

پیش‌بینی جنگل‌زدایی و بازیابی جنگل با استفاده از مدل تبدیل زمین (LTM) در جنگل‌های زاگرس شمالی

هادی بیگی حیدرلو^۱، عباس بانج شفیع^{۲*}، مهدی عرفانیان^۳، امین طیبی^۴ و احمد علیجانپور^۵

۱- دکتری علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. (hadibeygi@gmail.com)

۲- استاد، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. (a.banjshafiei@urmia.ac.ir)

۳- دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. (m.erfaniyan@urmia.ac.ir)

۴- پژوهشگر اطلاعات جغرافیایی، شرکت ESRI، ایالات متحده. (amin.tayyebi@gmail.com)

۵- دانشیار، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. (a.alijanpour@urmia.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۰۸

چکیده

الگوی تغییرات کاربری اراضی در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی به صورت غیرخطی است. از این رو برای پیش‌بینی اثرات بالقوه و منفی این تغییرات بر خدمات اکوسیستمی جنگل‌ها در آینده نیاز به ابزارهای غیرخطی مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی است. در این پژوهش برای پیش‌بینی جنگل‌زدایی و بازیابی اراضی جنگلی شهرستان سردشت برای ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سال آینده از مدل تبدیل زمین یا LTM که یک مدل مبتنی بر شبکه‌های عصبی مصنوعی و GIS است استفاده شد. بدین منظور سه سناریوی مختلف شامل دوره‌های زمانی ۱۳۸۶-۱۳۷۶، ۱۳۷۶-۱۳۹۶ و ۱۳۸۶-۱۳۹۶ استفاده شد و جنگل‌زدایی و بازیابی اراضی جنگلی سردشت با استفاده از ۱۴ متغیر مختلف برای سال‌های ۱۴۰۶، ۱۴۱۶ و ۱۴۲۶ پیش‌بینی شد. نتایج نشان داد طی ۲۰ سال دوره زمانی موردبررسی (۱۳۷۶ تا ۱۳۹۶) با وجود ۲۳۷۳/۵۷ هکتار بازیابی جنگل‌های سردشت، ۱۰۳۱۴/۶۳ هکتار جنگل‌زدایی رخ داده است. مدل‌سازی جنگل‌زدایی و بازیابی جنگل توسط هر سه سناریو با مقدار ROC بالای ۰/۸ برای همه مدل‌ها نشان‌دهنده افزایش قطعی جنگل‌زدایی در سردشت طی سه دهه آینده بوده است، به طوری که بر اساس سناریوی ۱۳۸۶-۱۳۷۶، پیش‌بینی شد ۲۲۲۹۶/۲۴ هکتار از جنگل‌های منطقه طی ۳۰ سال آینده تخریب خواهد شد. نتایج این پژوهش می‌تواند برای برنامه‌ریزی‌های حفاظتی صحیح و افزایش برنامه‌های نظارتی در مناطق با پتانسیل تخریبی استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: بازیابی جنگل، جنگل‌زدایی، سردشت، مدل تبدیل زمین (LTM)، مدل‌سازی.

مقدمه

کاربری اراضی در آینده در بسیاری از نقاط دنیا به کار گرفته شده است (Newman et al., 2016; Pijanowski et al., 2014). مدل مبتنی بر GIS بوده و به عنوان یکی از مدل‌های دقیق تغییرات کاربری و پوشش اراضی مبتنی بر ANN، برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی محبوبیت زیادی داشته است (Newman et al., 2016). این مدل برای شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی، شبکه عصبی مصنوعی مولتی پرسپترون چندلایه یا MLP (multi-layer perceptron) و GIS را با استفاده از عوامل اقتصادی-اجتماعی و زیستی به یکدیگر مرتبط می‌کند (Pijanowski et al., 2002). MLP از یک الگوریتم یادگیری نظارت‌شده استفاده می‌کند که عملکرد بین داده‌های ورودی و خروجی را بدون آگاهی از شکل عملکردی آنها تخمین می‌زند (Tayyebi et al., 2011; Tayyebi et al., 2014).

(Pijanowski et al., 2001) از مدل LTM برای پیش‌بینی تغییرات شهری و بررسی تأثیر تبعات ناشی از تغییرات آینده شهری برای سال‌های ۲۰۲۰ و ۲۰۴۰ در شرق دریاچه میشیگان استفاده کردند و نشان دادند دو منطقه Black-Macatawa و Lower Grand بیشترین تغییرات شهری را طی ۲۰ و ۴۰ سال آینده تجربه خواهند کرد. این تغییرات بیشترین تأثیر را بر ظرفیت هیدرولوژیکی این مناطق خواهد داشت که ممکن است سبب کاهش مقدار نیتروژن در دسترس و در نتیجه از دست رفتن مقدار قابل توجهی از زمین‌های کشاورزی اولیه و کاهش پوشش جنگل در این مناطق شود. (Newman et al., 2016) نیز در شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی مناطق رها شده کارایی بالای مدل LTM را برای تصمیم‌گیری‌های پیشگیرانه و تنظیم روند این مناطق در آینده نشان دادند. (Tayyebi et al., 2014) مدل LTM را با دو مدل غیر پارامتریک CART و

تغییر در کاربری و پوشش اراضی نتیجه اثرات پیچیده عوامل مختلفی مانند فعالیت‌های انسانی، بهره‌برداری منابع، فعالیت‌های کشاورزی، سیاست‌ها، مدیریت، آشفته‌گی‌های اقتصادی-اجتماعی و محیط‌زیست است (Pijanowski et al., 2002; Hostert et al., 2001, Beygi Heidarlou et al., 2020a; Mahmoudi et al., 2021). این تغییرات سریع و آهسته رخ می‌دهند و نتیجه تبدیل اراضی طبیعی از جمله جنگل‌ها به کاربری‌هایی مانند کشاورزی، مسکونی، صنعتی و غیره است (Houet et al., 2010). فهم چگونگی و چرایی تغییرات کاربری و پوشش اراضی بسیار مهم است، چراکه به واسطه آن بر محیط‌زیست و کارکردهای آن، افزایش فرسایش، رواناب و انتشار CO₂، تغییرات اقلیمی و کاهش تنوع زیستی تأثیرات منفی داشته است (Gessesse et al., 2015). تغییر کاربری اراضی یک فرایند پیچیده بوده و مدل‌سازی این سیستم‌ها همواره چالش‌برانگیز است (Tayyebi and Pijanowski, 2014). (Veldkam and Lambin, 2001) نشان دادند عوامل تغییرات کاربری اراضی در مقیاس‌های مکانی-زمانی به صورت غیرخطی عمل می‌کنند. از این رو برای شبیه‌سازی پویایی کاربری‌های اراضی نیاز به ابزارهای غیرخطی مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی است (Živković et al., 2009). شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANNs) طی دو دهه گذشته به طور گسترده‌ای توسط مدل‌سازان تغییرات کاربری اراضی مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Tayyebi and Pijanowski, 2014; Tayyebi et al., 2011a). مدل تبدیل اراضی یا LTM (Land Transformation Model)، یک مدل شبکه عصبی مصنوعی است و به عنوان یک ابزار پیش‌بینی برای تجزیه و تحلیل پویایی‌های مکانی-زمانی کاربری اراضی، برآورد اثر تغییرات و شبیه‌سازی تغییرات

امر، ضرورت بررسی و برنامه‌ریزی مناسب را برای این بخش از کشور دوچندان کرده است. در راستای همین امر این پژوهش باهدف پیش‌بینی جنگل‌زدایی و بازیابی جنگل‌های سردشت طی سه دوره زمانی مختلف از ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۶ و مدل‌سازی این تغییرات برای ۱۰ (۱۴۰۶)، ۲۰ (۱۴۱۶) و ۳۰ (۱۴۲۶) سال آینده با مدل LTM انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

شهرستان سردشت با ارتفاع متوسط ۱۵۱۵ متر از سطح دریا در محدوده $35^{\circ}57'36''$ تا $36^{\circ}28'12''$ عرض شمالی و $45^{\circ}13'48''$ تا $45^{\circ}42'00''$ طول شرقی با مساحت $1381/83$ کیلومتر مربع، $3/8$ درصد از سطح استان آذربایجان غربی را در بر گرفته است (شکل ۱). بر اساس آخرین سرشماری نفوس و مسکن در سال ۱۳۹۵ تعداد جمعیت این شهرستان ۱۱۸۸۴۹ نفر بوده که از این مقدار جمعیت شهری این شهرستان (شامل سه شهر سردشت، ربط و میرآباد) برابر با ۶۸۱۶۲ نفر و جمعیت روستایی (شامل ۳۵۲ روستا و آبادی) آن برابر با ۵۰۶۸۷ نفر بوده است.

MARS برای مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی مورد مقایسه قرار دادند. نتایج مقایسه مقیاس‌های زمانی- مکانی این سه مدل نشان داد که LTM عملکرد بهتری نسبت به مدل‌های دیگر در فواصل زمانی کوتاه (پنج‌ساله) و داده‌های با قدرت تفکیک مکانی پایین (یک کیلومتری) داشته است.

منابع طبیعی استان آذربایجان غربی و به‌خصوص جنگل‌های شهرستان سردشت با مساحت ۹۱۱۱۷ هکتار (بر اساس آمار دفتر مهندسی سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور) از مناطق مهم و درعین حال نسبتاً بحرانی از نظر تغییر کاربری اراضی و کاهش سطح عرصه‌های جنگلی در این استان به شمار می‌رود و با توجه به پراکنش گسترده جمعیت روستایی در داخل آن، افزایش جمعیت، فقر و نیاز به مواد غذایی، شغل، محیط زندگی، راه و رشد شهرنشینی و غیره از آسیب‌ انسانی مصون نبوده و طی سالیان گذشته دچار تخریب‌های گسترده شده است (Beygi Heidarlou et al., 2020b; Salehi et al., 2020). با توجه به موارد ذکر شده تاکنون هیچ پژوهشی به بررسی تأثیر تبعات ناشی از تغییرات آینده کاربری‌های اراضی این منطقه و پیش‌بینی تغییرات اراضی جنگلی آن نپرداخته است. این



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد بررسی (شهرستان سردشت)

Figure 1. Geographical location of study area (Sardasht County)

فرایند مدل LTM

LTM در ابتدا برای شبیه‌سازی الگوهای تغییرات کاربری و پوشش اراضی در مقیاس محلی در دانشگاه پردو (Purdue University) آمریکا توسعه یافت (Pijanowski et al., 2002). مدل‌سازی LTM از چهار مرحله متوالی تشکیل شده است: (۱) پردازش داده‌ها در GIS، (۲) به‌کارگیری اطلاعات مکانی و متغیرهای پیش‌بینی‌کننده تغییرات، (۳) یکپارچه‌سازی شبکه و (۴) مقیاس زمانی خروجی حاصل از پیش‌بینی (Pijanowski et al., 2002; Newman et al., 2016).

آماده‌سازی داده‌ها و ساخت مدل LTM

فرایند مدل‌سازی در LTM شامل آماده‌سازی داده‌ها، ایجاد شبکه، الگوی یادگیری شبکه، آموزش و تست شبکه، پیش‌بینی تغییرات و در نهایت ارزیابی صحت مدل است. LTM برای آموزش ANN حداقل از داده‌های دو دوره زمانی استفاده می‌کند و پارامترهای یک مدل بهینه LTM، به‌وسیله تکرار ANN در چرخه‌های متوالی تخمین زده می‌شود. یک چرخه آموزشی در LTM به‌عنوان مجموعه‌ای از تمام داده‌های آموزش به شبکه ANN تعریف می‌شود و میانگین مربعات خطا (MSE) برای هر ۱۰۰ چرخه در LTM ثبت می‌شود. میانگین مربعات خطا تفاوت بین داده‌های مرجع و تخمینی خروجی از LTM را ارائه می‌دهد (Tayyebi et al., 2013). تفاوت بین میانگین مربعات خطای چرخه‌ها به‌عنوان شرط توافق آموزش شبکه استفاده می‌شود و آموزش شبکه تا زمانی ادامه می‌یابد که تفاوت میانگین مربعات چرخه‌های متوالی آموزش، پایدار شود. هنگامی که اجرای آموزش متوقف شد، بهترین شبکه برای تست شبکه و برآورد نقشه تناسب و در نهایت برای شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی در آینده استفاده می‌شود (Tayyebi et al., 2014).

مدل LTM در این پژوهش بر اساس الگوهای

تغییرات کاربری اراضی در منطقه سردشت با استفاده از داده‌های مکانی و سنجش‌ازدوری سال‌های ۱۳۷۶، ۱۳۸۶ و ۱۳۹۶ ایجاد شد. داده‌های ورودی به مدل شامل ۱۴ متغیر بوده است که در توصیف تغییرات کاربری و پوشش اراضی منطقه نقش داشته‌اند. برای انتخاب عوامل و داده‌ها از شناخت علمی و کارشناسی از عوامل ایجادکننده تغییرات کاربری اراضی در منطقه موردبررسی و همچنین جنگل‌های غرب کشور استفاده شد. این متغیرها عبارت‌اند از: ارتفاع از سطح دریا، شیب، جهت، فاصله از رودخانه دائمی، فاصله از رودخانه موقت، فاصله از مرکز شهرستان (شهر سردشت)، فاصله از سایر شهرها، فاصله از سایر مناطق مسکونی، فاصله از جاده‌های اولیه، ثانویه و ثالثیه، فاصله از اراضی کشاورزی، تراکم اراضی کشاورزی و تراکم اراضی جنگلی. همچنین کاربری‌هایی که نمی‌توانند توسعه پیدا کنند (کشاورزی، مسکونی و مرتع) به‌عنوان لایه محدودیت (exclusionary zone) تولید شد تا مدل از استفاده از آنها در اختصاص احتمال تغییرات در آینده جلوگیری کند (Tayyebi et al., 2013). با استفاده از داده‌های رستری هر یک از متغیرهای مورد استفاده (متغیرهای ایجادکننده تغییرات کاربری و پوشش اراضی) به‌عنوان عوامل ورودی به مدل، الگوهای کاربری و پوشش اراضی (تغییرات گذشته کاربری‌های اراضی به‌عنوان نقشه‌های پایه) و دو لایه محدودیت (برای مدل‌سازی جنگل‌زدایی و بازیابی جنگل)، الگوهای جنگل‌زدایی و بازیابی جنگل‌های سردشت پیش‌بینی شدند (شکل ۲). در این پژوهش سه سناریو و الگوی ورودی متفاوت از ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۶، شامل ۱۳۸۶-۱۳۷۶، ۱۳۹۶-۱۳۷۶ و ۱۳۹۶-۱۳۸۶ برای پیش‌بینی تغییرات جنگل‌زدایی و بازیابی جنگل‌های سردشت (درمجموع شش مدل) با استفاده از متغیرهای زمان اول

به‌عنوان ورودی مدل (یعنی ۱۳۷۶ و ۱۳۸۶) برای ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سال آینده استفاده شد.

در این پژوهش برای تولید داده‌های ورودی از عملگرهای فاصله و تراکم برای محاسبه فاصله هر سلول از نزدیک‌ترین طبقه کاربری اراضی و تراکم طبقه کاربری‌های کشاورزی و جنگل اطراف سلول مرکزی (با استفاده از تابع neighbourhood در نرم‌افزار ESRI) استفاده شد. برای تولید لایه‌های شیب و جهت نیز (با استفاده از ابزار Spatial Analyst در نرم‌افزار ESRI) از مدل رقومی ارتفاع داده‌های ۳۰ متری ماهواره ASTER استفاده شد. نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی سردشت برای سال‌های ۱۳۷۶، ۱۳۸۶ و ۱۳۹۶ نیز برای تولید نقشه تغییرات کاربری اراضی به‌عنوان خروجی هر مدل به دو طبقه جنگل و غیر جنگل طبقه‌بندی مجدد شدند (شکل ۳).

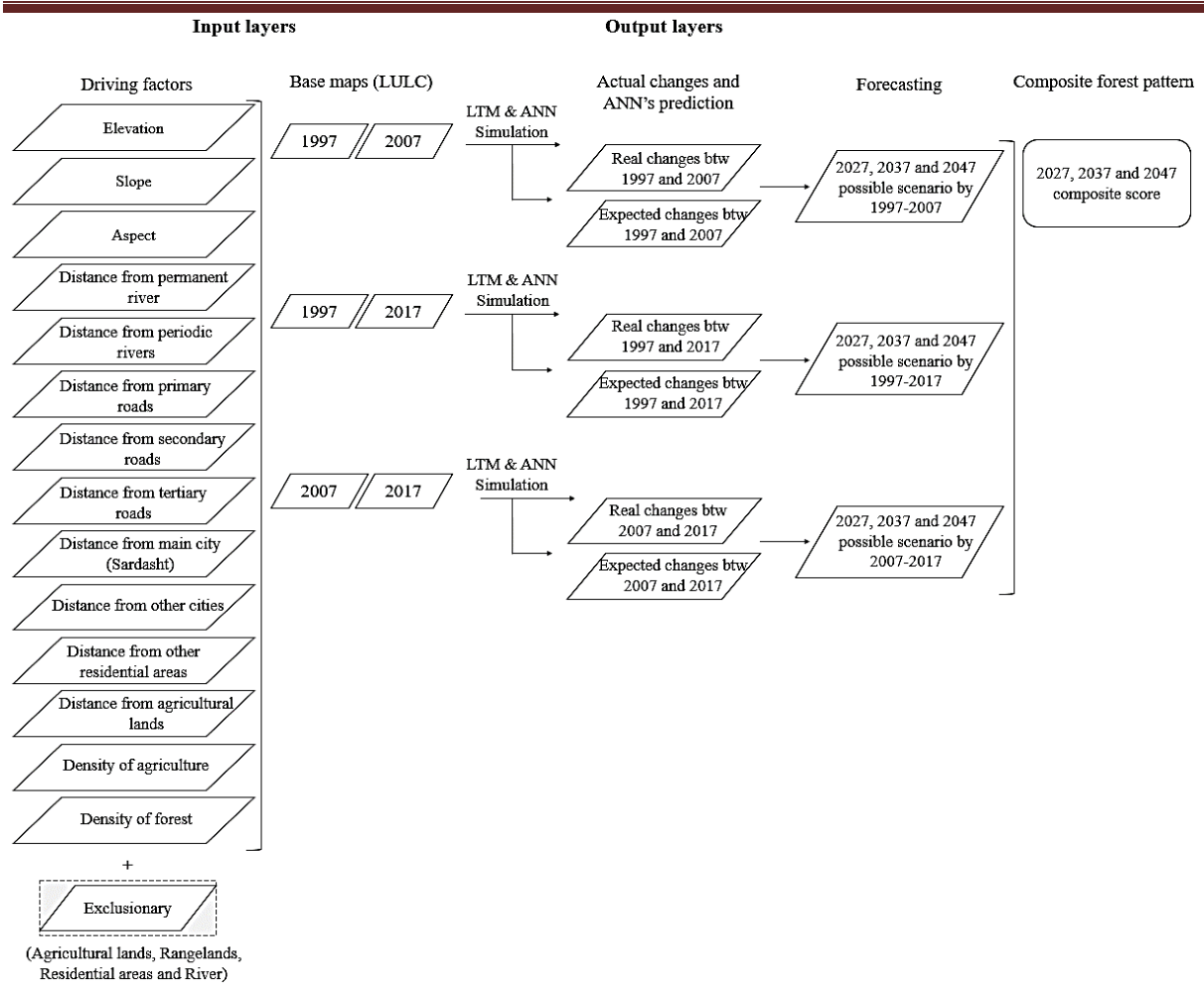
هر شش مدل برای مدل‌سازی جنگل‌زدایی و بازیابی جنگل‌های سردشت با استفاده از ۱۴ متغیر کاملاً یکسان برای سردشت به‌عنوان لایه‌های ورودی و نقشه تغییرات اراضی جنگلی بین بازه‌های زمانی ۱۳۷۶-۱۳۸۶، ۱۳۸۶-۱۳۹۶ و ۱۳۷۶-۱۳۹۶ به‌عنوان خروجی توسعه یافتند. پس از آماده‌سازی داده‌ها، شبکه عصبی آموزش داده شد و دوره‌های شبیه‌سازی برای هر کدام از دوره‌های زمانی اجرا شد. آموزش هر کدام از مدل‌های ANN در این پژوهش تا ۱۰۰۰۰۰۰ دور و در مدت زمان تقریبی یک هفته برای هر مدل انجام شد. پس از آموزش ANN's و تهیه نقشه واقعی تغییرات و محاسبه تعداد سلول‌های تغییر یافته، تست شبکه با توجه به نقشه‌های ورودی مورد سنجش قرار گرفت و بهترین دور با

بالاترین مقدار نرخ تطابق بین تغییرات واقعی رخ داده و شبیه‌سازی شده توسط مدل برای تولید نقشه تناسب و نقشه احتمال تغییرات و اجرای اعتبار سنجی مدل‌ها مورد استفاده قرار گرفت. در این پژوهش برای ارزیابی صحت ANN's از ترسیم منحنی ROC (یا AUC) حاصل از مقایسه نقشه‌های تغییرات واقعی و احتمال انتقال استفاده شد (Tayyebi et al., 2014; Pijanowski et al., 2006).

نتایج

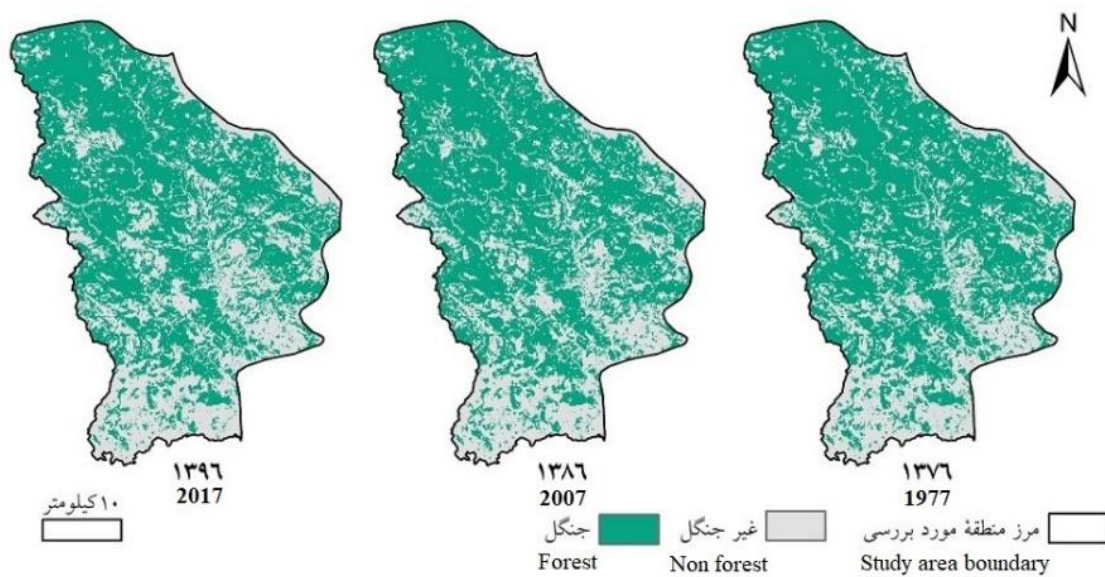
آشکار سازی تغییرات

جدول ۱ روند تغییرات کاربری‌های جنگل و غیر جنگل و مقدار تغییرات واقعی رخ داده در شهرستان سردشت را طی سال‌های مورد بررسی نشان می‌دهد. طی ۲۰ سال دوره زمانی مورد بررسی (۱۳۷۶ تا ۱۳۹۶) ۷۸۹۸/۵۸ هکتار از اراضی جنگلی کاسته شده و سطح اراضی جنگلی از ۹۱۳۳۵/۱۵ هکتار در سال ۱۳۷۶ به ترتیب به ۸۷۵۶۸/۱۱ و ۸۳۴۳۶/۵۷ هکتار در سال‌های ۱۳۸۶ و ۱۳۹۶ کاهش یافته است که با ادامه روند تخریب این اراضی، ۷۹۴۷/۴۵ هکتار به سطح اراضی غیر جنگلی افزوده شده است. نتایج مقدار تغییرات واقعی رخ داده نیز نشان داد به ترتیب ۱۷۶۴/۶۳، ۲۳۷۳/۵۷ و ۲۳۳۱/۹۹ هکتار بازیابی جنگل بین دوره‌های زمانی ۱۳۸۶-۱۳۷۶، ۱۳۹۶-۱۳۸۶ و ۱۳۹۶-۱۳۸۶ رخ داده است. این در حالی است که مقدار تخریب اراضی جنگلی برای این دوره‌ها به ترتیب برابر با ۵۵۷۴/۰۶، ۱۰۳۱۴/۶۳ و ۶۴۶۳/۵۳ هکتار بوده است.



شکل ۲- طرح مدل‌سازی LTM، شامل لایه‌های ورودی و خروجی (Newman et al., 2016)

Figure 2. LTM modeling scheme, including input and output layers (Newman et al., 2016)



شکل ۳- نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی شهرستان سردشت طی سال‌های مورد بررسی

Figure 3. Land use/cover maps of Sardasht County during the studied years

جدول ۱- تغییر سطح اراضی جنگلی و غیر جنگلی و مقدار تغییرات واقعی جنگل‌زدایی و بازیابی رخ داده به هکتار

Table 1. Changes in forest and non-forest lands and the amount of actual changes in deforestation and forest recovery per hectare

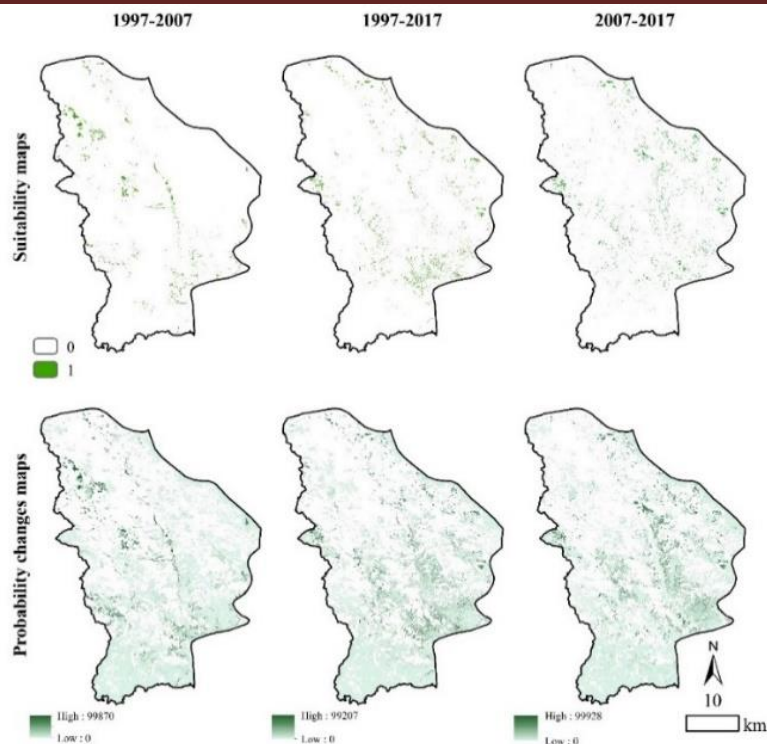
تغییرات واقعی (هکتار) Actual changes (ha)			تغییرات سطح (هکتار) Area changes (ha)				
۱۳۸۶-۹۶	۱۳۷۶-۹۶	۱۳۷۶-۸۶	دوره‌های زمانی	۱۳۹۶	۱۳۸۶	۱۳۷۶	سال
2007-2017	1977-2017	1977-2007	Time periods	2017	2007	1977	Year
2331.99	2373.57	1764.63	بازیابی جنگل Forest recovery	83436.57	87568.11	91335.15	جنگل Forest
6463.53	10314.63	5574.06	جنگل‌زدایی Deforestation	54986.58	50855.85	47039.13	غیر جنگل Non-forest

اجرای مدل LTM

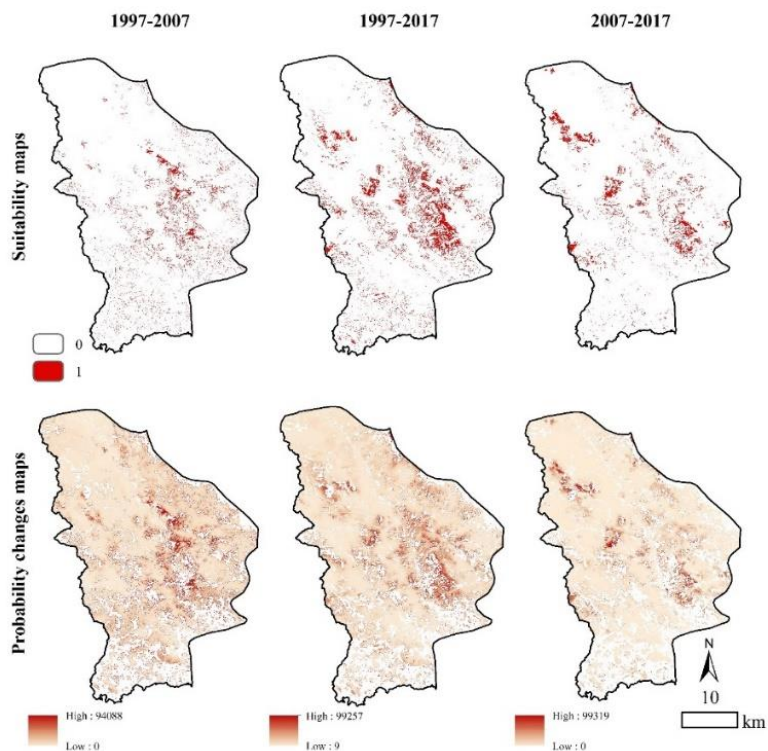
پس از اینکه کلیه عوامل مؤثر در شبیه‌سازی تغییرات اراضی جنگلی برای آموزش شبکه وارد شبکه‌های عصبی مصنوعی شدند، مقدار میانگین مربعات خطا (MSE) در حین آموزش شبکه مورد بررسی قرار گرفت. پس از پایداری MSE در هر شش شبکه، آموزش همه شبکه‌های عصبی مصنوعی در چرخه ۱۰۰۰۰۰ متوقف شد و تست شبکه انجام شد. نتایج به دست آمده از تست شبکه‌های عصبی مصنوعی نشان داد، در مدل‌سازی بازیابی جنگل‌های سردشت به ترتیب دوره‌های ۹۰۰۰۰، ۱۰۰۰۰۰ و ۵۰۰۰۰ و در مدل‌سازی جنگل‌زدایی سردشت دوره‌های ۵۰۰۰۰، ۸۰۰۰ و ۴۵۰۰۰ در سناریوهای اول، دوم و سوم بیشترین نرخ تطابق بین تغییرات واقعی رخ داده و شبیه‌سازی شده را به خود اختصاص داده‌اند، بنابراین این دوره‌ها به عنوان سیکل مناسب شبکه‌ها برای تولید نقشه تناسب، نقشه احتمال تغییرات، شبیه‌سازی و ارزیابی مدل مورد استفاده قرار گرفتند. شکل‌های ۴ و ۵ نقشه‌های تناسب و احتمال تغییرات را به ترتیب برای مدل‌سازی بازیابی جنگل و جنگل‌زدایی در منطقه سردشت برای هر یک از دوره‌های زمانی مورد بررسی نشان می‌دهد.

نتایج به دست آمده از محاسبه مقدار مشخصه عملکرد نسبی (ROC) برای هر یک از مدل‌های جنگل - زدایی و بازیابی جنگل‌ها طی دوره‌های زمانی مختلف نشان از برازش مناسب و عملکرد خوب مدل‌ها داشته است و تمامی مقادیر ROC مدل‌ها بیشتر از ۰/۸ به دست آمدند، به طوری که مدل‌سازی حاصل از سناریوی سوم برای بازیابی جنگل و جنگل‌زدایی بالاترین مقدار ROC را داشته است (به ترتیب ۰/۹۴ و ۰/۸۶) (شکل ۶).

پس از آموزش، تست، شبیه‌سازی تغییرات و بررسی نتایج ارزیابی مدل‌های مورد استفاده، تغییرات جنگل‌زدایی و بازیابی جنگل‌های سردشت برای سال‌های ۱۴۰۶، ۱۴۱۶ و ۱۴۲۶ با استفاده از همه مدل‌ها پیش‌بینی شد (شکل ۷ و ۸). نتایج حاصل از مدل‌های پیش‌بینی بازیابی اراضی جنگلی نشان داد بیشترین بازیابی جنگل در سال ۱۴۰۶ و ۱۴۱۶ توسط سناریوی اول به ترتیب به اندازه ۳۵۲۹/۲۶ و ۵۲۹۳/۸۹ هکتار و در سال ۱۴۲۶ توسط سناریوی دوم به اندازه ۷۱۲۰/۷۱ هکتار تخمین زده شده است (جدول ۲). نتایج حاصل از مدل‌ها در شکل ۸ و جدول ۲ نیز نشانگر افزایش روند جنگل‌زدایی طی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سال آینده در سردشت است، به طوری که بالاترین مقدار جنگل‌زدایی توسط سناریوی اول و کمترین مقدار جنگل‌زدایی نیز توسط سناریوی دوم تخمین زده شد.



شکل ۴- نقشه‌های تناسب و احتمال تغییرات مدل‌سازی بازیابی جنگل‌ها در دوره‌های موردبررسی در سردشت
 Figure 4. Suitability and probability changes maps of forest recovery modeling in studied time periods in Sardasht



شکل ۵- نقشه‌های تناسب و احتمال تغییرات مدل‌سازی جنگل‌زدایی در دوره‌های موردبررسی در سردشت
 Figure 5. Suitability and probability changes maps of deforestation modeling in studied time periods in Sardasht

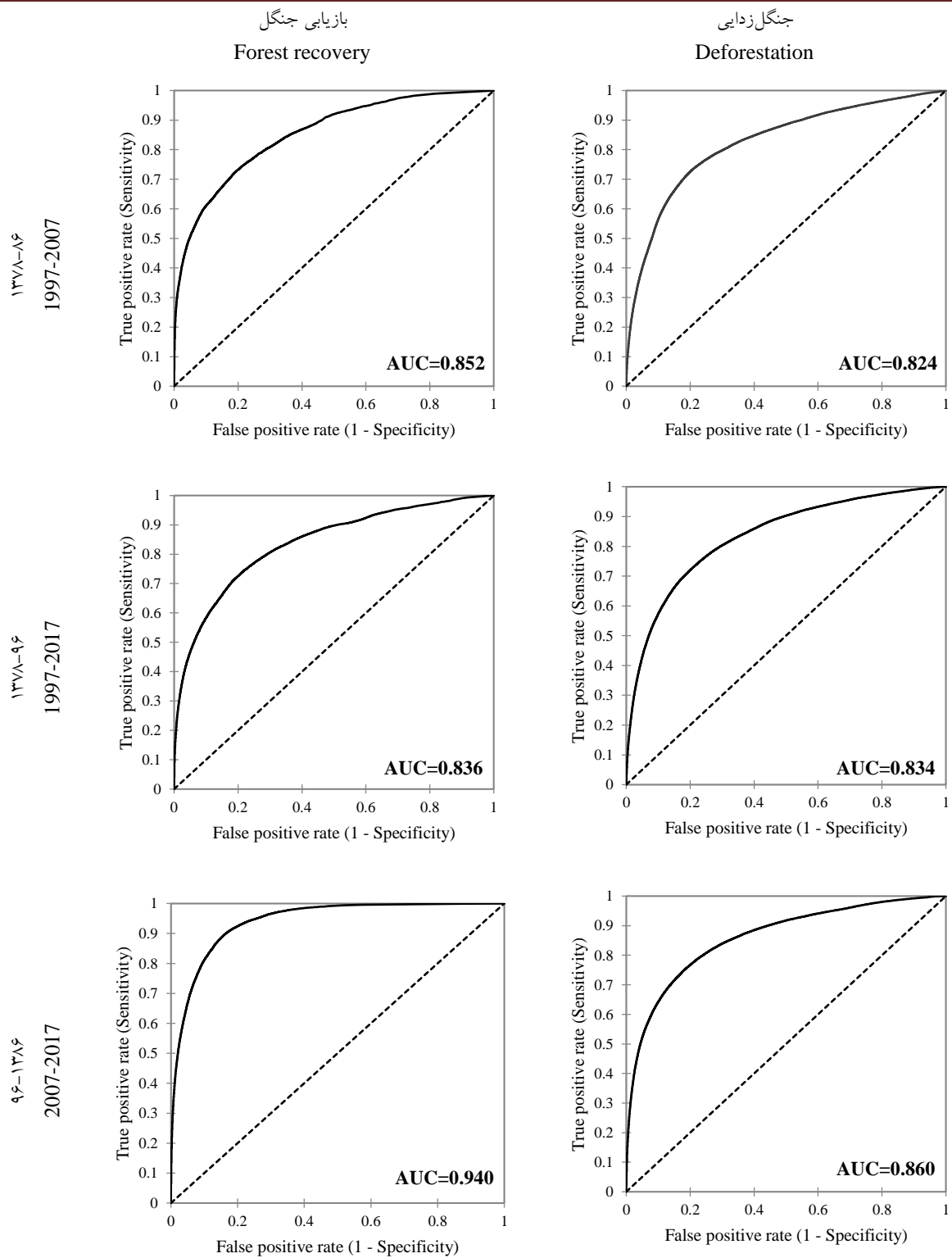
برای سال‌های ۱۴۰۶، ۱۴۱۶ و ۱۴۲۶، به ترتیب ۰/۰۲ درصد (۲۳/۴۹ هکتار)، ۰/۰۵ درصد (۶۶/۶۰ هکتار) و ۰/۱۲ درصد (۱۵۹/۷۵ هکتار) از منطقه بین مدل‌سازی دوره‌های زمانی ۱۳۷۶-۱۳۸۶، ۱۳۹۶-۱۳۷۶ و ۱۳۹۶-۱۳۸۶ مشترک بوده است. در مدل‌سازی جنگل‌زدایی نیز به ترتیب ۱/۰۷ درصد (۱۴۸۲/۹۳ هکتار)، ۲/۵۶ درصد (۳۵۳۲/۵۰ هکتار) و ۷/۴۷ درصد (۶۱۸۱/۹۲ هکتار) از کل منطقه برای سال‌های ۱۴۰۶، ۱۴۱۶ و ۱۴۲۶ مشترک بوده است (جدول ۳). همچنین بر اساس نتایج مشخص شد همپوشانی ۰/۹۸، ۲/۱۶ و ۳/۴۳ درصدی برای بازیابی جنگل و ۲/۸۴، ۵/۴۰ و ۷/۵۷ درصدی برای جنگل‌زدایی به ترتیب برای سال‌های ۱۴۰۶، ۱۴۱۶ و ۱۴۲۶ از هر ترکیبی از دو سناریوی احتمال وجود دارد که نشان‌دهنده پتانسیل نسبتاً بالای این مناطق برای بازیابی و جنگل‌زدایی در آینده است (شکل ۹).

به هر سه سناریوی احتمالی ۱۴۰۶، ۱۴۱۶ و ۱۴۲۶ دو مقدار یک (برای سلول‌های جنگل‌زدایی یا بازیابی جنگل) و صفر (عدم وجود جنگل‌زدایی یا بازیابی جنگل) اختصاص یافت. برای هر کدام از مدل‌ها در دوره‌های زمانی ۱۳۷۶-۱۳۸۶، ۱۳۹۶-۱۳۷۶ و ۱۳۹۶-۱۳۸۶، این سه سناریو با یکدیگر تلفیق شدند و مناطقی که هر سه سناریوها با یکدیگر همپوشانی داشتند امتیاز سه، مناطقی که دو سناریو همپوشانی داشتند امتیاز دو و مناطقی که تنها یک سناریو وجود داشت امتیاز یک تعلق گرفت. تلفیق موقعیت مکانی نقشه‌های پیش‌بینی مدل‌ها نشان داد مدل‌سازی جنگل‌زدایی و بازیابی اراضی جنگلی با توجه به ورودی‌های مدل‌ها در دوره‌های زمانی مختلف تغییر می‌کند. بر اساس نتایج به دست آمده همپوشانی مکانی مشترک کمتری بین مدل‌ها برای سال‌های ۱۴۰۶، ۱۴۱۶ و ۱۴۲۶ در کل سطح منطقه وجود داشته است. به طوری که در مدل‌سازی بازیابی جنگل

جدول ۲- مقدار سطح جنگل‌زدایی و بازیابی جنگل برای سال‌های ۱۴۰۶، ۱۴۱۶ و ۱۴۲۶ در دوره‌های مختلف زمانی

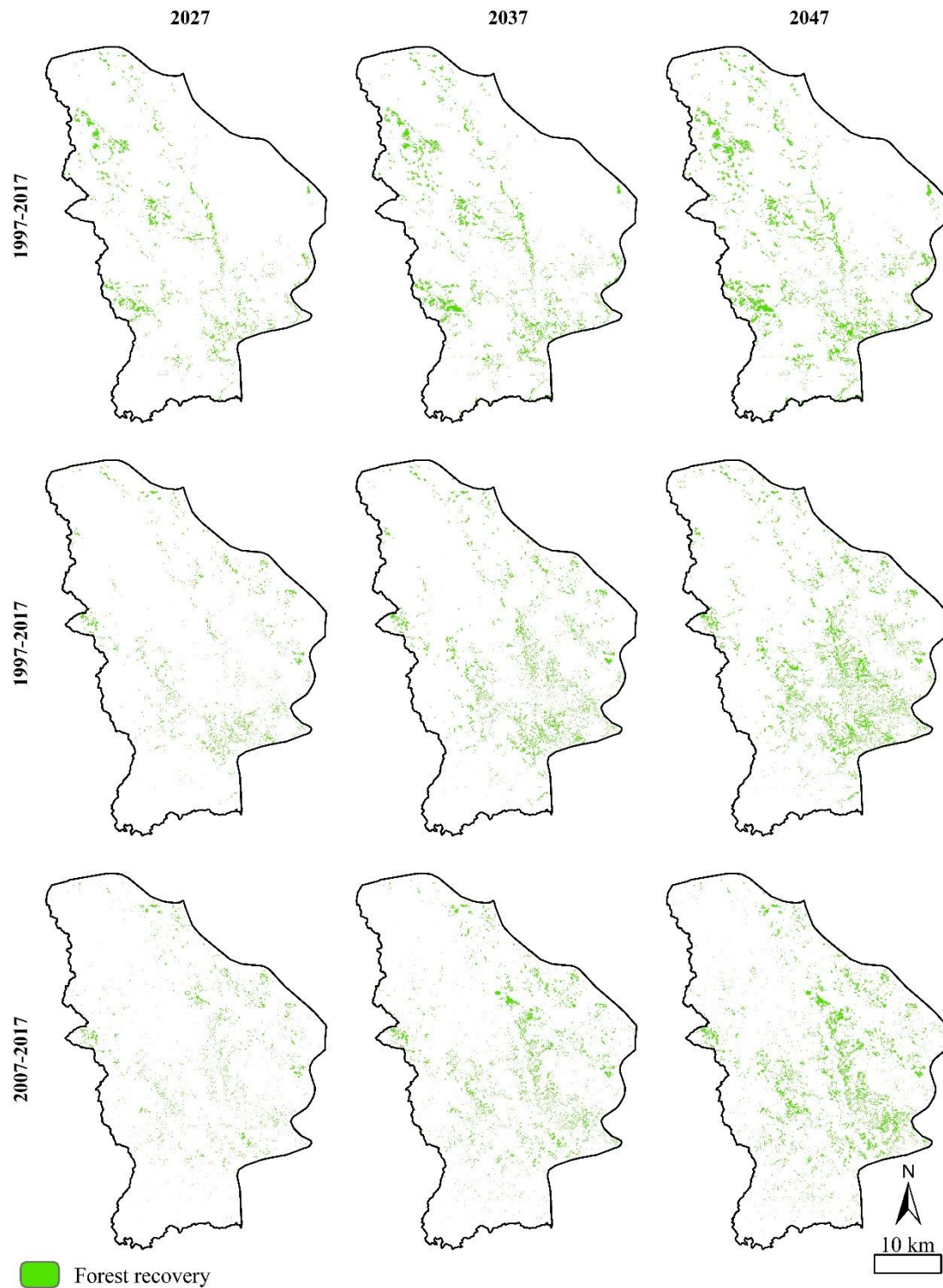
Table 2. Forest recovery and deforestation area (hectare) for 2027, 2037 and 2047 in different time periods

۱۴۲۶	۱۴۱۶	۱۴۰۶	دوره‌های زمانی	مدل
2047	2037	2027	Time periods	
7058.52	5293.89	3529.36	1997-2007	بازیابی جنگل Forest recovery
7120.71	4747.14	2373.57	1997-2017	
6995.97	4663.98	2331.90	2007-2017	
22296.24	16722.18	11148.12	1997-2007	جنگل‌زدایی Deforestation
15471.99	10314.63	5157.36	1997-2017	
19390.59	12927.06	6463.53	2007-2017	



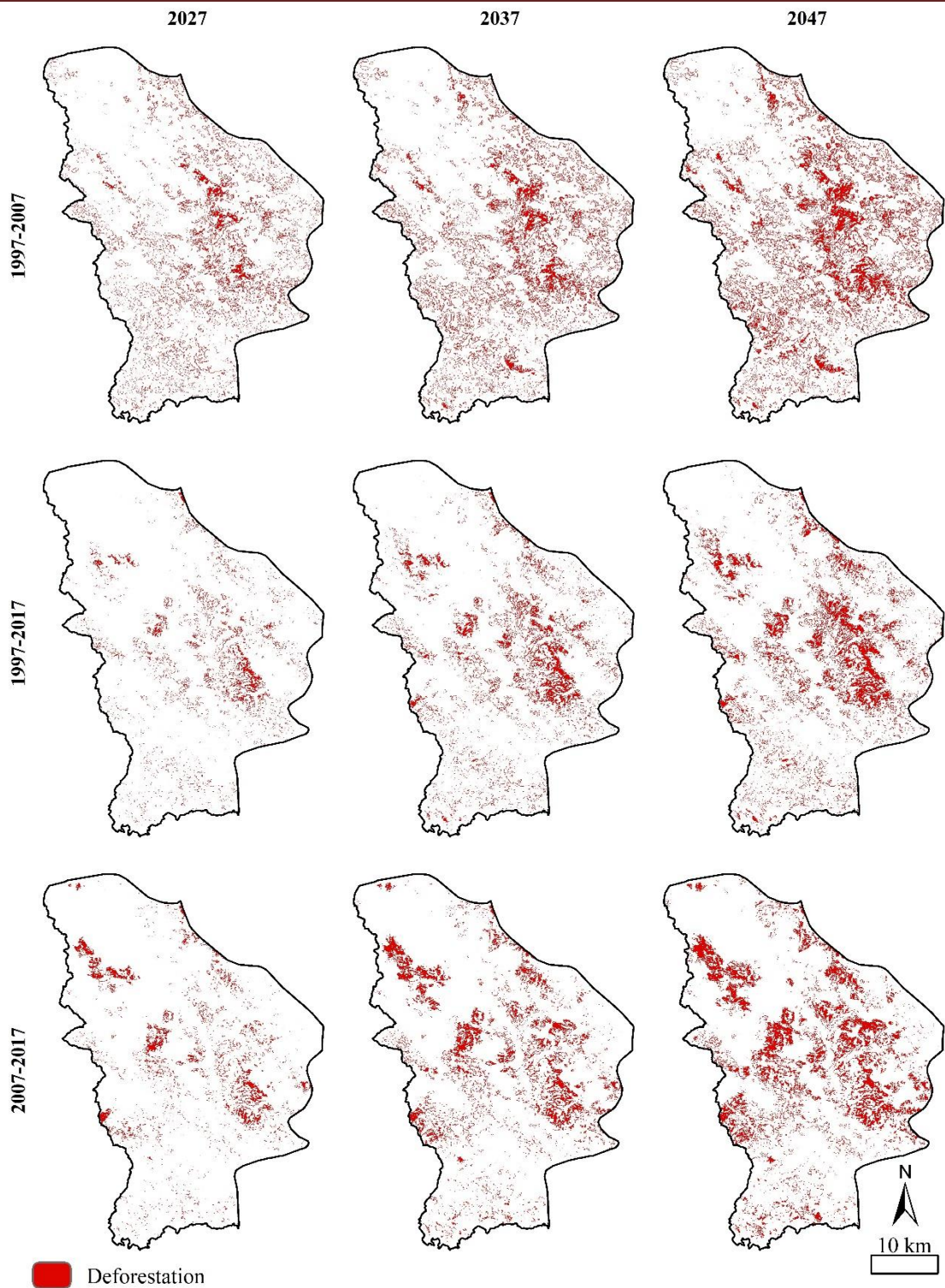
شکل ۶- منحنی‌های مشخصه عملکرد نسبی (ROC) یا مساحت زیر منحنی‌ها (AUC) برای مدل‌سازی بازیابی جنگل‌ها و جنگل‌زدایی در دوره‌های زمانی مورد بررسی

Figure 6. Relative Operating Characteristic (ROC) curves for modeling deforestation and forest recovery in studied time periods



شکل ۷- نقشه‌های سناریوهای احتمالی بازیابی اراضی جنگلی سردشت در سال‌های ۱۴۰۶، ۱۴۱۶ و ۱۴۲۶ بر اساس مدل-سازي سال‌های ۱۳۷۶-۱۳۸۶، ۱۳۷۶-۱۳۹۶ و ۱۳۹۶-۱۳۸۶

Figure 6. Possible scenario maps of forest recovery patterns by 2027, 2037 and 2047 in Sardasht based on modeling different time periods



شکل ۸- نقشه‌های سناریوهای احتمالی جنگل‌زدایی سردشت در سال‌های ۱۴۰۶، ۱۴۱۶ و ۱۴۲۶ بر اساس مدل‌سازی سال-های ۱۳۸۶-۱۳۷۶، ۱۳۹۶-۱۳۷۶ و ۱۳۸۶-۱۳۹۶

Figure 8. Possible scenario maps of deforestation patterns by 2027, 2037 and 2047 in Sardasht based on modeling different time periods

جدول ۳- مقدار سطح همپوشانی همه سناریوهای احتمالی ۱۴۰۶، ۱۴۱۶ و ۱۴۲۶ برای پیش‌بینی جنگل‌زدایی و بازیابی جنگل

Table 3. Overlap area of all three possible scenarios for 2027, 2037 and 2047 forest recovery and deforestation forecasting

جنگل‌زدایی Deforestation			بازیابی جنگل Forest recovery			سطح Area	ارزش ترکیبی Composite score
۱۴۲۶ 2047	۱۴۱۶ 2037	۱۴۰۶ 2027	۱۴۲۶ 2047	۱۴۱۶ 2037	۱۴۰۶ 2027		
103851.50	112752.50	122300.90	122074.80	126603.80	131345.10	هکتار ha	0
75.15	81.60	88.51	88.34	91.62	95.05	درصد Percentage	
17687.52	14431.05	10479.60	11202.66	8521.74	5466.15	هکتار ha	1
12.8	10.44	7.58	8.11	6.17	3.96	درصد Percentage	
10462.68	7467.57	3920.22	4746.42	2991.51	1348.92	هکتار ha	2
7.57	5.40	2.84	3.43	2.16	0.98	درصد Percentage	
6181.92	3532.50	1482.93	159.75	66.60	23.49	هکتار ha	3
7.47	2.56	1.07	0.12	0.05	0.02	درصد Percentage	

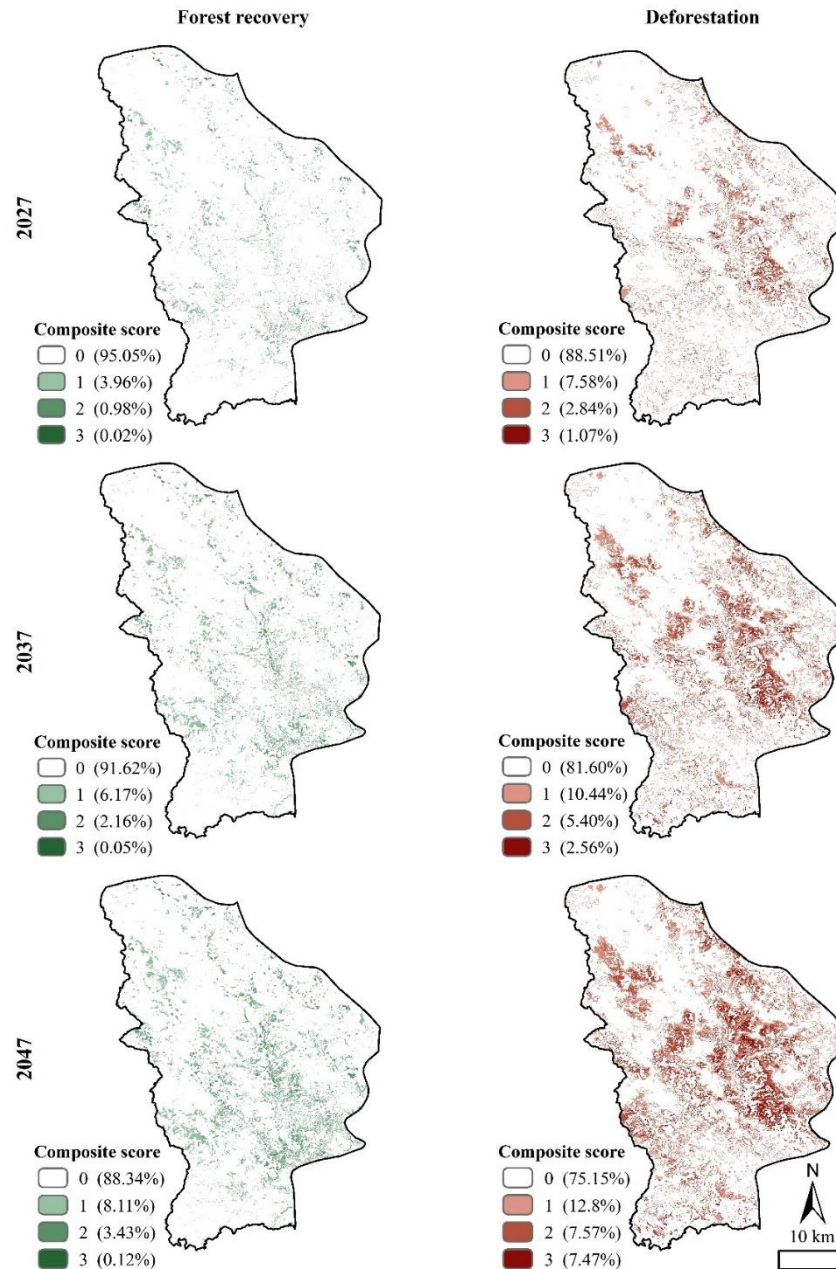
بحث

ادامه این روند و فشارهای ناشی از رشد جمعیت موجب توسعه گسترده اراضی غیرجنگلی مانند اراضی کشاورزی و مسکونی برای پاسخگویی به تقاضا برای غذا و مسکن در داخل زیستگاه‌های طبیعی شده (Kabba and Li, 2011) و این تغییر کاربری‌ها سبب جنگل‌زدایی و تشدید تکه‌تکه شدن زیستگاه‌های جنگلی باقی‌مانده در منطقه خواهد شد (Riutta et al., 2014). برای بررسی و پیش‌بینی روند این تغییرات در اراضی جنگلی شهرستان سردشت از مدل LTM به-عنوان یک مدل مناسب در پیش‌بینی تغییرات آینده (Pijanowski et al., 2002; Newman et al., 2016; Tayyebi et al., 2014) استفاده شد و با انتخاب کلیه

نتایج این پژوهش نشان داد تغییرات چشم‌گیری در پوشش اراضی جنگلی شهرستان سردشت طی ۲۰ سال اخیر (۱۳۷۶-۱۳۹۶) رخ داده است. به‌طوری‌که ۷۸۹۸/۵۸ هکتار از وسعت کاربری جنگل کاسته شده و ۷۹۴۷/۴۵ هکتار بر سطح اراضی غیرجنگلی در منطقه افزوده شده است (جدول ۱). مقایسه تغییرات پوشش اراضی رخ داده (جدول ۱) نیز در منطقه نشان داد طی سال‌های ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۶ تنها ۲۳۷۳/۵۷ هکتار از اراضی جنگلی بازیابی و احیا شده است. این در حالی است که طی همین دوره ۱۰۳۱۴/۶۳ هکتار جنگل‌زدایی در منطقه رخ داده و به سایر کاربری‌های منطقه تبدیل شده است.

کاهش خطا در شبکه، تغییرات با استفاده از سه سناریو و دوره‌های زمانی مختلف شامل ۱۳۸۶-۱۳۷۶، ۱۳۹۶-۱۳۷۶ و ۱۳۹۶-۱۳۸۶ برای ۱۰ (۱۴۰۶)، ۲۰ (۱۴۱۶) و ۳۰ (۱۴۲۶) سال آینده در سردشت پیش‌بینی شد

عوامل مؤثر در جنگل‌زدایی و بازیابی جنگل در گذشته و عواملی که می‌توانند این تغییرات را در آینده نیز تحت تأثیر قرار دهند، پس از انجام فرایندهای یادگیری، تست شبکه‌های عصبی مصنوعی و شبیه‌سازی تغییرات با



شکل ۹- همپوشانی هر سه سناریو برای سال‌های ۱۴۰۶، ۱۴۱۶ و ۱۴۲۶ پیش‌بینی بازیابی و جنگل‌زدایی جنگل‌ها در سردشت

Figure 9. Overlap of all three scenarios for 2027, 2037 and 2047 forest recovery and deforestation predictions in Sardasht

از منطقه برای سال‌های ۱۴۰۶، ۱۴۱۶ و ۱۴۲۶ توسط هر سه سناریو همپوشانی مکانی مشترک داشته‌اند (جدول ۳). این نتایج به این معنی است که توسط هر سه سناریوی احتمالی پیش‌بینی، ۷/۴۷ درصد از جنگل‌های سردشت در موقعیت‌های یکسان و مشابه طی ۳۰ سال آینده تخریب خواهند شد و این مناطق پتانسیل بالایی را برای جنگل‌زدایی نشان می‌دهند. از این‌رو افزایش برنامه‌های نظارتی در این مناطق می‌تواند باعث توقف و یا کاهش هرچه بیشتر تخریب اراضی جنگلی شوند.

مدل‌های کاربری و پوشش اراضی به درک الگوهای موجود در تغییرات سیستم‌های کاربری اراضی کمک می‌کنند و می‌توانند برای پیش‌بینی تغییرات پوشش اراضی در آینده مورد استفاده قرار گیرند (Tayyebi and Pijanowski, 2014). طیف گسترده‌ای از مدل‌های کاربری و پوشش اراضی برای فرایندها و مقیاس‌های مختلف توسعه پیدا کرده‌اند (Matthews et al., 2007). مدل LTM که از قابلیت‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی و سیستم اطلاعات جغرافیایی بهره‌مند است، توانایی یادگیری الگوهای جنگل‌زدایی و بازیابی جنگل و در نتیجه پیش‌بینی مناسب آنها را بر اساس پارامترهای مؤثر توسعه دارد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از واسنجی مدل‌های ANN با استفاده از آماره ROC برای هر یک از مدل‌های جنگل‌زدایی و بازیابی جنگل‌ها طی سناریوهای زمانی مختلف، نشان از برازش مناسب و عملکرد مطلوب مدل‌های ANN در دوره‌های زمانی کوتاه‌تر و نزدیک به سال‌های انتهایی دوره زمانی مورد پژوهش داشته است. پژوهش‌های دیگری نیز اجرای مناسب ANNs در مدل‌سازی در دوره‌های زمانی کوتاه‌مدت را نشان داده‌اند (Tayyebi and Pijanowski, 2014; Tayyebi et al., 2014). در فواصل زمانی کوتاه‌مدت ممکن است محرک‌های مکانی

نتایج حاصل از مدل‌سازی‌های جنگل‌زدایی و بازیابی اراضی جنگلی با مقدار ROC بالای ۰/۸ برای همه مدل‌ها نشان‌دهنده افزایش قطعی تخریب اراضی جنگلی و فعالیت‌های جنگل‌زدایی در سردشت طی سه دهه آینده است. به‌طوری‌که توسط سناریوی اول، به ترتیب ۱۱۱۴۸/۱۲، ۱۶۷۲۲/۱۸ و ۲۲۲۹۶/۲۴ هکتار، توسط سناریوی دوم، ۵۱۵۷/۳۶، ۱۰۳۱۴/۶۳ و ۱۵۴۷۱/۹۹ هکتار و توسط سناریوی سوم، ۶۴۶۳/۵۳، ۱۲۹۲۷/۰۶ و ۱۹۳۹۰/۵۹ هکتار جنگل‌زدایی در مقایسه با ۳۵۲۹/۲۶، ۵۲۹۳/۸۹ و ۷۰۵۸/۵۲ هکتار توسط سناریوی اول، ۲۳۷۳/۵۷، ۴۷۴۷/۱۴ و ۷۰۵۸/۵۲ هکتار توسط سناریوی دوم و ۲۳۳۱/۹۰، ۴۶۶۳/۹۸ و ۶۹۹۵/۹۷ هکتار بازیابی جنگل توسط سناریوی سوم برای سال‌های ۱۴۰۶، ۱۴۱۶ و ۱۴۲۶ پیش‌بینی شد (شکل‌های ۷ و ۸، جدول ۲). حداکثر و حداقل مقدار پیش‌بینی شده جنگل‌زدایی تا ۳۰ سال آینده (۱۴۲۶)، به ترتیب به‌اندازه ۲۲۲۹۶/۲۴ و ۱۵۴۷۱/۹۹ هکتار، نشان‌دهنده کاهش ۱۸/۵۴ تا ۲۶/۷۲ درصدی اراضی جنگلی شهرستان سردشت و تبدیل آن به اراضی غیرجنگلی نسبت به سال ۱۳۹۶ داشته است. این نتایج عواقب بالقوه تغییرات در آینده را پیش‌بینی کرد، بنابراین می‌توان سیاست‌های حفاظتی را به‌گونه‌ای توسعه داد که اثرات منفی این تغییرات کاهش پیدا کنند. به‌کارگیری و توسعه مناسب این سیاست‌ها باعث افزایش کارایی تصمیم‌گیری و توانایی پاسخ دادن به‌موقع به تغییرات می‌شود (Heathcote, 1998). پژوهش Pijanowski et al. (2002) نیز نشان داد به‌واسطه توسعه شهری در آینده (به‌عنوان مهم‌ترین محرک تغییرات)، اراضی جنگلی شرق دریاچه میثیگان با بیشترین میزان کاهش سطح روبرو خواهد شد.

نتایج همپوشانی مکانی مدل‌های پیش‌بینی جنگل‌زدایی نیز نشان داد به ترتیب ۱/۰۷، ۲/۵۶ و ۷/۴۷ درصد

برای کشف مناطقی که ریسک بالایی از تبدیل را به سایر کاربری‌های اراضی دارند به دست آید. ANNs ابزار مهمی برای مدل‌سازی ساختارهای غیرخطی بوده چراکه در آن تمام اطلاعات و محرک‌های زیست‌محیطی و اقتصادی - اجتماعی در منطقه که در آن فعالیت‌های جنگل‌زدایی رخ می‌دهد، یکپارچه می‌شوند و به‌طور مستقیم ارتباط غیرخطی بین متغیرهای توضیحی و مستقل را در نظر می‌گیرد (Mas et al., 2004; Beygi et al., 2019). این مورد می‌تواند به مدیران و تصمیم‌گیرندگان منابع طبیعی در سازمان‌های مربوطه نسبت به اتخاذ تصمیم‌های هوشمندانه در جهت پیشگیری از تخریب اراضی کمک کند تا با اتخاذ استراتژی‌های مدیریتی مناسب در جلوگیری از افزایش روند تخریب و حفاظت از این منابع نقش بسزایی داشته باشند. بدین ترتیب پیش‌بینی تغییرات سطح اراضی جنگلی، مسائل و مشکلات فراروی منابع طبیعی را برای مدیران یادآوری می‌کند و بایستی برای کاهش تخریب اراضی جنگلی، گسترش بیش‌ازحد اراضی مسکونی و کشاورزی محدود شوند.

References

- Beygi Heidarlou, H.; Shafiei, A. B.; Erfanian, M.; Tayyebi, A.; Alijanpour, A., Armed conflict and land-use changes: Insights from Iraq-Iran war in Zagros forests. *Forest Policy and Economics* **2020a**, *118*, 102246.
- Beygi Heidarlou, H.; Shafiei, A. B.; Erfanian, M.; Tayyebi, A.; Alijanpour, A., Underlying driving forces of forest cover changes due to the implementation of preservation policies in Iranian northern Zagros forests. *International Forestry Review* **2020b**, *22* (2), 241-256.
- Beygi Heidarlou, H.; Shafiei, A. B.; Erfanian, M.; Tayyebi, A.; Alijanpour, A., Effects of preservation policy on land use changes in Iranian Northern Zagros forests. *Land use policy* **2019**, *81*, 76-90.
- Gessesse, B.; Bewket, W.; Bräuning, A., Model-based characterization and monitoring of

و روابط متقابل کمتری بین آنها وجود داشته باشد که بر تغییرات کاربری اراضی تأثیرگذار باشند، درحالی‌که در دوره‌های زمانی بلندمدت، ممکن است محرک‌های بالقوه بیشتری در تغییرات کاربری اراضی وجود داشته باشند که توسط مدل موردتوجه قرار نگرفته باشند (Tayyebi et al., 2014). این نتایج مطابق با پژوهش‌های دیگری است که عملکرد ANN را نسبت به روش‌های سنتی‌تر مانند مدل‌های رگرسیون، به‌طور مکرر گزارش داده‌اند (Lek-Ang et al., 1999; Mas et al., 2004).

نتیجه‌گیری کلی

اگرچه پیش‌بینی تغییرات با استفاده از مدل‌های جنگل‌زدایی تجربی موجب ایجاد عدم اطمینان کامل از وقوع آنها در آینده می‌شود، اما نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش برای ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سال آینده نشان داد که ANN قادر به کشف تغییرات و روند احتمالی جنگل‌زدایی و بازیابی جنگل در آینده است و با دقت بالایی می‌تواند توسط توسعه ANNs در دوره‌های زمانی کوتاه‌مدت نه برای کشف و استخراج موقعیت مکانی دقیق جنگل‌زدایی‌ها و بازیابی جنگل در آینده، بلکه

- runoff and soil erosion in response to land use/land cover changes in the Modjo watershed, Ethiopia. *Land degradation & development* **2015**, *26* (7), 711-724.
- Heathcote, I. W., Integrated watershed management: Principles and practices. John Wiley & Sons, Inc. New York **1998**.
- Hostert, P.; Kuemmerle, T.; Prishchepov, A.; Sieber, A.; Lambin, E. F.; Radeloff, V. C., Rapid land use change after socio-economic disturbances: the collapse of the Soviet Union versus Chernobyl. *Environmental Research Letters* **2011**, *6* (4), 045201.
- Houet, T.; Loveland, T. R.; Hubert-Moy, L.; Gaucherel, C.; Napton, D.; Barnes, C. A.; Saylor, K., Exploring subtle land use and land cover changes: a framework for future landscape studies. *Landscape Ecol.* **2010**, *25* (2), 249-266.

- Kabba, V. T. S.; Li, J., Analysis of land use and land cover changes, and their ecological implications in Wuhan, China. *Journal of Geography and Geology* **2011**, 3 (1), 104-118.
- Lek-Ang, S.; Deharveng, L.; Lek, S., Predictive models of collembolan diversity and abundance in a riparian habitat. *Ecol. Model.* **1999**, 120 (2-3), 247-260.
- Mahmoudi, M.; Alijanpour, A.; Banj Shafiei, A.; Zargharan, M. R.; Mansouri, A., Effects of preservation plan on quantitative and qualitative characteristics of the mature stand, regeneration and extension of *Loranthus europaeus* in Salas-e Babajani County Forest. *Journal of Forest Research and Development* **2021**, 7(2), 183-197.
- Mas, J.-F.; Puig, H.; Palacio, J. L.; Sosa-López, A., Modelling deforestation using GIS and artificial neural networks. *Environ. Model. Software* **2004**, 19 (5), 461-471.
- Matthews, R. B.; Gilbert, N. G.; Roach, A.; Polhill, J. G.; Gotts, N. M., Agent-based land-use models: a review of applications. *Landscape Ecol.* **2007**, 22 (10), 1447-1459.
- Newman, G.; Lee, J.; Berke, P., Using the land transformation model to forecast vacant land. *Journal of Land Use Science* **2016**, 11 (4), 450-475.
- Pijanowski, B. C.; Brown, D. G.; Shellito, B. A.; Manik, G. A., Using neural networks and GIS to forecast land use changes: a land transformation model. *Computers, environment and urban systems* **2002**, 26 (6), 553-575.
- Pijanowski, B. C.; Hyndman, D.; Shellito, B. A. In *The application of the land transformation, groundwater flow and solute transport models for michigan's grand traverse bay watershed*, Proceedings of the National American Planning Association Meeting, New Orleans, LA, USA, 2001.
- Pijanowski, B. C.; Tayyebi, A.; Doucette, J.; Pekin, B. K.; Braun, D.; Plourde, J., A big data urban growth simulation at a national scale: configuring the GIS and neural network based land transformation model to run in a high performance computing (HPC) environment. *Environ. Model. Software* **2014**, 51, 250-268.
- Pijanowski, B.; Alexandridis, K.; Mueller, D., Modelling urbanization patterns in two diverse regions of the world. *Journal of Land Use Science* **2006**, 1 (2-4), 83-108.
- Riutta, T.; Slade, E. M.; Morecroft, M. D.; Bebber, D. P.; Malhi, Y., Living on the edge: quantifying the structure of a fragmented forest landscape in England. *Landscape Ecol.* **2014**, 29 (6), 949-961.
- Salehi, P.; Banj Shafiei, A.; Barin, M.; Khezri, Kh., Effect of surface fire on dynamic of some chemico-physical properties of forest soil, Sardasht, West Azarbayjan. *Journal of Forest Research and Development* **2020**, 6(3), 395-410.
- Tayyebi, A. H.; Tayyebi, A.; Khanna, N., Assessing uncertainty dimensions in land-use change models: using swap and multiplicative error models for injecting attribute and positional errors in spatial data. *Int. J. Remote Sens.* **2014**, 35 (1), 149-170.
- Tayyebi, A.; Pekin, B. K.; Pijanowski, B. C.; Plourde, J. D.; Doucette, J. S.; Braun, D., Hierarchical modeling of urban growth across the conterminous USA: developing meso-scale quantity drivers for the Land Transformation Model. *Journal of Land Use Science* **2013**, 8 (4), 422-442.
- Tayyebi, A.; Pijanowski, B. C., Modeling multiple land use changes using ANN, CART and MARS: Comparing tradeoffs in goodness of fit and explanatory power of data mining tools. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* **2014**, 28, 102-116.
- Tayyebi, A.; Pijanowski, B. C.; Tayyebi, A. H., An urban growth boundary model using neural networks, GIS and radial parameterization: An application to Tehran, Iran. *Landscape Urban Plann.* **2011**, 100 (1-2), 35-44.
- Veldkamp, A.; Lambin, E. F., Predicting land-use change. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **2001**, 85, 1-11.
- Živković, Ž.; Mihajlović, I.; Nikolić, D., Artificial neural network method applied on the nonlinear multivariate problems. *Serbian journal of management* **2009**, 4 (2), 143-155.

Forecasting deforestation and forest recovery using Land Transformation Model (LTM) in Iranian Zagros forests

H. Beygi Heidarlou¹, A. Banj Shafiei^{*2}, M. Erfanian³, A. Tayyebi⁴ and A. Alijanpour⁵

1- Phd. of Forest Science, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, I. R. Iran. (hadibeygi@gmail.com)

2- Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, I. R. Iran. (a.banjshafiei@urmia.ac.ir)

3- Associate Professor, Department of Rangelands and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Urmia University, I. R. Iran. (m.erfanian@urmia.ac.ir)

4- Geospatial Data Scientist, ESRI, Redland, CA 92373, United States. (amin.tayyebi@gmail.com)

5- Associate Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, I. R. Iran. (a.alijanpour@urmia.ac.ir)

Received: 19.09.2021 Accepted: 30.10.2021

Abstract

Land use changes and its patterns in spatial and temporal scales occur in a non-linear way. Therefore, to predict the potential and negative effects of these changes on forest ecosystem services in future, nonlinear tools such as Artificial Neural Networks (ANNs) are needed. In this study for forecasting deforestation and recovery of Sardasht forests for 10, 20 and 30 years later, Land Transformation Model (LTM) based on ANNs and GIS was used. For this purpose, three different scenarios including time periods of 1997-2007, 1997-2017 and 2007-2017 were used, and deforestation and forest recovery of Sardasht using 14 variables for 2027, 2037 and 2047 were predicted. Results showed that over 20-year studied time period (1997 to 2017) despite 2372.57 ha recovery of Sardasht forests, 10314.63 ha deforestation occurred. Deforestation and forest recovery modeling by all three scenarios with good Receiver Operating Characteristic curve (or ROC curve) (more than 0.8) for all scenarios, show a definite and increasing deforestation process in Sardasht over the next three decades, so based on the 1997-2007 scenario, it is anticipated that 22296.24 ha of forests in the region will be destroyed over the next 30 years. The results of this research can be used for proper conservation planning and increasing regulatory programs in areas with high degradation potential.

Keywords: Forest recovery, Deforestation, Sardasht, Land Transformation Model (LTM), Modeling.

* Corresponding author

Tel: +984431942388