و نقشه‌های کاربری موجود استفاده شده است. نتایج حاصل از مقایسه نقاط نمونه‌برداری شده با واقعیت زمینی در ماتریس خطا وارد شد و طبق آن درستی کل، درستی مصرف‌کننده، درستی تهیه‌کننده و ضریب کاپا به دست آمد. نتایج نشان می‌دهد نقشه‌های طبقه‌بندی شده از درستی کافی برخوردارند. ضریب کاپا برای سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۵ به ترتیب ۸۷/۹۳، ۸۴/۴۳، ۹۴/۲۰ به دست آمد. مدل‌ساز تغییر سرزمین مؤلفه‌های مختلفی دارد که



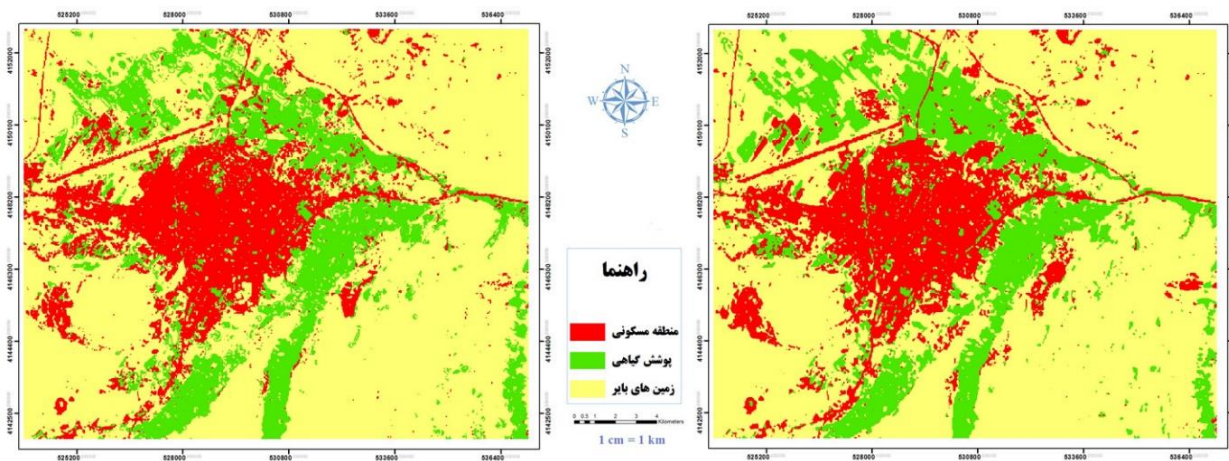
شکل ۴. افزایش و کاهش در مساحت طبقات کاربری

(منبع: نگارنده)

جدول ۲. جدول ضریب کرامر متغیرها

متغیر	ضریب کرامر
فاصله از جاده‌ها	۰/۲۳۳۸
جهت	۰/۱۹۹۶
فاصله از پوشش گیاهی	۰/۵۰۷۹
فاصله از شهر	۰/۵۴۹۹
فاصله از آشفته‌گی‌ها	۰/۲۴۸۷
متغیر کیفی زیرمدل افزایش زمین بایر	۰/۱۱۷۰
متغیر کیفی زیرمدل افزایش پوشش گیاهی	۰/۳۱۵۹
متغیر کیفی زیرمدل توسعه شهری	۰/۳۶۰۰

(منبع: نگارنده)



شکل ۵. نقشه پیش‌بینی کاربری‌ها سال ۲۰۱۵ (سمت چپ) و نقشه واقعی ۲۰۱۵ (سمت راست)

Evidence Likelihood در مدل‌ساز تغییر زمین است. این ابزار یک متغیر کیفی را به یک متغیر کمی پیوسته تبدیل می‌کند (وفایی، ۱۳۹۱).

متغیرهایی مانند جهت در طول دوره ثابت خواهند بود، لذا جنبه ایستا دارند و بعضی دیگر مانند فاصله از جاده و فاصله از کشاورزی حالت پویا دارند و می‌توانند در طول دوره تغییر یابند و بنابراین به‌عنوان تابعی پویا به نرم‌افزار معرفی شدند.

پس از بررسی و آزمون سناریوهای مختلف چهار زیر

متغیرهای فاصله و جهت از نوع کمی پیوسته هستند، به این مفهوم که ارزش‌های هر سلول با سلول دیگر می‌تواند متفاوت باشد. در مقابل نقشه کاربری اراضی دارای طبقات هستند، زمانی که بخواهیم یک متغیر کیفی همانند نقشه کاربری اراضی را به مدل وارد کنیم، باید نقشه بولین هر کاربری را به صورت جداگانه به مدل وارد نماییم. اما باید توجه کرد که در این صورت تعداد متغیرهای ورودی افزایش یافته و می‌تواند بر عملکرد مدل تأثیر بگذارد. راه دیگری که وجود دارد استفاده از ابزار

و ۲۰۰۸ نقشه کاربری اراضی در سال ۲۰۱۵ با روش زنجیره مارکف پیش‌بینی شد و نقشه پیش‌بینی شده با نقشه واقعی این سال مقایسه شد. پس از تهیه نقشه پیش‌بینی دوره اول لازم است تا نتیجه کار با نقشه واقعیت زمینی آن مقایسه شود. نتایج ارزیابی صحت پیش‌بینی کاپای استاندارد (Kstandard) در جدول زیر مشاهده می‌شود.

مدل برای مدل‌سازی پتانسیل انتقال انتخاب شد. نقشه‌های پتانسیل انتقال براساس زیرمدل‌های انتخابی و متغیرهای مستقل به روش شبکه‌های عصبی پرسپترون چندلایه تهیه شدند. برای پیش‌بینی نقشه کاربری سرزمین لازم است تا ابتدا بهترین سناریوی تغییرات کاربری‌های سرزمین مشخص شود و بر اساس آن با استفاده از نقشه‌های سال‌های ۲۰۰۱

جدول ۳. ارزیابی صحت نقشه پیش‌بینی شده ۲۰۱۵ با نقشه واقعی ۲۰۱۵

(Information of location)	(Information of quantity)					
	No[n]		Mediume[m]		Perfect[p]	
Perfect[P(x)]	P(n)=	0.4858	P(n)=	0.9722	P(n)=	1.0000
Perfect stratume[K(x)]	K(n)=	0.4858	K(n)=	0.9722	K(n)=	1.0000
MediumeGride[M(x)]	M(n)=	0.4202	M(n)=	0.08751	M(n)=	0.8672
MediumeStratume [H(x)]	H(n)=	0.1429	H(n)=	0.3896	H(n)=	0.3936
No[N(x)]	N(n)=	0.1429	N(n)=	0.3896	N(n)=	0.3936
AgreementGridcell=		0.4855				
AgreemenStrata=		0.0000				
AgreementQuantiti=		0.2468				
AgreementChance=		0.1429				
DisagreeQuantiti=		0.0278				
DisagreeStrata=		0.0000				
DisagreeGridcell=		0.3896				
Kstandard=		0.8014				
Kno=		0.8543				
Klocation=		0.8334				
KlocationStrata=		0.8334				

(منبع: نگارنده)

گیاهی به زمین‌های بایر (۷۴۱ هکتار) و بالعکس (۶۵۲ هکتار) بوده و پس از آن تبدیل زمین‌های بایر به مسکونی (۳ درصد-۴۳۳ هکتار) و تبدیل پوشش گیاهی که شامل باغ‌ها و زمین‌های کشاورزی داخل و اطراف شهر است، به کاربری مسکونی (۲ درصد-۲۷۵ هکتار) است.

در بازه زمانی دوم یعنی سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۵، این روند با سرعت بیشتری ادامه داشت. از یک سو گسترش و توسعه مناطق مسکونی از جهت‌های مختلف ادامه داشت (۹۸۱ هکتار) و از سوی دیگر افزایش زمین‌های بایر ناشی از تغییر کاربری پوشش گیاهی (۶۷۷ هکتار) از عمده تغییرات این دوره به حساب می‌آید.

طاهری و همکاران (۱۳۹۲)، مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی شهرستان تبریز برای سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۴۰۰ را با استفاده از مدل‌سازی تغییر سرزمین نقشه‌های پوشش اراضی مربوط به سه سال ۱۳۶۷، ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ به‌طور جداگانه تهیه کردند. 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 مارکوف محاسبه شد. نتایج حاصل از آن مطالعه 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. 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. نتایج این بخش به خوبی تغییرات پوشش سرزمین در منطقه مورد مطالعه را به تصویر کشیده و نشان می‌دهد ادامه روند موجود، در آینده به چه صورت خواهد بود.

در مطالعه حاضر، بررسی روند کلی تغییرات در بازه زمانی ۱۴ ساله یعنی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵ نیز می‌تواند در تحلیل بهتر توسعه شهری و تغییرات صورت گرفته در منطقه کمک کند. در این دوره، تبدیل سایر کاربری‌ها به

۴. بحث و نتیجه‌گیری

هدف از این مطالعه و ارزیابی LCM به‌عنوان یک مدل‌سازی تغییر کاربری سرزمین و بررسی توانایی آن در پیش‌بینی و ارزیابی پتانسیل انتقال است. در این مطالعه از مدل‌سازی تغییر سرزمین برای مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات سرزمین شهر بجنورد استفاده شد. پیش‌بینی تغییرات رخ داده در یک بازه زمانی ۷ ساله بر اساس سناریوی تغییرات انسانی لحاظ شد. چهار زیر مدل شامل انتقال از پوشش گیاهی به شهر، زمین بایر به شهر، انتقال از پوشش گیاهی به زمین بایر و انتقال از زمین بایر به پوشش گیاهی، با ۵۰۰۰ تکرار و اندازه ۱۰۰۰ سلول در هر کلاس و میزان صحت بالای ۸۰ درصد برای انتقال هر زیر مدل برای تهیه نقشه پتانسیل انتقال به کار گرفته شد. به‌منظور انتخاب مناسب‌ترین متغیرها، مدل‌سازی پتانسیل انتقال بارها تکرار شد. LCM با قابلیت بالا در تحلیل تغییرات از جنبه‌های مختلف از جمله افزایش و کاهش طبقات، میزان تغییر و میزان انتقال از هر طبقه به سایر طبقات و نیز طبقات ثابت و بدون تغییر علاوه بر پیش‌بینی روند تغییرات در آینده، امکان مشاهده کمی و دقیق تغییرات رخ داده در یک بازه زمانی طولانی را نیز فراهم آورده است.

در مقایسه مطالعات مشابه صورت گرفته با مدل‌سازی LCM، می‌توان به پیش‌بینی تغییرات ۲۲ ساله خط ساحلی مازندران اشاره کرد که توسط غلامعلی فرد و همکاران (۱۳۹۱) انجام شد. نتایج تغییرات چشمگیری را در این محدوده نشان داد، نتایج مدل‌سازی که برای سال ۱۳۹۵ صورت گرفت، بیانگر کاهش مساحت کاربری جنگل و اراضی باز و افزایش کاربری کشاورزی و مسکونی در این سال نسبت به سال ۱۳۹۰ بود.

در مطالعه حاضر، برای بررسی روند تغییرات ۱۴ ساله در منطقه، نقشه‌های طبقه‌بندی شده سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۵ دو به دو با هم مقایسه شدند. بین سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۸ حدود ۸۳ درصد از کاربری‌ها ثابت و بدون تغییر ماندند، اما بیشترین میزان تغییر در این بازه تبدیل پوشش

در پایان باید گفت این مدل‌ساز، در محیط‌های مختلف و در نظرگرفتن عوامل دیگر، قابلیت‌های متفاوتی را از خود نشان می‌دهد. از این رو می‌توان بسته به نیاز و اهداف مدیریتی، با استفاده از عوامل مختلف و متنوع، جنبه‌های جدیدی از پویایی سرزمین را بررسی کرد.

یادداشت‌ها

1. cellular automaton
2. Markov Layer Perceptron MLP
3. Multi-Layer Perceptron MLP
4. Supervised Classification
5. gain
6. losses
7. net change
8. persistence
9. transition
10. driver variables
11. Overall Cramer's V
12. Chi-square
13. Transition potential modeling
14. Hard Prediction
15. Soft Prediction
16. Allocation

طبقه مسکونی ۸ درصد (۱۲۰۳ هکتار)، تغییر از پوشش گیاهی به بایر ۷۳۷ هکتار و بایر به پوشش گیاهی ۵۵۴ هکتار بود. توسعه مسکونی و رشد اراضی بایر از تغییرات مهم در پوشش سرزمین این منطقه هستند.

مدل‌سازی ابزاری مؤثر و کارآمد در پیش‌بینی تغییرات در آینده است تا مدیران و برنامه‌ریزان را از تغییرات آینده آگاه سازد و بدین وسیله بتوانند مدیریت مؤثری داشته باشند. مدل‌ساز LCM این قابلیت را نیز دارد که با تعریف سناریوهای مختلف، براساس اهداف مدیریتی و سیاست‌های برنامه‌ریزان، روند تغییرات آتی را در جهت‌ی خاص پیش‌بینی کنند. به‌عنوان مثال، Weng و Wilson (۲۰۱۱)، آثار آتی کاربری شهری و تغییرات اقلیم بر کیفیت سطح آب حوزه رودخانه Des Plaines, Illinois, بین سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۳۰ را پیش‌بینی کردند. آن‌ها از مدل‌ساز LCM برای تعیین سه سناریوی برنامه‌ریزی آینده کاربری زمین به ترتیب تراکم پایین رشد سکونتگاه‌ها، رشد نرمال شهری و رشد تجاری استفاده کردند.

منابع

- آرخی، ص.، یوسفی، ص.، و رستمی زاد، ق. ۱۳۹۲. بررسی تأثیر بهینه‌سازی کاربری اراضی در کاهش فرسایش و رسوب حوضه آبخیز سد چم گردلان به کمک GIS. جغرافیا و آمایش شهری-منطقه‌ای، ۳(۶): ۷۵-۸۴.
- آرخی، ص. ۱۳۹۳. پیش‌بینی روند تغییرات مکانی کاربری اراضی با استفاده از مدل LCM در محیط GIS (مطالعه موردی: منطقه سرابله). دو فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات حمایت و حفاظت جنگل‌ها و مراتع ایران. ۱۲ (۱): ۱-۱۹.
- حیدریان، پ.، رنگزن، ک.، ملکی، س.، و تقی‌زاده، ا. ۱۳۹۳. تلفیق تکنیک‌های سنجش از دور، GIS و مدل LCM با رویکرد مدل‌سازی توسعه شهری (نمونه موردی: کلان شهر تهران). مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، ۵ (۱۷): ۸۷-۱۰۰.
- رونالد جی، ای. (۱۳۸۸). سنجش از دور و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی کاربردی با نرم افزار ایدرسی. (ترجمه ع. سلمان ماهینی و ح. کامیاب). تهران: مهر مهدیس.
- طاهری، م.، غلامعلی فرد، م.، ریاحی بختیاری، غ.، و رحیم اوغلی، ش. ۱۳۹۲. مدل‌سازی تغییرات پوشش سرزمین شهرستان تبریز با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و زنجیره مارکوف. پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، ۴۵(۴): ۹۸-۱۲۱.
- چاپلوقی، ح. (۱۳۹۳). تحلیل و پیش‌بینی فرآیند تغییر پوشش و الگوی سیمای سرزمین استان لرستان در محیط LCM. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه ملایر.
- عباس‌پور، م.، عابدی، زهرا، احمدیان، م.، و ظفری، ف. ۱۳۸۸. ارزش‌گذاری اقتصادی کارکردهای بازاری منابع زیست‌محیطی دریاچه ارژن-پرشان با تأکید بر گونه‌های آبی. علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، بهار ۱۳۹۲، ۱۱(۱): ۷۶-۸۹.

غلامعلی فرد، م.، جورابیان شوشتری، ش.، حسینی کهنوج، ح.، و میرزایی، م. ۱۳۹۱، مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی سواحل استان مازندران با استفاده از LCM در محیط GIS. محیط‌شناسی، ۳۸ (۴): ۱۰۹-۱۲۴.

غلامعلی فرد، م.، میرزایی، م.، و جورابیان شوشتری، ش. ۱۳۹۳. مدل‌سازی تغییرات پوشش اراضی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و زنجیره مارکف (مطالعه موردی: سواحل میانی استان بوشهر). سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۵ (۱): ۶۱-۷۴.

قلاتی، س.، رنگزن، ک.، تقی زاده، ا.، و احمدی، ش. ۱۳۹۲. مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی و تکنیک‌های سنجش از دور و LCM در منطقه کوهمره سرخی استان فارس. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. وزارت علوم، تحقیقات و فناوری - دانشگاه شهید چمران اهواز - پژوهشکده علوم زمین.

وفایی، س. (۱۳۹۱). پیش و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از سنجش از دور و GIS (مطالعه موردی: منطقه مریوان). جنگل ایران، ۵ (۳): ۳۲۳-۳۳۶.

Adedeji, O.H., Tope-Ajayi, O. O. and Abegunde, O. L. 2015. Assessing and Predicting Changes in the Status of Gambari Forest Reserve, Nigeria Using Remote Sensing and GIS Techniques. *Journal of Geographic Information System*, 7: 301-318.

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

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 Remote Processing*, Worcester: Clark University.

Halmy, M. W. A., Gessler, P. E., Hicke, J. A. and Salem. B. S. 2015. Land use/land cover change detection and prediction in the north-western coastal desert of Egypt using Markov-CA. *Applied Geography*, 63: 101-112.

Mas, J. F., Kolb, M., Paegelow, M., Camacho Olmedo, M. T. and Houet, T. 2014. Inductive pattern-based land use/cover change models: A comparison of four software packages. *Environmental Modelling & Software*, 51: 94-111.

Nahuelhual, L., Carmona, A., Aguayo, M. and Echeverria, C., 2013. Land use change and ecosystem services provision: a case study of recreation and ecotourism opportunities in Southern Chile. *Landscape Ecology*, 29 (2): 329-344

Paegelow, M., Camacho Olmedo, M.T., Mas, J.F., Houet, T. and Pontius Jr., R.G., 2013. Land Change Modelling: Moving Beyond Projections. *International Journal of Geographical Information Science*, 27(9): 1691-1695.

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*, 30 (3): 436-447.

Vaclavik, T. and Rogan, J. 2009. Identifying Trends in Land Use/Land Cover Changes in the Context of Post-Socialist Transformation in Central Europe: A Case Study of the Greater Olomouc Region, Czech Republic, *GIScience & Remote Sensing*, 46(1): 54-76.

Villa, N., Paegelow, M., Camacho, M.T., Cornez, L., Ferraty, F., Ferr_e, L. and Sarda, P., 2007. Various approaches for predicting land cover in mountain areas. *Commun. Stat. Simul. Comput.* 36 (1): 73-86.

Pontius Jr., R.G. and Malanson, J., 2005. Comparison of the structure and accuracy of two land change models. *Int. J. Geogr. Inf. Sci.* 19 (2): 243-265.

Wilson, C.O. and 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*, 409: 4387-4405.