

پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل LCM

سامره فلاحتکار^۱، سید محسن حسینی^{۲*}، عبدالرسول سلمان ماهینی^۳، شمس اله ایوبی^۴

۱ استادیار، دکترای محیط زیست، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس

۲ استاد، دکترای جنگلداری، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس

۳ دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی

۴ دانشیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۵/۲۸؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۰۶/۱۵)

چکیده

رشد جمعیت منجر به گسترش شهرها، مناطق صنعتی، زمین‌های کشاورزی و تغییر کاربری اراضی شده است. تحقیق حاضر با هدف مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری/ پوشش اراضی با استفاده از مدل LCM بر مبنای سه سناریوی مدیریتی به نام‌های سناریوی تداوم، سناریوی کشاورزی- حفاظتی و سناریوی تغییرات محدودیت در منطقه دیلمان استان گیلان انجام پذیرفت. مدل LCM از مدل زنجیره مارکوف، شبکه عصبی چند لایه پرسپترون و MOLA برای ساخت زیرمدل‌های انتقال، تهیه نقشه احتمال انتقال و در نهایت، پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی استفاده می‌کند. برای اعتبار سنجی مدل از ضرایب کاپای استاندارد، کاپای کمیت، کاپای موقعیت و نسبت Hits به کل پیکسل‌های تغییر یافته استفاده شد. ضرایب مذکور به ترتیب ۰/۷۹، ۰/۸۲ و ۰/۸۵ و نسبت Hits به کل پیکسل‌ها نیز ۲۲ درصد محاسبه شد. نتایج مدل‌سازی بر مبنای سناریوی تداوم به ترتیب نشان‌دهنده ۹ درصد و ۲۳/۴ درصد کاهش در مساحت اراضی جنگلی و مرتعی در ۴۰ سال آینده است. همچنین، نتایج نشان داد که مدیریت منطقه بر مبنای سناریوی تغییرات- محدودیت می‌تواند منجر به حفظ بیشتر اکوسیستم‌های طبیعی شود و از تبدیل آن به زمین‌های کشاورزی جلوگیری نماید.

کلید واژه‌ها: LCM، مدل‌سازی، تغییر کاربری/ پوشش اراضی، مدیریت، دیلمان

سرآغاز

تاریخ بشر حاکی از آثار مخرب رشد روز افزون جمعیت و به تبع آن رشد بی‌سابقه شهرها، صنعتی شدن، گسترش زمین‌های کشاورزی و تغییر کاربری اراضی است. تغییر کاربری اراضی به نوبه خود منجر به تخریب خاک و افزایش فرسایش آن می‌شود (Hashimoto et al., 2002). امروزه، تغییر کاربری/پوشش اراضی از جنبه تغییرات محیط‌زیستی جهان دارای اهمیت است و مورد توجه دانشمندان و تصمیم‌گیران قرار گرفته است (Mas et al., 2014). تغییر کاربری/پوشش اراضی بر میزان تقاضای زمین جهت فعالیت‌های کشاورزی، جنگل‌داری، مناطق مسکونی-صنعتی، مناطق گردشگری و تنوع چشم‌انداز و مناطق طبیعی تأثیرگذار است. تغییرات کاربری/پوشش اراضی و تخریب جنگل و خاکبر انتشار گازهای گلخانه‌ای اثر معنی‌داری می‌گذارد (Upadhyay et al., 2006) که منجر به افزایش این گازها در مقیاس جهانی، منطقه‌ای، ملی و محلی می‌شود.

به منظور مدیریت بهتر اکوسیستم‌های طبیعی و انسان‌ساخت و برنامه‌ریزی بلندمدت، نیاز به مدل‌سازی تغییرات کاربری/پوشش اراضی و پیش‌بینی این تغییرات در آینده است. در دو دهه گذشته، رنج وسیعی از مدل‌های تغییر کاربری/پوشش اراضی به منظور کمک در مدیریت اراضی و درک بهتر و ارزیابی و بررسی نقش این تغییرات در کارکرد سیستم زمین، توسعه یافته است (Mas et al., 2014). مدل‌های مختلف کاربری اراضی مانند Land Change, DIANAMIC, CLUE, GEOMOD, Modeler (LCM) و CA-Markov طراحی شده و توسط محققان برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در مطالعات متعددی به کار گرفته شده است (Mas et al., 2014).

مطالعات زیادی در زمینه مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی انجام پذیرفته که می‌توان به مطالعات فلاحتکار و همکاران (۲۰۱۱) و غلامعلی‌فرد و همکاران (۱۳۹۱) در داخل کشور و مطالعات سانگ و همکاران، گوان و همکاران، لی و چانگ و مطالعه سمت و همکاران اشاره نمود (Sang et al., 2011; Guan et al., 2011; Lee & Chang, 2011; Samat et al., 2011). در اکثر این مطالعات، مدل CA-Markov برای پیش‌بینی تغییرات به کار گرفته شده است. غلامعلی‌فرد و همکاران (۱۳۹۱) از مدل LCM برای مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی در سواحل مازندران استفاده نمودند. آنها خطای کل در مدل‌سازی برای سال ۱۳۹۰ را ۱۲/۸۴ درصد به دست

آوردند که نشان‌دهنده انطباق زیاد تصویر پیش‌بینی شده مدل با تصویر واقعیت زمینی و قابل قبول بودن مدل است. نتایج مدل‌سازی برای سال ۱۳۹۵ نشان داد که مساحت کاربری جنگل و اراضی باز در این سال نسبت به سال ۱۳۹۰ کاهش و کاربری کشاورزی و مسکونی افزایش خواهند یافت.

جنگل‌های هیرکانی یکی از مهمترین اکوسیستم‌های جهان است که مساحتی حدود ۱/۹ میلیون هکتار از اراضی جنوبی دریای خزر را به خود اختصاص داده است (MarviMohajer, 2004). متأسفانه در سال‌های اخیر این اکوسیستم ارزشمند با خطر قطعه قطعه شدن و تبدیل به کاربری‌های دیگر مواجه بوده است (Shataee & Mohammadi, 2010) که این امر، می‌تواند منجر به فرسایش خاک و تغییر ویژگی‌های خاک در این اکوسیستم ارزشمند شود. منطقه دیلمان نماینده کوچکی از اکوسیستم‌های مرتفع جنگل‌های هیرکانی است و از جنبه بوم‌شناسی، طبیعت‌گردی و کشاورزی در استان گیلان دارای اهمیت است و متأسفانه از این تغییر کاربری اراضی مصون نمانده است. بنابراین، تحقیق حاضر در این منطقه با هدف مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات روی داده در ۴۰ سال آینده با استفاده از مدل LCM بر مبنای سه سناریوی مدیریتی انجام پذیرفت. سناریوی اول، سناریوی تداوم نام دارد و بیان می‌کند که روند تغییرات کاربری اراضی مشابه سال‌های گذشته، بدون هیچ‌گونه محدودیتی انجام می‌پذیرد. سناریوی دوم، سناریوی کشاورزی-حفاظتی نامیده می‌شود و بر اساس آن از تغییر اراضی کشاورزی به مناطق مسکونی (ساخت ویلا) ممانعت به عمل می‌آید. در نهایت، سناریوی تغییرات-محدودیت، سناریوی سوم این تحقیق است و بیان می‌کند که تغییرات کاربری اراضی در منطقه روی می‌دهد. اما برای این تغییرات در مناطقی با شیب بالای ۱۵ درصد، تراکم پوشش گیاهی بالای ۵۰ درصد محدودیت اعمال خواهد شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه دیلمان، بخش کوچکی از حوضه آبخیز سفیدرود است که بین طول جغرافیایی ۴۹ ۴۹ و ۵۷ ۴۹ شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷ ۰۰ و ۳۶ ۵۰ شمالی واقع شده است شکل (۱). مساحت کل این منطقه بیش از ۱۰۰۰۰ هکتار است و دارای کاربری و پوشش‌های متنوعی مانند مناطق جنگلی، اراضی کشت شده،

کار، در مدل LCM نیز قابل اجرا می‌باشد.

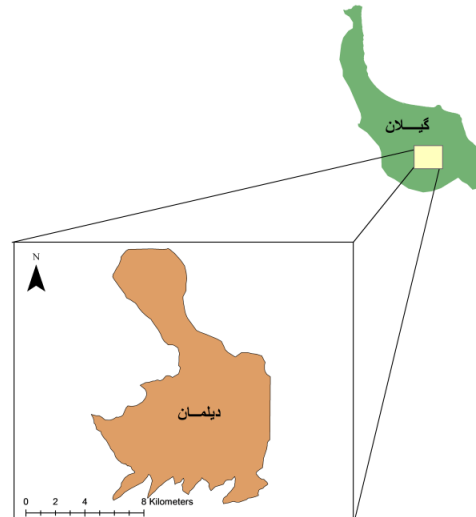
مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی

از مدل‌سازی تغییر اراضی (LCM) برای مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی در سال ۲۰۵۰ استفاده شد. مدل مذکور برای تحقیق حاضر مناسب تشخیص داده شد. زیرا، فرایند تغییر کاربری اراضی به ویژه گسترش مناطق مسکونی و تبدیل اراضی طبیعی به اراضی کشاورزی بسیار پیچیده و نیازمند متغیرهای متعدد است. این مدل، با تلفیق توانایی‌های مدل زنجیره مارکوف، روش شبکه عصبی چند لایه پرسپترون (MLP)^(۱) با آموزش پس انتشار خطا، رگرسیون لجستیک و MOLA^(۲) از کارایی خوبی در شبیه‌سازی فرایندهای پیچیده بروی‌رودار است (Estman, 2009; Mas et al., 2014). مدل LCM یک روش یکپارچه بوده و قادر به شبیه‌سازی تغییرات چندین کاربری به طور همزمان می‌باشد (Estman, 2009).

در LCM ابتدا ماتریس احتمال و مساحت تغییرات با استفاده از مدل زنجیره‌ی مارکوف تهیه می‌شود. این ماتریس، نشان‌دهنده احتمال تغییر یک کاربری مشخص به سایر کاربری‌ها در دوره‌ی زمانی مورد مطالعه است. سپس، بر مبنای تغییرات عمده روی داده در منطقه مورد مطالعه، ۴ زیر مدل انتقال تغییر کاربری اراضی مشخص شد که عبارت بودند از ۱. زیر مدل تبدیل اراضی جنگل به مرتع، ۲. زیر مدل تبدیل مرتع به اراضی کشاورزی، ۳. زیر مدل تبدیل اراضی کشاورزی به مناطق مسکونی و ۴. زیر مدل تبدیل مدل‌های مذکور، از متغیرهای توصیفی مختلف استفاده شد که با استفاده از روش MLP مدل‌سازی شده و در نهایت به تولید نقشه‌های احتمال انتقال تغییر^(۳) هر کاربری انجامید. متغیرهای توصیفی به کار رفته در این مدل‌سازی عبارتند از شیب، جهت، ارتفاع، فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از جاده، فاصله از مرز اراضی کشاورزی، فاصله از مرز اراضی جنگلی، فاصله از مرز اراضی مرتعی و شاخص اختلاف گیاهی نرمال می‌باشند.

نتیجه نهایی از ساخت این زیر مدل‌ها، تولید نقشه احتمال تغییر برای تمامی کاربری‌های موجود در منطقه‌ی مورد مطالعه است. در نهایت، نقشه‌های احتمال تغییر بر مبنای متغیرهای محیطی برای هر زیر مدل تهیه و نقشه پیش‌بینی تغییرات برای سال ۲۰۵۰ با استفاده از اختصاص اراضی به روش MOLA بر مبنای ۳ سناریوی مدیریتی تعریف شده تولید شد.

مراتع و مناطق مسکونی و صخره‌ای می‌باشد. متوسط بارندگی در منطقه ۱۱۷۳ میلی متر است (درگاهی دهدار و همکاران، ۱۳۸۷). حداقل ارتفاع منطقه مورد مطالعه ۵۰۰ متر و حداکثر آن ۲۱۰۰ متر است که در حرکت از ارتفاعات پایین به بالا از پوشش جنگلی کاسته شده و بر اراضی کشاورزی افزوده می‌شود.



شکل (۱): محدوده منطقه مورد مطالعه

روش پژوهش

داده‌های مورد استفاده

تصویرهای ماهواره لندست برای سال ۱۹۸۵، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ به ترتیب مربوط به سنجنده TM، ETM+، TM و مورد استفاده قرار گرفت. تصاویر پس از تصحیح هندسی برای تهیه نقشه کاربری/پوشش اراضی مورد پردازش قرار گرفتند و تغییرات کاربری/پوشش اراضی در یک دوره ۲۵ ساله مورد پایش قرار گرفت.

تهیه نقشه کاربری/پوشش اراضی و آشکارسازی تغییرات

از روش طبقه‌بندی هیبرید که تلفیقی از روش طبقه‌بندی نظارت شده و نظارت نشده است، برای تهیه نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه استفاده شد. در نهایت نقشه کاربری/پوشش اراضی در شش طبقه که عبارت از اراضی جنگلی، مراتع، اراضی کشاورزی، مناطق مسکونی، مناطق صخره‌ای و جاده می‌باشد، تهیه شد. از نقاط کنترل زمینی و محاسبه ماتریس خطا برای برآورد صحت نقشه‌های کاربری/پوشش اراضی استفاده شد. به منظور آشکارسازی تغییرات روی داده در منطقه، از روش مقایسه پس از طبقه‌بندی استفاده شد. قابل ذکر است که این بخش از

اعتبارسنجی نقشه مدل‌سازی شده

برای اعتبارسنجی توان مدل LCM جهت تولید نقشه‌ی کاربری اراضی سال ۲۰۵۰، ابتدا از نقشه‌های سال ۱۹۸۵ و ۲۰۰۰ برای پیش‌بینی نقشه سال ۲۰۱۰ استفاده شد. برای انجام این پیش‌بینی، ماتریس احتمال تغییرات و ماتریس مساحت‌های احتمالی تغییرات تهیه و بر مبنای زیر مدل‌های تعریف شده و نقشه‌های احتمال انتقال تغییرات، نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۰ تهیه شد. سپس، نقشه پیش‌بینی شده توسط مدل (نقشه مقایسه) با نقشه کاربری اراضی تهیه شده به روش هیبرید (نقشه مرجع) از طریق ماژول Validation در مدل LCM مورد مقایسه قرار گرفت و با محاسبه ضریب کاپای استاندارد، ضریب کاپای موقعیت، ضریب کاپای کمیت و محاسبه خطای Hits، False Alarm و Misses وضعیت صحت برای موقعیت و کمیت پیکسل‌های هر طبقه به دست آمد.

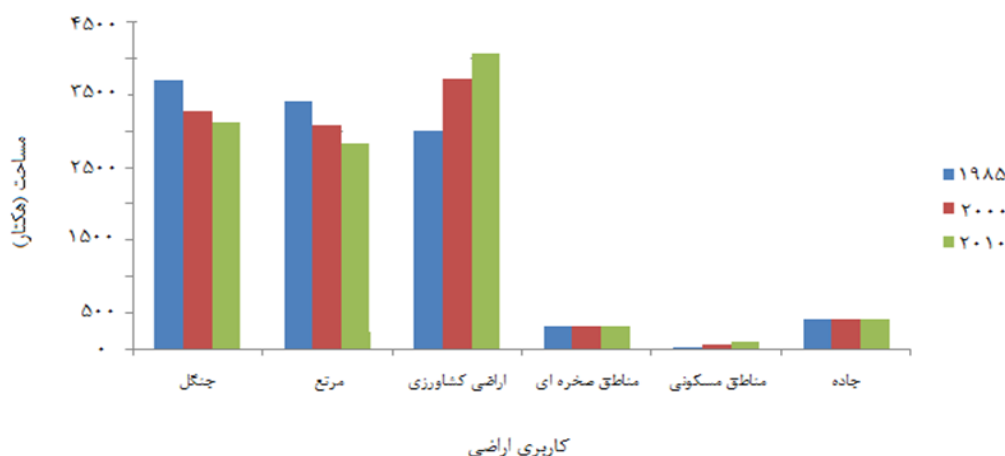
یافته‌ها

نقشه کاربری/پوشش اراضی

شکل (۲) نشان‌دهنده مساحت طبقات کاربری اراضی در منطقه دیلمان برای سال‌های مورد مطالعه می‌باشد. نتایج مربوط به برآورد صحت نقشه‌ها در جدول (۱)، موجود است که نشان‌دهنده صحت قابل قبول برای نقشه‌های تهیه شده می‌باشد.

جدول (۱): جدول ارزیابی صحت نقشه‌های تولید شده

نقشه سال	نقشه سال	نقشه سال	
۲۰۱۰	۲۰۰۰	۱۹۸۵	
۹۳ درصد	۹۴ درصد	۹۰ درصد	صحت کلی
۰/۹۱	۰/۹۲	۰/۹۰	ضریب کاپا



شکل (۲): مساحت طبقات مختلف کاربری اراضی برای سال‌های مورد مطالعه (بر حسب هکتار)

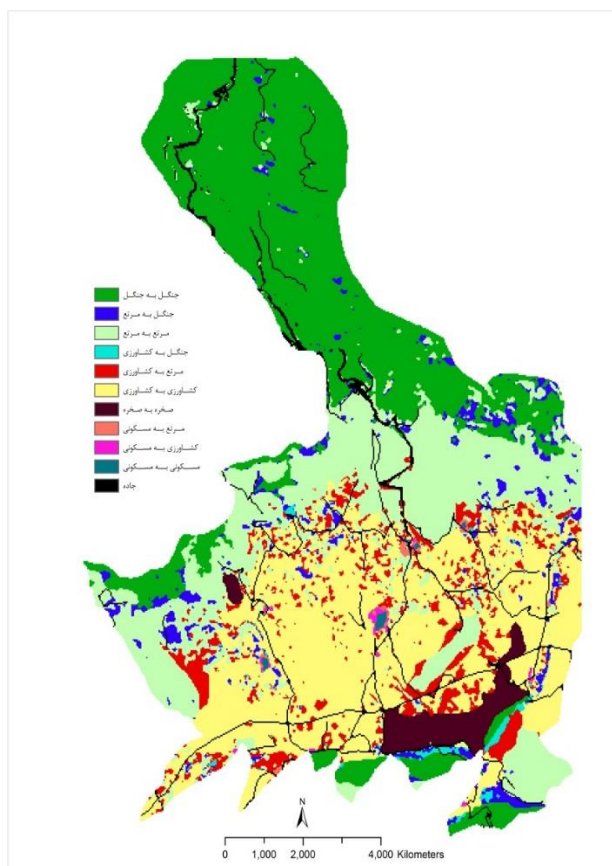
که با توجه به موقعیت پیکسل‌هایی که این تغییرات را نشان داده‌اند، خطای ناشی از طبقه‌بندی می‌تواند مؤید این نوع تغییر در منطقه باشد. طی این دوره ۱۵ ساله، ۷۹/۴۲ درصد از اراضی مرتعی بدون تغییر باقی مانده و ۱۹/۸۳ درصد آن، معادل ۶۷۵/۱۸ هکتار به اراضی کشت شده تبدیل یافته است. در این دوره زمانی مساحت مناطق مسکونی از ۱۵/۳۹ هکتار در سال ۱۹۸۵ به ۶۳/۵۴ هکتار در سال ۲۰۰۰ رسیده که نشان‌دهنده رشد ۴ برابری مساحت مناطق مسکونی در این بازه زمانی است. قابل ذکر است که ۲۵/۲۹ هکتار از اراضی مرتعی و ۲۲/۸۶ هکتار از اراضی کشاورزی نیز به مناطق مسکونی تبدیل شده است.

آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی

تغییرات کاربری اراضی بین سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۰

از بیشترین تغییرات کاربری اراضی بین این سال‌ها، می‌توان به کاهش ۱۰ درصدی جنگل و تبدیل آن به اراضی مرتعی اشاره نمود. بیشتر این نوع تغییرات در مرز مشترک بین پوشش جنگل و اراضی مرتعی وجود دارد. از جمله دلیل این نوع تغییر می‌توان به بوته‌کشی و جنگل‌تراشی توسط جنگل‌نشینان و روستاییان به منظور تأمین سوخت جهت مصارف خانگی و تأمین علوفه برای تغذیه دام به ویژه در فصول پاییز و زمستان اشاره نمود. حدود ۱/۵ درصد مناطق جنگلی به اراضی کشت شده تبدیل شده است

نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۰۰، به عنوان نقشه سال دوم به نرم افزار معرفی شد. جدول (۲)، ماتریس احتمال و مساحت تغییرات کاربری اراضی را بین سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۰ نشان می‌دهد. علاوه بر محاسبه ماتریس احتمال تغییر، مساحت‌های احتمالی تغییر در این بازه زمانی نیز محاسبه می‌شود.



شکل (۳): نقشه تغییرات کاربری اراضی بین سال‌های ۱۹۸۵-۲۰۰۰

نقشه‌های احتمال انتقال تغییر کاربری اراضی

متغیرهای توصیفی مورد استفاده برای ساخت هر یک از زیر مدل‌های تغییر کاربری اراضی در جدول (۳)، موجود است. این جدول، علاوه بر متغیرهای توصیفی، سایر ویژگی‌های مدل MLP را برای ساخت زیر مدل‌ها به همراه دارد. میزان صحت، پارامتری است که برای بیان اعتبار مدل MLP ذکر شده است. پس از ساخت هر یک از زیرمدل‌ها، برای ساخت نقشه کاربری/پوشش اراضی در ۴۰ سال آینده از MOLA استفاده شد. این مدل، بر مبنای زیرمدل‌های طراحی شده، پیکسل‌هایی که دارای بیشترین احتمال تبدیل به کاربری خاصی در سال مورد

تغییرات کاربری اراضی بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰

بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ حدود ۳/۱۴ درصد از اراضی جنگلی معادل ۱۰۲/۸۷ هکتار به مراتع تبدیل شده و ۲۰ هکتار از این مناطق به اراضی کشاورزی تبدیل شده است. در این دوره ۱۰ ساله، ۸۸/۶۴ درصد از اراضی مرتعی بدون تغییر باقی مانده و ۱۱ درصد آن معادل با ۳۳۹/۳ هکتار به زمین‌های کشاورزی تبدیل شده است. از جمله تغییرات قابل توجه اراضی مرتعی می‌توان به تبدیل ۱۰/۶ هکتار به مناطق مسکونی اشاره داشت. طی این دوره، حدود ۸/۸ درصد بر وسعت اراضی کشاورزی افزوده شده که سهم اراضی مرتعی در این گسترش حدود ۸/۵ درصد بوده است. در ضمن، قابل ذکر است که در این بازه ۱۰ ساله، وسعت مناطق مسکونی ۳۲/۱۱ درصد افزایش داشته و سهم اراضی کشاورزی و مرتعی در این افزایش سطح به ترتیب ۲۰/۷ درصد (معادل ۲۰ هکتار) و ۱۱/۳۴ درصد گزارش شده است.

تغییرات کاربری اراضی بین سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۰

در مجموع، بین سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۰ می‌توان به افزایش ۲۰ درصدی مساحت اراضی کشاورزی اشاره داشت که سهم اراضی مرتعی در این افزایش ۱۸/۱۳ درصد برآورد شده است. بین سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۰ تبدیل ۱۲/۲۳ درصدی اراضی جنگلی (۴۵۴/۳۲ هکتار) به اراضی مرتعی در منطقه دیلمان روی داده است. در این بازه ۲۵ ساله، مناطق مسکونی حدود ۷۵/۷۷ درصد افزایش مساحت دارد که سهم اراضی کشاورزی و مرتعی در این افزایش وسعت به ترتیب ۳۶ درصد و ۳۹/۸ درصد بوده است. بر مبنای نتایج این مطالعه، ۲۸/۸۶ درصد از مراتع، معادل ۹۸۲/۶۲ هکتار به اراضی کشاورزی و حدود ۴۱/۳ هکتار آن به مناطق مسکونی تبدیل شده است. مقدار ۳۶ هکتار از اراضی کشاورزی نیز در این بازه زمانی به مناطق مسکونی تبدیل شده است شکل (۳).

مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی

از مدل Land Change Modeler (LCM) نرم افزار IDRISI نسخه Taiga برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی ۴۰ سال آینده استفاده شد. در مدل LCM، همانند مدل CA-Markov از مدل زنجیره مارکوف برای محاسبه ماتریس تغییرات احتمالی استفاده می‌شود. روش MOLA نیز برای اختصاص مکانی تغییرات مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این تحقیق، نقشه کاربری/پوشش اراضی سال ۱۹۸۵ به عنوان نقشه سال اول و

نظر هستند را شناسایی و به طبقه آن کاربری اختصاص می‌دهد. به این ترتیب، الگوی توزیع مکانی طبقات کاربری برای سال ۲۰۵۰ بر مبنای احتمال تغییرات آینده مدل‌سازی و پیش‌بینی می‌شود. نقشه‌های احتمال تغییر برای هر چهار زیرمدل در شکل (۴)، نشان داده شده است.

جدول (۲): ماتریس احتمال انتقال کاربری اراضی بین سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۰

۲۰۰۰												۱۹۸۵	
جاده		مناطق مسکونی		مناطق صخره‌ای		اراضی کشاورزی		مرتع		جنگل			طبقه کاربری
مساحت	احتمال	مساحت	احتمال	مساحت	احتمال	مساحت	احتمال	مساحت	احتمال	مساحت	احتمال		
.	۳۶/۶۸۴	۰/۰۱۱	۳۷۶/۶۶۷	۰/۱۱۵	۲۸۶۲/۰۱	۰/۸۷۳۶	جنگل	
.	.	۲۰/۰۶۴	۰/۰۰۶	.	.	۵۵۶/۵۶۹	۰/۱۸۰	۲۵۰۹/۹۶	۰/۸۱۳	.	.	مرتع	
.	.	۱۶۸/۸۹۱	۰/۰۵۴	.	.	۲۹۱۳/۰۶۹	۰/۹۴۵	.	.	.	.	اراضی کشاورزی
.	.	.	.	۳۱۵/۹۰	۱	.	.	.	.	.	.	مناطق صخره‌ای
.	.	۶۳/۵۴	۱	.	.	.	.	.	.	.	.	مناطق مسکونی
۴۰۹/۰۵	۱	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	جاده

جدول (۳): مشخصات زیر مدل‌های مختلف تبدیل کاربری اراضی در دوره ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۰

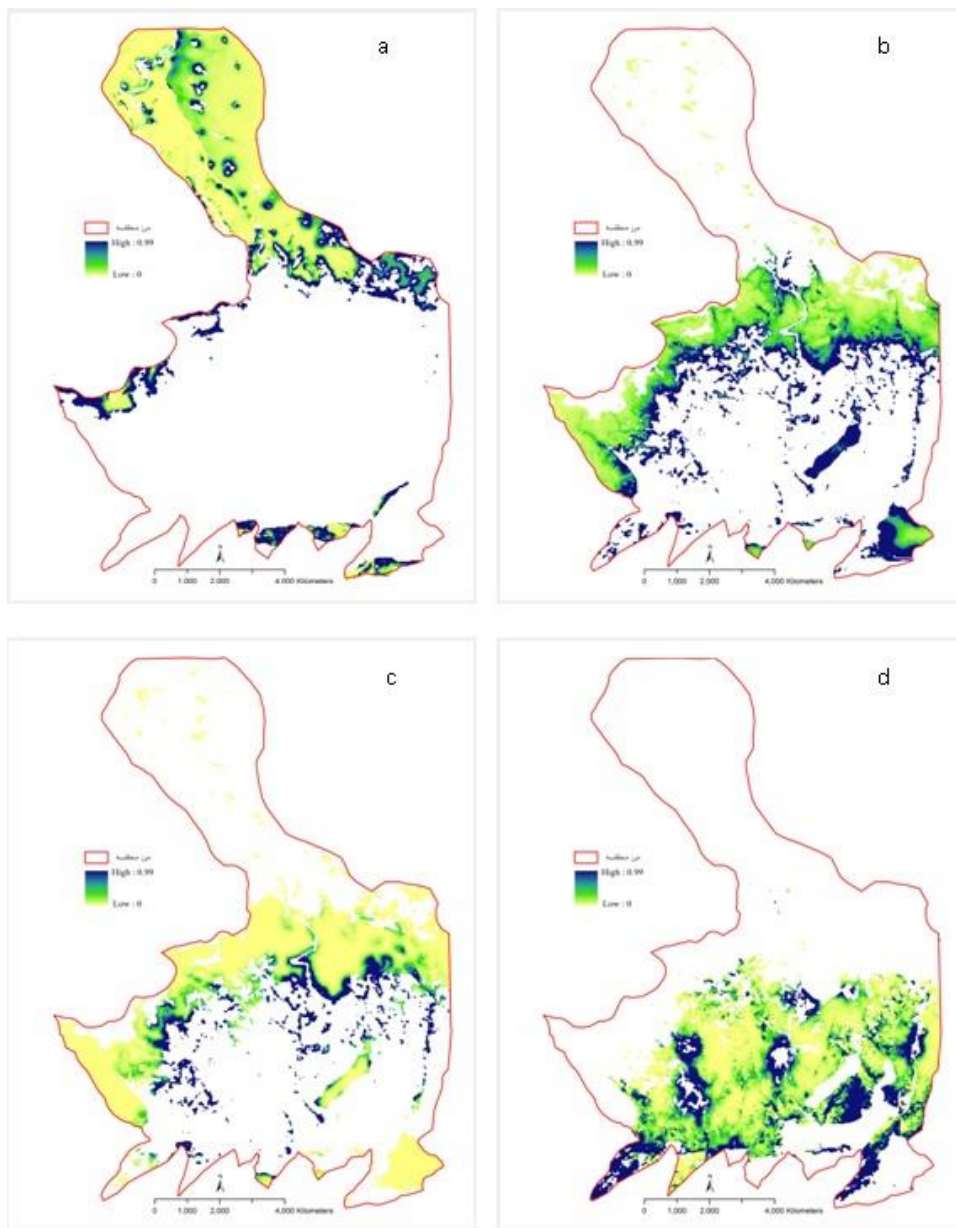
میزان صحت	RMS تست	RMS آموزش	نوی آموزش	تکرار	تعداد گره در لایه مخفی	فاکتور مومنتوم	نوع مدل	متغیر	تعداد متغیر	نام زیر مدل
۸۷/۸۰	۰/۳۰۸۵	۳/۰۱۳	۰/۰۱	۱۰۰۰۰	۱۰	۰/۲	MLP	شیب، جهت، ارتفاع، شاخص اختلاف گیاهی نرمال شده، فاصله از مرز اراضی جنگلی، فاصله از جاده، فاصله از مرز اراضی مرتعی	۷	اراضی جنگلی به مرتع
۸۳/۸۳	۰/۳۵۱۲	۰/۳۴۱۴	۰/۰۰۲۵	۱۰۰۰۰	۸	۰/۳	MLP	شیب، جهت، ارتفاع، شاخص اختلاف گیاهی نرمال شده، فاصله از جاده، فاصله از اراضی کشاورزی، فاصله از شهر، فاصله از مرز اراضی مرتعی	۸	مرتع به اراضی کشاورزی
۹۴/۴۳	۰/۲۱۸۴	۰/۲۱۱۳	۰/۰۱	۱۰۰۰۰	۱۱	۰/۲	MLP	شیب، جهت، ارتفاع، شاخص اختلاف گیاهی نرمال شده، فاصله از جاده، فاصله از شهر، فاصله از مرز اراضی مرتعی	۷	مرتع به مناطق مسکونی
۹۰/۷۷	۰/۲۸۶۸	۰/۲۳۵۴	۰/۰۱	۱۰۰۰۰	۸	۰/۲	MLP	شیب، جهت، ارتفاع، شاخص گیاهی اختلاف نرمال شده، فاصله از جاده، فاصله از شهر، فاصله از مرز اراضی کشاورزی	۷	اراضی کشاورزی به مناطق مسکونی

این زیر مدل‌ها داشته‌اند.

اعتبارسنجی مدل‌سازی کاربری اراضی

شاخص کاپا، یکی از معروف‌ترین پارامترهای آماری برای بیان صحت نقشه‌های تولیدی است. شاخص کاپای توافق (KIA)^(۴) در این جا با عنوان کاپای استاندارد شناخته می‌شود و نشان‌دهنده

نتایج نشان می‌دهد که در زیر مدل تغییر اراضی مرتعی و اراضی کشاورزی به مناطق مسکونی متغیر فاصله از اراضی مسکونی بیشترین نقش را در صحت مدل MLP داشته است. همچنین، در زیر مدل تغییر اراضی جنگلی به اراضی مرتعی، متغیر جهت جغرافیایی و در زیر مدل تغییر اراضی مرتعی به اراضی کشاورزی، متغیر فاصله از مرز اراضی کشاورزی بیشترین نقش را در طراحی



شکل (۴): نقشه احتمال تغییرات کاربری اراضی بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰
 (a) زیر مدل تبدیل جنگل به مرتع، b: زیر مدل تبدیل مرتع به اراضی کشاورزی، c: زیر مدل تبدیل مرتع به مناطق مسکونی، d: زیر مدل تبدیل اراضی کشاورزی به مناطق مسکونی)

برآورد دقیق‌تر صحت مدل استفاده شود (Pontius & Malanson, 2005). ضریب کاپای کمیت، کاپای موقعیت و کاپای استاندارد به ترتیب ۰/۸۲، ۰/۸۵ و ۰/۷۹ محاسبه شد. از طرف دیگر، بیان می‌شود که شاخص کاپا از تمامی پیکسل‌های تغییر نیافته در روند تغییر کاربری اراضی برای بررسی توافق و عدم توافق بین دو نقشه مقایسه و مرجع استفاده می‌کند.

صحت کلی بین دو نقشه مرجع و مقایسه است. از معایب کاپای استاندارد، در نظر نگرفتن موقعیت و کمیت پیکسل‌های طبقه‌بندی شده است و در واقع توافق ناشی از شانس بین دو نقشه مرجع و مقایسه را بررسی می‌کند. بر این اساس، علاوه بر این شاخص همواره پیشنهاد می‌شود از شاخص کاپای کمیت (Kquantity) و شاخص کاپای موقعیت (Klocation) برای

سناریوی دوم

این سناریو، سناریوی «کشاورزی-حفاظتی» نام دارد و در آن بیان می‌شود که از تغییر اراضی کشاورزی به مناطق مسکونی (ساخت ویلا) در منطقه مورد مطالعه ممانعت به عمل می‌آید. در این دوره زمانی و بر مبنای این سناریو، شاهد تغییرات مشابه در مساحت اراضی جنگلی و مرتعی منطقه مورد مطالعه هستیم. اما، با اعمال این سناریو از تبدیل حدود ۷۴ هکتار از اراضی کشاورزی به مناطق مسکونی جلوگیری به عمل می‌آید.

سناریوی سوم

سناریوی سوم سناریوی «تغییرات-محدودیت» نام دارد که بدین صورت تعریف می‌شود: تغییرات کاربری اراضی در منطقه روی می‌دهد. اما، این تغییرات در مناطقی با شیب بالای ۱۵ درصد و تراکم پوشش گیاهی بالای ۵۰ درصد انجام نخواهد شد. بر اساس اعمال این سناریو، بیشترین حفاظت لازم از اراضی جنگلی و مراتع موجود در منطقه روی خواهد داد. براساس نتایج ارایه شده در جدول (۴)، نه تنها کاهش اراضی جنگلی طی ۴۰ سال آینده روی نخواهد داد، بلکه افزایش حدود ۷۵ هکتار به اراضی جنگلی مشاهده خواهد شد. همچنین، بر خلاف دو سناریوی مذکور، تنها ۵/۸ درصد از مراتع معادل با ۱۶۶/۷ هکتار به سایر کاربری‌ها تبدیل خواهند شد. بر مبنای این سناریو، ۴۵ هکتار از اراضی کشاورزی که بر اساس شیب منطقه دارای شرایط مناسب کشت نیستند، با اعمال مدیریت حفاظتی و جنگل‌کاری به اراضی جنگلی و مرتعی تبدیل خواهند شد. مشابه نتایج سناریوی اول حدود ۱۳۶/۸ هکتار به وسعت مناطق مسکونی در این بازه زمانی اضافه خواهد شد شکل (۵).

بحث و نتیجه‌گیری

امروزه، مدیریت پایدار در مناطق و دستیابی به حداقل خسارت‌های محیط‌زیستی ناشی از تغییر کاربری اراضی، نیازمند پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در بلند مدت است تا بر مبنای تغییرات احتمالی، مدیریت مناسب و پایدار در مناطق اعمال شود. در این تحقیق، از مدل‌سازی تغییر کاربری اراضی برای مدل‌سازی تغییرات روی داده در منطقه دیلمان بر مبنای سه سناریوی مدیریتی به منظور مدیریت بهتر اکوسیستم‌های طبیعی در ۴۰ سال آینده استفاده شد. نتایج نشان داد که این مدل از صحت قابل قبولی برای پیش‌بینی تغییرات روی داده در منطقه مورد

بنا بر این، بهتر است که برای محاسبه دقیق توافق بین این دو نقشه فقط از پیکسل‌های تغییر یافته استفاده شود. برای این منظور، از سه مؤلفه False Alarms، Hits و Misses استفاده می‌شود. Hits پیکسل‌هایی را نشان می‌دهد که در مدل و واقعیت، تغییر کاربری اراضی روی داده است. False Alarms نشان‌دهنده پیکسل‌هایی است که مدل آنها را تغییر یافته پیش‌بینی می‌کند ولی در واقعیت چنین نبوده است. Misses نیز نشان‌دهنده پیکسل‌هایی است که مدل آنها را ثابت پیش‌بینی کرده اما در واقعیت آنها تغییر نموده‌اند (Estman, 2009). مقادیر False Alarms، Hits و Misses به ترتیب ۲۴۰۵، ۵۵۰۲ و ۲۹۵۷ پیکسل به دست آمد. از نسبت Hits به کل پیکسل‌های تغییر کرده می‌توان به قابل قبول بودن نتایج مدل در پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی پی برد. این نسبت بر اساس نتایج برابر ۲۲ درصد است.

مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی سال ۲۰۵۰

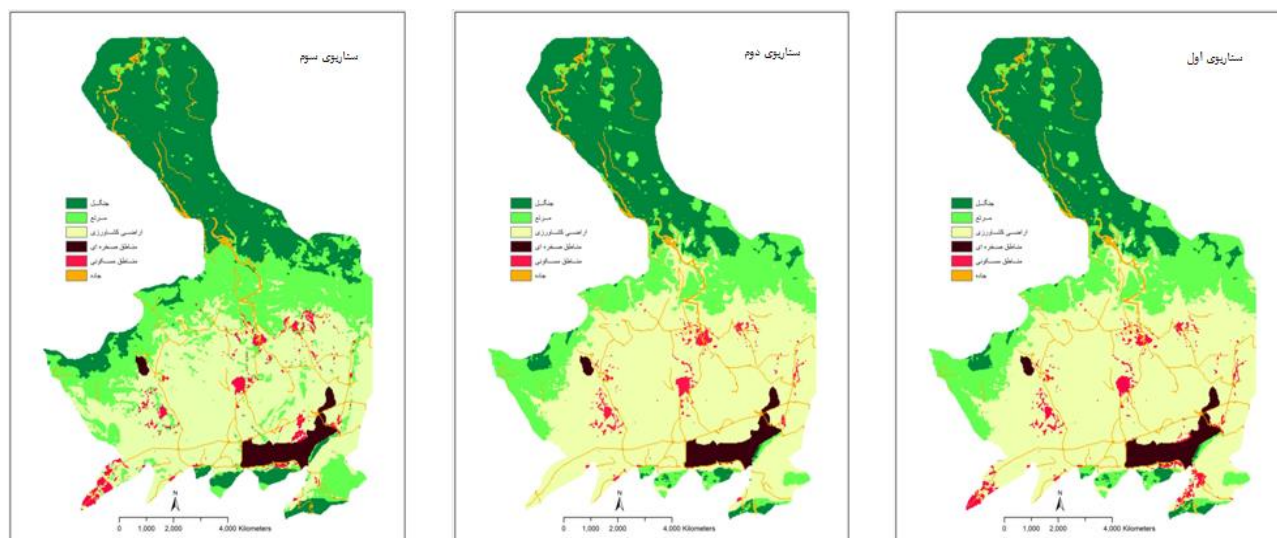
پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی طبق سه سناریوی تعریف شده برای ۴۰ سال آینده در منطقه‌ی دیلمان انجام شد.

سناریوی اول

سناریوی اول که در این تحقیق «سناریوی تداوم» نام دارد، بدین گونه تعریف می‌شود: روند تغییرات کاربری اراضی مشابه سال‌های گذشته و بدون هیچ گونه محدودیتی ادامه می‌یابد. نتایج مدل‌سازی بر مبنای این سناریو نشان می‌دهد در صورتی که روند تغییرات آینده مانند ۲۵ سال گذشته باشد، مساحت اراضی جنگلی از ۳۱۵۱/۸۹ هکتار به ۲۵۳۳/۱۴ هکتار کاهش خواهد یافت که معادل ۹ درصد کاهش در مساحت فعلی اراضی جنگلی در ۴۰ سال آینده خواهد بود. بر اساس این سناریو، مردم و مدیران منابع طبیعی شاهد کاهش ۲۳/۴ درصدی مراتع از مساحت ۲۸۳۴/۹۱ هکتار به ۲۱۷۲/۰۶ هکتار خواهند بود. اراضی کشاورزی نیز در این بازه زمانی حدود ۱۱۴۴ هکتار افزایش مساحت خواهد داشت که می‌توان گفت سالانه به طور متوسط ۲۸/۶ هکتار بر وسعت این اراضی افزوده خواهد شد. از جمله تغییرات قابل ذکر در این دوره، افزایش ۱۳۷/۶۱ هکتار بر مناطق مسکونی است. این مساحت معادل ۴۰/۵ درصد افزایش است که اغلب در اطراف شهرها و روستاهای فعلی منطقه و در امتداد جاده‌ها روی داده است.

جدول (۴): مساحت طبقات کاربری اراضی بر مبنای سناریوهای مختلف (بر حسب هکتار)

سناریو ۳	سناریو ۲	سناریو ۱	سال ۲۰۱۰	
۳۲۲۶/۸۶	۲۵۳۳/۱۴	۲۵۳۳/۱۴	۳۱۵۱/۸۹	جنگل
۲۶۶۸/۱۴	۲۱۷۲/۰۶	۲۱۷۲/۰۶	۲۸۳۴/۹۱	مرتع
۴۰۱۸/۵۹	۵۲۸۱/۳۸	۵۲۰۷/ ۵۸	۴۰۶۳/۵۹	اراضی کشاورزی
۳۱۵/۹۰	۳۱۵/۹۰	۳۱۵/۹۰	۳۱۵/۹۰	مناطق صخره‌ای
۲۳۰/۴۰	۱۵۷/۴۱	۲۳۱/۲۱	۹۳/۶۰	مناطق مسکونی
۴۰۹/۰۵	۴۰۹/۰۵	۴۰۹/۰۵	۴۰۹/۰۵	جاده
۱۰۸۶۸/۹۴	۱۰۸۶۸/۹۴	۱۰۸۶۸/۹۴	۱۰۸۶۸/۹۴	کل
سناریو ۳	سناریو ۲	سناریو ۱	سال ۲۰۱۰	
۳۲۲۶/۸۶	۲۵۳۳/۱۴	۲۵۳۳/۱۴	۳۱۵۱/۸۹	جنگل
۲۶۶۸/۱۴	۲۱۷۲/۰۶	۲۱۷۲/۰۶	۲۸۳۴/۹۱	مرتع
۴۰۱۸/۵۹	۵۲۸۱/۳۸	۵۲۰۷/ ۵۸	۴۰۶۳/۵۹	اراضی کشاورزی
۳۱۵/۹۰	۳۱۵/۹۰	۳۱۵/۹۰	۳۱۵/۹۰	مناطق صخره‌ای
۲۳۰/۴۰	۱۵۷/۴۱	۲۳۱/۲۱	۹۳/۶۰	مناطق مسکونی
۴۰۹/۰۵	۴۰۹/۰۵	۴۰۹/۰۵	۴۰۹/۰۵	جاده
۱۰۸۶۸/۹۴	۱۰۸۶۸/۹۴	۱۰۸۶۸/۹۴	۱۰۸۶۸/۹۴	کل
سناریو ۳	سناریو ۲	سناریو ۱	سال ۲۰۱۰	
۳۲۲۶/۸۶	۲۵۳۳/۱۴	۲۵۳۳/۱۴	۳۱۵۱/۸۹	جنگل
۲۶۶۸/۱۴	۲۱۷۲/۰۶	۲۱۷۲/۰۶	۲۸۳۴/۹۱	مرتع
۴۰۱۸/۵۹	۵۲۸۱/۳۸	۵۲۰۷/ ۵۸	۴۰۶۳/۵۹	اراضی کشاورزی
۳۱۵/۹۰	۳۱۵/۹۰	۳۱۵/۹۰	۳۱۵/۹۰	مناطق صخره‌ای
۲۳۰/۴۰	۱۵۷/۴۱	۲۳۱/۲۱	۹۳/۶۰	مناطق مسکونی
۴۰۹/۰۵	۴۰۹/۰۵	۴۰۹/۰۵	۴۰۹/۰۵	جاده
۱۰۸۶۸/۹۴	۱۰۸۶۸/۹۴	۱۰۸۶۸/۹۴	۱۰۸۶۸/۹۴	کل
سناریو ۳	سناریو ۲	سناریو ۱	سال ۲۰۱۰	
۳۲۲۶/۸۶	۲۵۳۳/۱۴	۲۵۳۳/۱۴	۳۱۵۱/۸۹	جنگل
۲۶۶۸/۱۴	۲۱۷۲/۰۶	۲۱۷۲/۰۶	۲۸۳۴/۹۱	مرتع
۴۰۱۸/۵۹	۵۲۸۱/۳۸	۵۲۰۷/ ۵۸	۴۰۶۳/۵۹	اراضی کشاورزی
۳۱۵/۹۰	۳۱۵/۹۰	۳۱۵/۹۰	۳۱۵/۹۰	مناطق صخره‌ای
۲۳۰/۴۰	۱۵۷/۴۱	۲۳۱/۲۱	۹۳/۶۰	مناطق مسکونی
۴۰۹/۰۵	۴۰۹/۰۵	۴۰۹/۰۵	۴۰۹/۰۵	جاده
۱۰۸۶۸/۹۴	۱۰۸۶۸/۹۴	۱۰۸۶۸/۹۴	۱۰۸۶۸/۹۴	کل



شکل (۵): نقشه تغییرات کاربری اراضی شبیه سازی شده بر مبنای سناریوی اول، دوم و سوم

را نسبت به روش CA-Markov بیشتر برآورد نمودند. ژانگ و همکاران با محاسبه شاخص‌های کاپای استاندارد، کاپای موقعیت و کاپای کمیت به بررسی اعتبار مدل CA-Markov پرداختند و نشان دادند که توافق کمیت و موقعیت دو نقشه مورد نظر ۷۱ درصد است، در صورتی که عدم توافق کمیت و موقعیت آن دو نقشه به ترتیب ۴ و ۲ درصد است. آنها بر مبنای این شاخص‌ها اعتبار مدل را خوب ارزیابی نمودند و اقدام به اعمال سناریوهای مدیریتی برای تغییر کاربری اراضی در شانگهای چین کردند (Zhang et al., 2011). بر اساس نتایج بیان شده، نسبت پیکسل‌هایی که به درستی مدل شده‌اند به پیکسل‌هایی که با واقعیت متفاوت می‌باشند، نشان‌دهنده قابل قبول بودن نتایج مدل‌سازی است. در سال ۲۰۰۸ پونتوس و همکاران، بیان کردند نتایج بین ۱ تا ۵۹ درصد نتایج قابل قبول در مدل‌سازی کاربری اراضی است. پس می‌توان از مدل مذکور با اطمینان مناسبی جهت مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی سال ۲۰۵۰ استفاده کرد (Pontius et al., 2008).

پس از اطمینان از قابل قبول بودن نتایج مدل‌سازی با استفاده از LCM، مدل‌سازی کاربری اراضی بر مبنای سه سناریوی مدیریتی تعریف شده مورد اقدام قرار گرفت. نتایج مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی بر مبنای سناریوی مدیریتی اول و دوم تقریباً مشابه بوده و در آن اراضی جنگلی و مرتعی زیادی از دست رفته و تبدیل به اراضی کشاورزی می‌شود. این امر، منجر به تخریب اراضی با پوشش طبیعی و فرسایش خاک در منطقه

مطالعه بر روی‌دار است. لویز و همکاران، سان، هی و همکاران، شهیدال و احمد، فلاح‌تکار و همکاران، سانگ و همکاران، گوان و همکاران، ژو و همکاران از مدل CA-Markov برای پیش‌بینی تغییرات پوشش اراضی مناطق مورد مطالعه خود استفاده نمودند (Lopez et al., 2001; Sun 2008; He et al., 2006; Shahidul & Ahmed et al., 2011; Falahatkar et al., 2010; Sang et al., 2011; Guan et al., 2011; Zhou et al., 2012). آنها قبل از اعمال سناریوهای مدیریتی برای پیش‌بینی تغییرات آینده در تحقیقات خود به اعتبارسنجی مدل مذکور پرداختند. برای این امر، از مؤلفه‌های توافق و عدم توافق، همچنین محاسبه شاخص‌های کاپا برای ارزیابی توان مدل در شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی استفاده کردند. سان (۲۰۰۸) از روش ROC و همچنین محاسبه شاخص کاپا برای بررسی توان مدل CA-Markov استفاده نمود. وی شاخص کاپای استاندارد را ۰/۹۱ به دست آورد و نتیجه اعتبارسنجی مدل را بسیار خوب بیان کرد. همچنین لویز و همکاران نیز برای بررسی توانایی مدل مارکوف به منظور پیش‌بینی مساحت پوشش اراضی از آزمون نکویی برازش استفاده نمودند و ارزش کای اسکویئر را ملاک بررسی صحت نتایج مدل مورد نظر قرار دادند (Lopez et al., 2001). یانگ و همکاران از روش برآورد صحت کلی برای اعتبارسنجی مدل‌های CA-Markov و ACO-Markov-CA در بخش Changping شهر پکن استفاده کردند (Yang et al., 2012). آنها صحت کلی نقشه‌های شبیه‌سازی شده به روش ACO-Markov-CA

دارند بیشتر مورد حفاظت قرار می‌گیرند. شایان ذکر است که اعمال تمامی سناریوهای مدیریتی، تحت تاثیر استراتژی‌ها، سیاست‌گذاری‌ها و تصمیم‌گیری‌های کلان کشور مانند سیاست‌گذاری افزایش یا کاهش جمعیت قرار دارند که همین امر منجر به عدم قطعیت این سناریوها و دگرگون شدن نتایج مربوط به مدل‌سازی بر مبنای آن‌ها می‌شود. در نهایت، پیشنهاد می‌شود تلفیق نتایج حاصل از مدل‌سازی تغییر کاربری اراضی با تغییرات مربوط به ذخایر کربن آلی خاک مورد مطالعه قرار گیرد تا آثار این نوع تغییرات کاربری اراضی بر از دست رفتن ذخیره کربن آلی خاک و تغییر اقلیم منطقه بررسی شود.

یادداشت‌ها

1. Multi-Layer Perceptron
2. Multi Objective Land Allocation
3. Change Transition Probability
4. Kappa Index of Agreement
5. Relative Operative Characteristic

می‌شود. در حالی که نتایج مدل‌سازی بر مبنای سناریوی سوم که دارای محدودیت تغییر کاربری اراضی در شیب‌های بالای ۱۵ درصد و اراضی با پوشش گیاهی بالای ۵۰ درصد است منجر به حفظ اکوسیستم‌های طبیعی بیشتری شده و از فجایع ناشی از تغییر کاربری اراضی در آینده همانند فرسایش و از دست رفتن خاک منطقه جلوگیری خواهد نمود. در ضمن نتایج مربوط به مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی نشان داد که در سناریوی اول و دوم، ۲۶۷/۵ هکتار از اراضی جنگلی که به مراتب تبدیل شده‌اند، در شیب ۱۵-۳۰ درصد قرار دارند. همچنین، نتایج مدل‌سازی نشان می‌دهد که اراضی مرتعی با شیب ۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ درصد بیشتر مورد تجاوز کشاورزان قرار خواهند گرفت و تبدیل به زمین‌های زراعی و اراضی شخم خورده خواهند شد. اما با اعمال محدودیت شیب در تغییر کاربری اراضی بر اساس سناریوی سوم، تمامی تغییرات روی داده در منطقه در شیب کمتر از ۱۵ درصد دیده می‌شود. در چنین حالتی اراضی با شیب بالاتر که از تراکم گیاهی بیشتری در منطقه دیلمان برخوردار

فهرست منابع

- درگاهی دهمدار، م.؛ کرمی، م. و خراسانی، ن. الف. ۱۳۸۷. زون بندی منطقه شکار ممنوع دیلمان و درفک با استفاده از GIS. محیط شناسی. ۵۱: ۴۳-۶۱.
- غلامعلی فرد، م.؛ جورابیان شوشتری، ش.؛ حسینی کهنوج، س. ح. و میرزایی، م. ۱۳۹۱. مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی سواحل استان مازندران با استفاده از LCM در محیط GIS. محیط شناسی، ۳۸ (۴): ۱۰۹-۱۲۴.
- Estman, J. R. 2009. Idrisi Tiaga: Guide to GIS and image processing, Clark University.
- Falathkar, S.; Soffianian, A. R.; Khajeddin, S. J.; Ziaee, H.R. & Ahmadi Nadoushan, M. 2011. Integration of Remote sensing Data and GIS for Prediction of Land Cover Maps. International journal of geomatics and geosciences. 1(4): 847-864.
- Guan, D.; Li, H.; Inohae, T.; Su, W.; Nagaie, T. & Hokao, K. 2011. Modeling urban land use change by the integration of cellular automaton and Markov model. Ecological Modelling. 222 (20-22): 3761-3772.
- Hashimoto, M.; Nose, T. & Muriguchi, Y. 2002. Wood products: potential carbon sequestration and impact on net carbon emissions of industrialized countries. Environmental Science & Policy. 5: 183-193.
- He, C.; Okada, N.; Zhang, Q.; Shi, P.; Zhang, J. 2006. Modeling urban expansion scenarios by coupling cellular automata model and system dynamic model in Beijing, China. Applied Geography. 26: 323-345.
- Lee, Y. & Chang, H. 2011. The Simulation of Land Use Change by Using CA-Markov Model: A Case Study of Tainan City, Taiwan. 19th international conference on geoinformatics, 24-26 June. China.
- Lopez, T. M.; Aide, T. M. & Thomlinson, J. R. 2001. Urban expansion and the loss of prime agriculture lands in Puerto Rico. Ambio. 30(1): 49-54.
- MarvieMohadjer, M. R. 2004. Silviculture of the oriental beech (*FagusorientalisLipsky*); experiences made in Caspian forests, north of Iran. In: Proceedings from the 7th International beech Symposium. IUFRO Research Group. Tehran, Iran. pp. 13-15.

- Mas, J. F.; Kolb, M.; Paegelow, M. & Camacho Olmedo, M. T. 2014. Inductive pattern-based land use/cover change models: A comparison of four software packages. *Environmental Modelling & software*. 51: 94-111.
- Mohammadi, J. & Shataee, Sh. 2010. Possibility investigation of tree diversity mapping using Landsat ETM+ data in the Hyrcanian forests of Iran. *Remote Sensing of Environment*. 114: 1504-1512.
- Pontius Jr, R. G. & Malanson, J. 2005. Comparison of the structure and accuracy of two land change models. *International Journal of Geographical Information Science*. 19(2): 243-265.
- Pontius Jr, R. G.; Thontteh, O. & Chen. H. 2008. Components of information for multiple resolution comparison between maps that share a real variable. *Environmental and Ecological Statistics*. 15: 42-111.
- Samat, N.; Hasni, R. & Eltayeb Elhadary, Y. A. 2011. Modelling Land Use Changes at the Peri-Urban Areas Using Geographic Information Systems and Cellular Automata Model. *Journal of Sustainable Development*. 4(6): 72-84.
- Sang, L.; Zhang, C.; Yang, J.; Zhu, D. & Yun, W. 2011. Simulation of land use spatial pattern of towns and villages based on CA-Markov model. *Mathematical and Computer Modelling*. 54(3-4): 938-943.
- Shahidul Islam, M. d. & Ahmed, R. 2011. Land use change prediction Dhaka city using GIS aided Markov chain modeling. *Journal of Life Earth Science*. 6: 81-89.
- Sun, Y. 2008. Simulating Future Land Use Change in the East Fork Little Miami River (EFLMR) Watershed in Ohio. Master of Art, Geography Faculty, University of Cincinnati, pp. 91.
- Upadhyay, T. P.; Solberg, B. & Sankhayan, P. L. 2006. Use of models to analyse land-use changes, forest/soil degradation and carbon sequestration with special reference to Himalayan region: A review and analysis. *Forest Policy and Economics*. 9: 349-371.
- Yang, X.; Zheng, X. Q. & Lv, L. N. 2012. A spatiotemporal model of land use change based on ant colony optimization, Markov chain and cellular automata. *Ecological Modelling*. 233: 11-19.
- Zhang, Q.; Ban, Y.; Liu, J. & Hu, Y. 2011. Simulation and analysis of urban growth scenarios for the Greater Shanghai Area, China. *Computers, Environment and Urban Systems*. 35: 126-139.
- Zhou, D.; Lin, Z. & Liu L. 2012. Regional land salinization assessment and simulation through cellular automaton-Markov modeling and spatial pattern analysis. *Science of the Total Environment*. 439: 260-274.