

مدل سازی تغییرات پوشش جنگل برای شناسایی مناطق مطلوب برای اجرای پروژه های REDD+ (بررسی موردی: شهرستان لردگان)

سحر دلپسند^۱، رحیم ملک نیا^{۲*} و حامد نقوی^۳

۱- دانشجوی دکتری جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران. (Sahar.delpasand@yahoo.com)

۲- دانشیار، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران. (maleknia.r@lu.ac.ir)

۳- استادیار، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران. (Naghavi.ha@lu.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۲۰

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۸/۰۲

چکیده

در چندین دهه اخیر، کاهش چشمگیری در پوشش جنگل های زاگرس رخ داده است. در همین رابطه، در این پژوهش، بررسی تغییرات پوشش جنگل شهرستان لردگان واقع در استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از نقشه های پوشش جنگل تولید شده از سری ماهواره های لندست ۵ و ۸ متعلق به سال های ۱۳۷۷، ۱۳۸۷ و ۱۳۹۷ انجام شد. سپس مدل سازی پتانسیل انتقال پوشش جنگل به مناطق غیر جنگل با استفاده از دو مدل شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون لجستیک انجام شد و برای اعتبارسنجی از آماره های مشخصه عملکرد نسبی و عدد شایستگی استفاده شد. در آخر با استفاده از هم پوشانی نقشه های احتمال جنگل زدایی و منابع کربن، مناطق مطلوب برای پروژه های REDD+ شناسایی شدند. نتایج آشکار سازی تغییرات نشان داد که طی سال های ۱۳۸۷-۱۳۷۷ و ۱۳۹۷-۱۳۸۷ به ترتیب ۱۷۲۵۶ و ۲۰۵۵۳ هکتار از پوشش جنگل تخریب شد. نتایج اعتبارسنجی نشان داد که مدل رگرسیون لجستیک با مقدار مشخصه عملکرد نسبی برابر ۰/۹۵ و عدد شایستگی ۱۹/۰۱ درصد عملکرد بهتری از شبکه عصبی مصنوعی داشت. همچنین، براساس نقشه هم پوشانی منابع کربن و احتمال جنگل زدایی، مناطقی با احتمال جنگل زدایی زیاد و مقدار کربن بالاتر از ۷۰ تن در هکتار برای REDD+ پیشنهاد شدند. یافته های این پژوهش نشان می دهد که با استفاده از روش شناسی ارائه شده، می توان به شناسایی مناطق در معرض جنگل زدایی پرداخت و از انتشار گازهای گلخانه ای به اتمسفر جلوگیری کرد.

واژه های کلیدی: جنگل زدایی، مدل سازی پتانسیل انتقال، پروژه REDD+، شهرستان لردگان.

مقدمه

در طی سال‌های گذشته، جنگل‌ها به‌عنوان یکی از اکوسیستم‌های ارزشمند در تعدیل تغییرات اقلیمی جهان، تحت تأثیر تغییرات شدید کاربری اراضی قرار گرفته‌اند. در همین راستا، جلوگیری از جنگل‌زدایی به‌عنوان راهکاری برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و تعدیل تغییرات اقلیمی در سطح ملی و بین‌المللی همواره مورد توجه قرار گرفته است (Wani et al., 2015). در چند سال اخیر، پروژه کاهش انتشارات ناشی از جنگل‌زدایی و تخریب جنگل یا REDD+ (Reducing emissions from deforestation and forest degradation) به‌عنوان رویکردی مدیریتی برای کاهش اثرات منفی تخریب جنگل‌ها و افزایش ترسیب کربن در مقیاس‌های ملی، استانی و ناحیه‌ای مطرح شده است (Parsamehr et al., 2020). پروژه REDD+ در راستای طرح اقدام بالی (Bali Action Plane)، تحت عنوان مصوبه‌ای در سیزدهمین دوره‌ی کنفرانس اعضای سران (COP-13) به کنوانسیون تغییرات اقلیمی سازمان ملل متحد (UNFCCC) اعلام شد. این پروژه بیان می‌کند که برای تعدیل تغییرات اقلیمی، نیاز به یک رویکرد جامع شامل اقدام‌های سیاسی و انگیزش‌های مثبت در ارتباط با کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و جنگل‌زدایی در کشورهای در حال توسعه است (UNFCCC, 2008). Parsameh and Gholamalifard, 2016). در واقع، پروژه‌های REDD+ یک فرصت منحصربه‌فرد برای کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای در مقیاس وسیع با هزینه‌های معقول است. هدف پروژه‌های REDD+، افزایش ترسیب کربن در مناطق با تغییرات شدید کاربری‌های اراضی و جنگل‌زدایی است (Atela et al., 2014). در راستای اجرای این پروژه‌ها، تمامی عوامل مهم تخریب پوشش جنگل شناسایی و از ادامه فعالیت آن‌ها جلوگیری می‌شود (Albers and Robinson, 2013).

2013). امروزه بسیاری از کشورهای تحت تأثیر تغییرات شدید کاربری اراضی و به‌خصوص جنگل‌زدایی به عضویت برنامه همکاری ملل متحد در زمینه پروژه‌های REDD+ درآمده‌اند تا بتوانند به احیای جنگل‌ها و تعدیل تغییرات اقلیمی کمک کنند (Parsamehr et al., 2020).

پایش تغییرات پوشش جنگل و شناسایی مناطق در معرض جنگل‌زدایی یکی از اهداف پروژه‌های REDD+ است که امروزه به‌واسطه کاربردهای سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی این امر میسر است (Lopez and Frohn, 2017). همچنین پایش تغییرات برای آگاهی از روند جنگل‌زدایی در آینده و سیاست‌گذاری‌های مرتبط با پروژه‌های REDD+، شبیه‌سازی و پیش‌بینی تغییرات سطح جنگل‌ها حائز اهمیت است. در این زمینه مدل‌های تغییر کاربری اراضی مانند مدل‌ساز تغییر سرزمین (LCM) ابزار مناسبی برای دستیابی به این هدف هستند. مدل‌ساز تغییر سرزمین شامل سه روش شبکه عصبی پرسپترون چندلایه (Multi-layer perceptron neural network)، رگرسیون لجستیک و یادگیری برمبنای نمونه وزنی مشابهت (Similarity Weighted Instance-based Learning) است که مهم‌ترین تفاوت بین آن‌ها، رویکرد مورد استفاده برای مدل‌سازی تجربی پتانسیل انتقال است.

تاکنون پژوهش‌های بسیاری با استفاده از LCM برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی تغییرات پوشش جنگل انجام شده است و در برخی از پژوهش‌ها به پتانسیل مناطق برای اجرای پروژه REDD+ نیز اشاره شده است. Kim (2010) در پژوهشی به مدل‌سازی تغییرات پوشش جنگل منطقه Chiquitania در بولیوی با استفاده از مدل‌های LCM و GEOMOD و کاربرد آن‌ها برای پروژه‌های REDD+ پرداخت و نتایج بررسی نشان داد

انجام شد که نتایج این پژوهش‌ها نشان داد که این مناطق در صورت حفاظت، قابلیت بالایی در راستای افزایش ترسیب کربن خواهند داشت (Parsameh and Gholamalifard, 2016; Parsamehr et al., 2019). جنگل‌های زاگرس در غرب کشور نیز با دارا بودن منابع کربن، طی سالیان اخیر در معرض تغییرات شدید کاربری اراضی قرار گرفته‌اند و پژوهش‌های انجام‌شده حاکی از کاهش سطح پوشش جنگل‌های زاگرس است (Pato et al., 2017; Naseri et al., 2019; Nozari et al., 2020). در پژوهشی توسط Daneshmandparsa et al. (2018) به کاهش ۱۰۵۳۵۸ هکتار از سطح جنگل‌های استان چهارمحال و بختیاری طی سال‌های ۱۳۷۳ تا ۱۳۹۴ اشاره شده است. در نتیجه با توجه به روند کاهش جنگل‌ها در سطح استان چهارمحال و بختیاری و همچنین پیامدهای مطلوب حاصل از اجرای پروژه‌های REDD+، مسأله این پژوهش شبیه‌سازی تغییرات پوشش جنگل با استفاده از LCM و شناسایی مناطق دارای پتانسیل برای اجرای پروژه REDD+ در شهرستان لردگان است که با توجه به نتایج موفقیت‌آمیز حاصل از شبیه‌سازی اجرای پروژه‌های REDD+ در جنگل‌های هیرکانی، این پژوهش برای اولین بار، به استفاده از LCM و نتایج حاصل از آن به‌عنوان معیاری برای شناسایی مناطق مطلوب برای اجرای پروژه‌های REDD+ در جنگل‌های زاگرس می‌پردازد.

مواد و روش‌ها

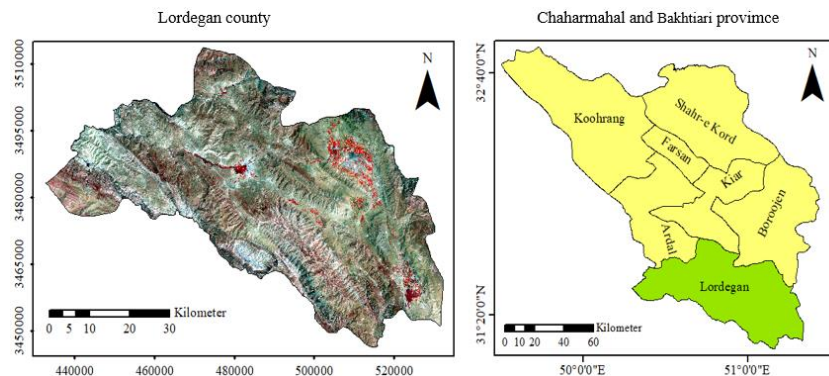
منطقه مورد بررسی

منطقه مورد بررسی در این بررسی، شهرستان لردگان با وسعت معادل ۳۲۴۷ کیلومتر مربع و دارای ۴ شهر ۲۹۹ روستا است که در مختصات جغرافیایی ۳۱°۰۸'۳۹" تا ۳۱°۴۵'۵۸" عرض شمالی و ۵۰°۱۷'۱۵" تا ۵۱°۲۰'۳۹" طول شرقی قرار دارد (شکل ۱). این

که LCM عملکرد بهتری را براساس آماره‌های ارزیابی صحت داشته است. (Eckert et al. (2011) در پژوهشی به پیش‌بینی تغییرات پوشش جنگل‌های ماداگاسکار با استفاده از تصاویر ماهواره اسپات و روش LCM تا سال ۲۰۲۰ پرداختند و مناطقی با بیشترین مقدار جنگل‌زدایی را به‌عنوان نواحی مطلوب برای پروژه REDD+ توصیه کردند. (Reddy et al. (2017) از LCM برای شبیه‌سازی تغییرات پوشش جنگل‌های هندوستان استفاده کردند و مقدار کاهش سطح پوشش جنگل‌ها را آشکار ساختند همچنین نشان دادند که جنگل‌های با ارتفاع کمتر و دسترسی بیشتر آسیب‌پذیرتر هستند. (Mahdavi et al. (2018) به مدل‌سازی تخریب پوشش جنگل‌های زاگرس با استفاده از تصاویر لندست ۸ و ۱ روش رگرسیون لجستیک پرداختند که نتایج پژوهش اشاره به کاهش ۱۰۳۳۲ هکتار مساحت پوشش جنگل طی ۲۷ سال داشت و مهم‌ترین عامل در تخریب جنگل متغیر جهت و شیب بود. (Parsamehr et al. (2019) با استفاده از تصاویر ETM+ و روش LCM به پیش‌بینی تغییرات پوشش جنگل در استان مازندران و لزوم استفاده از نتایج آن در راستای اجرای پروژه‌های REDD+ اشاره کردند. همچنین در دیگر بررسی، Parsamehr et al. (2020) به مقایسه سه رویکرد مدل‌سازی موجود در LCM در جنگل‌های هیرکانی پرداختند و بیان داشتند که براساس ارزیابی صحت مدل، رویه شبکه عصبی مصنوعی بهترین عملکرد را داشته است. مرور پژوهش‌ها نشان می‌دهد که استفاده از LCM به‌عنوان رویکردی برای مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات پوشش جنگل بسیار مورد توجه قرار گرفته است. تاکنون، چند بررسی در جنگل‌های هیرکانی واقع در استان مازندران در ارتباط با پتانسیل اجرای پروژه‌های REDD+ در راستای جلوگیری از انتشار گازهای گلخانه‌ای و کاهش روند جنگل‌زدایی در آینده

و تخریب شده‌ای است که گونه غالب موجود در آن بلوط است. همچنین گونه‌های درختی دیگر مانند زبان گنجشک، پسته وحشی، زالزالک، گردو، بادام، انجیر کوهی نیز در این استان دیده می‌شود (Spatial planning studies of Chaharmahal and Bakhtiari province, 2018).

شهرستان دارای اقلیمی نیمه مرطوب معتدل با زمستان‌های نیمه سرد است. میانگین سالانه دما در استان لردگان حدود ۱۵ درجه سانتی‌گراد و متوسط ارتفاع برابر با ۲۰۰۹ متر است. بیش از ۵۰ درصد از پوشش جنگلی استان چهارمحال و بختیاری در شهرستان لردگان واقع شده است که دارای جنگل‌های نسبتاً تنک



شکل ۱- منطقه مورد بررسی (شهرستان لردگان)، تصویر رنگی کاذب (باندهای ۳، ۴ و ۵) مربوط به سنجنده OLI لندست ۸ برای سال ۱۳۹۷.

Figure 1. Study area (Lordegan county), False color composite image (Bands 3, 4, 5) of OLI sensor of Landsat 8 for the year 1397.

شد. در ادامه برای شناسایی هرچه بهتر پدیده‌ها به صورت بصری و به خصوص پوشش‌های جنگلی از تصاویر رنگی کاذب باندهای مختلف استفاده شد. برای طبقه‌بندی تصاویر و تهیه نقشه‌های پوشش جنگل، اقدام به طبقه‌بندی نظارت‌شده با روش حداکثر احتمال شد. برای انتخاب تعداد نقاط زمینی در راستای ارزیابی صحت نقشه‌های تهیه شده، از روش تئوری احتمال دو جمله‌ای استفاده شد که این روش برای نقشه‌های کاربری اراضی با دو طبقه مناسب است (رابطه ۱). در فرمول ارائه شده در رابطه ۱، N حداقل تعداد نقاط زمینی مورد نیاز، مقدار z بیانگر سطح اطمینان مدنظر، p معادل با صحت مورد انتظار، q برابر با $(1 - p)$ و E نشان‌دهنده مقدار خطای قابل قبول است (McCoy, 2005). براساس رابطه ۱، برای دستیابی به صحت مورد انتظار ۸۵ درصد با خطای قابل قبول ۵ درصد و

مراحل انجام پژوهش

مراحل اجرای این پژوهش متشکل از سه بخش اصلی شامل تهیه نقشه‌های پوشش جنگل، مدل‌سازی تغییرات توسط LCM و شناسایی مناطق مناسب برای اجرای پروژه‌های REDD+ است (شکل ۲).

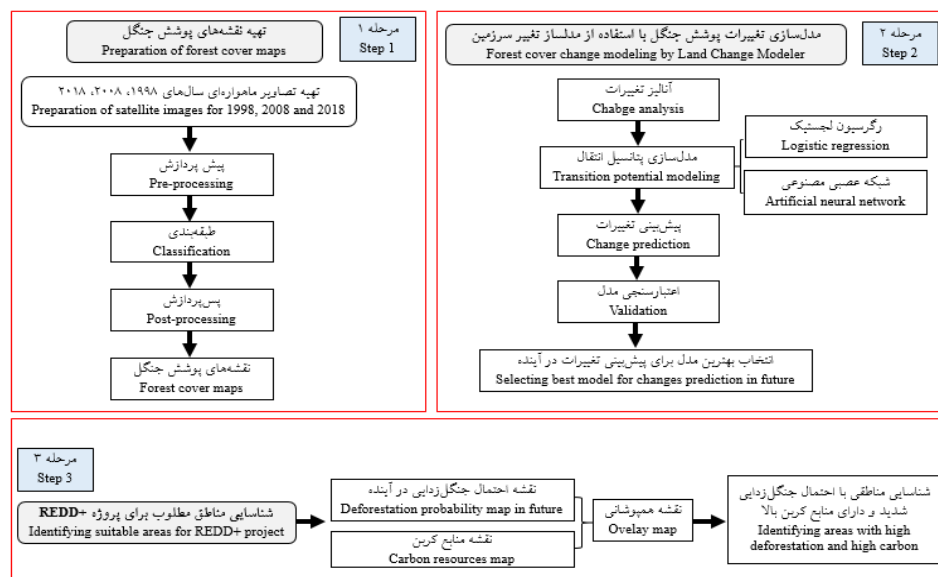
تهیه نقشه‌های پوشش جنگل

برای تهیه نقشه‌های پوشش جنگل مربوط به سال‌های ۱۳۷۷، ۱۳۸۷ و ۱۳۹۷ از تصاویر ماهواره‌ای لندست در سایت USGS استفاده شد. تصاویر سنجنده TM ماهواره لندست ۵ و تصاویر چندطیفی سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ برای سال‌های موردنظر انتخاب شدند (جدول ۱). پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای در نرم‌افزار ENVI نسخه ۵/۳/۱ انجام شد. برای تصحیحات رادیومتریک از الگوریتم Radiometric Calibration و برای تصحیحات اتمسفری از دستور FLAASH استفاده

نقشه‌های تهیه‌شده پوشش جنگل سال‌های ۱۳۷۷، ۱۳۸۷ و ۱۳۹۷ در نظر گرفته شد و با به‌کارگیری ماتریس خطا صحت نقشه‌ها تعیین شد (Khoi and Murayama, 2011).

$$N = \frac{z^2 (p) (q)}{E^2} \quad \text{رابطه (۱)}$$

همچنین سطح اطمینان ۹۵ درصد (Z تقریباً برابر با ۲) به حداقل ۲۰۴ نقطه زمینی نیاز است. بسیاری از پژوهش‌های سنجش‌ازدور اشاره داشتند که مقدار صحت ۸۵ درصد برای نقشه‌های موضوعی حاصل از روش‌های طبقه‌بندی مطلوب است (Jensen, 2015) در این پژوهش با استفاده از یک طرح نمونه‌برداری تصادفی، ۲۰۴ نقطه واقعیت زمینی برای ارزیابی صحت



شکل ۲- مراحل انجام پژوهش

Figure 2. Steps of research conducting

جدول ۱- اطلاعات تصاویر ماهواره‌ای

Table 1. Information of satellite images

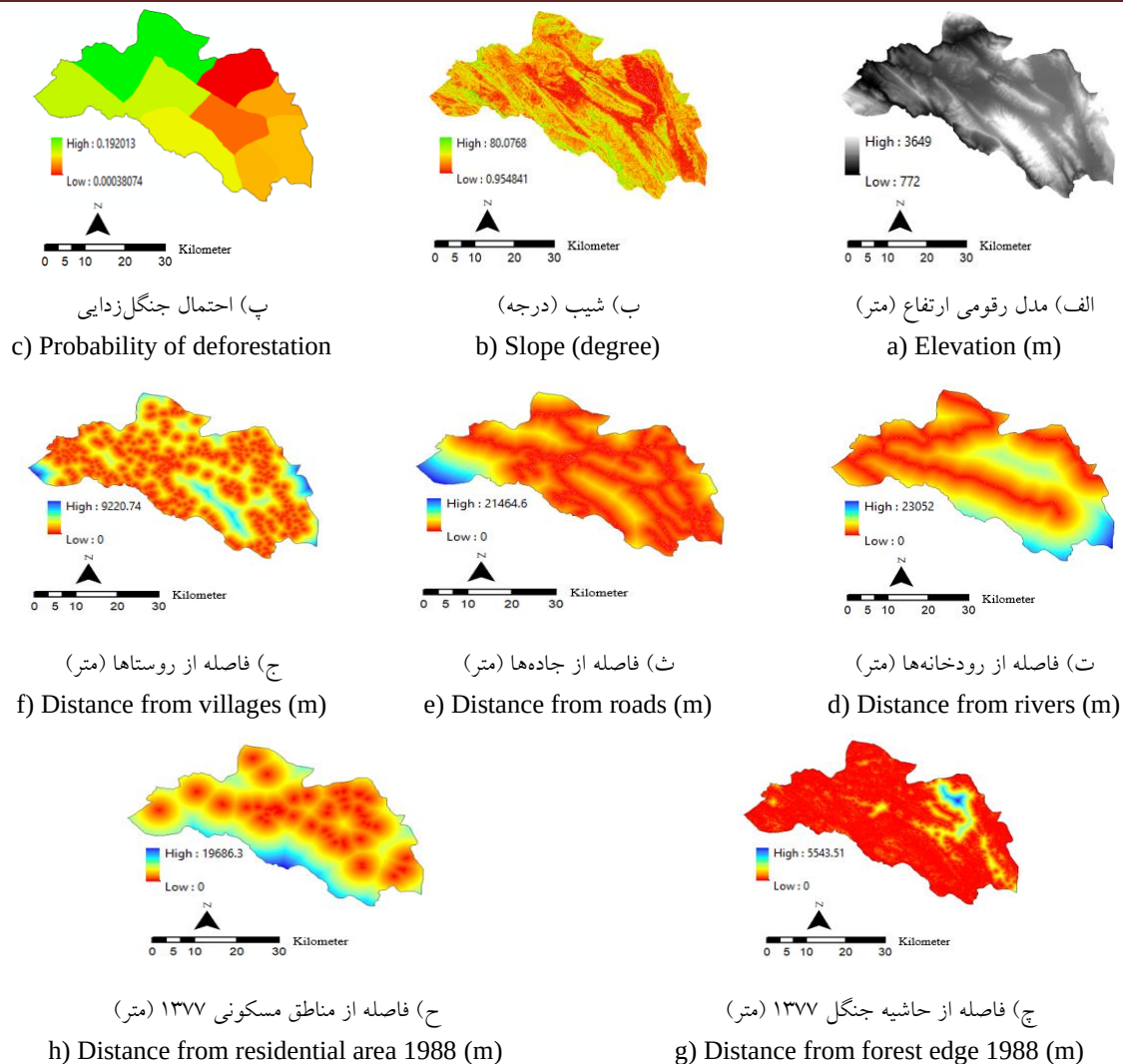
ماهواره	سنجنده	اندازه پیکسل	تاریخ	ردیف/گذر
Satellite	Sensor	Pixel size	Date	Path/row
لندست ۵	TM	30 m	۱۳۷۷/۰۳/۱۳ 03.06.1988	164/38
لندست ۵	TM	30 m	۱۳۸۷/۰۳/۰۹ 29.05.2008	164/38
لندست ۸	OLI	30 m	۱۳۹۷/۰۷/۲۴ 16.10.2018	164/38
Landsat 5				
Landsat 5				
Landsat 8				

برای بررسی و مدل‌سازی تغییرات پوشش جنگل استفاده شد. همچنین بارزسازی تغییرات ایجادشده پوشش جنگل در بازه‌های زمانی مورد بررسی (۱۳۸۷-)

مدل‌سازی تغییرات پوشش جنگل با استفاده از LCM در این پژوهش از مدل‌ساز تغییر سرزمین (Land Change Modeler) تعبیه‌شده در نرم‌افزار TerrSet

اندازه پیکسل 30×30 متر تبدیل شدند. برای تولید نقشه احتمال جنگل‌زدایی در مرز هر دهستان از ابزار Evidence of likelihood transformation در نرم‌افزار TerrSet استفاده شد که به کمک این ابزار می‌توان احتمال جنگل‌زدایی را در بازه زمانی دلخواه ایجاد کرد که در این پژوهش نقشه احتمال جنگل‌زدایی در هر دهستان طی بازه زمانی ۱۳۸۷-۱۳۷۷ تهیه شد (Parsamehr et al., 2020). ارتباط بین تغییر پوشش جنگل به‌عنوان متغیر وابسته و متغیرهای مستقل توسط ضریب کرامر تعیین شد. ضریب کرامر آماره‌ای بین صفر تا یک است که مقدار یک، بیانگر مقدار همبستگی بالا بین تغییرات پوشش جنگل و متغیرهای مستقل است. پس از تعیین ارتباط بین متغیر وابسته و مستقل، مدل‌سازی پتانسیل انتقال برای زیرمدل انتقال از مناطق جنگل به غیرجنگل با استفاده از دو روش شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون لجستیک انجام شد. در ارتباط با مدل رگرسیون لجستیک باید بیان کرد که یک مدل برآورد تجربی است که ارتباط بین مجموعه‌ای از متغیرهای مستقل و یک متغیر وابسته را ارزیابی می‌کند (Parsamehr et al., 2020). در مدل رگرسیون، متغیر وابسته باید از نوع بولین (یک و صفر) باشد؛ به این معنا که طبقه یک، تغییرات پوشش جنگل طی دو بازه زمانی است و طبقه صفر مناطقی که ثابت مانده‌اند. معمولاً برای آزمون برازش و معناداری آماری رگرسیون لجستیک از دو آماره منحنی مشخصه عملکرد نسبی و $Pseudo-R^2$ استفاده می‌شود. اگر مقدار آماره $Pseudo-R^2$ برابر با یک باشد، بیانگر برازش کامل مدل و اگر صفر باشد یعنی هیچ نوع رابطه‌ای وجود ندارد. اگر مقدار آن برابر $0/2$ و بزرگتر باشد نشان‌دهنده یک برازش به‌نسبت خوب برای مدل است (Clark and Hosking, 1986).

۱۳۷۷ و ۱۳۸۷-۱۳۹۷) توسط بخش بررسی تغییرات در LCM انجام شد. با استفاده از روش‌های مدل‌سازی تجربی پتانسیل انتقال می‌توان مقدار احتمال انتقال از یک نوع پوشش سرزمین به نوع دیگر را به‌کمک متغیرهای مستقل نشان داد (Parsamehr et al., 2020). بر اساس پژوهش‌های انجام‌شده، متغیرهای مانند فاصله از جاده‌ها، فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از حاشیه جنگل، فاصله از روستاها، شیب و ارتفاع برای مدل‌سازی پتانسیل انتقال تغییرات پوشش جنگل به غیرجنگل استفاده شده‌اند (Kumar et al., 2014). در این پژوهش با استفاده از نقشه‌های پوشش جنگل مربوط به سال‌های ۱۳۷۷ و ۱۳۸۷ (دوره واسنجی) و به‌کمک متغیرهای مستقل مانند فاصله از رودخانه‌ها، فاصله از جاده‌ها، فاصله از نقاط روستایی، فاصله از مناطق مسکونی سال ۱۳۷۷، فاصله از حاشیه جنگل سال ۱۳۷۷، شیب، ارتفاع و احتمال جنگل‌زدایی در هر دهستان، مدل‌سازی پتانسیل انتقال انجام شد (شکل ۳). از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری برای استخراج جاده‌ها، رودخانه‌ها، نقاط روستایی و همچنین از مدل رقومی ارتفاع SRTM ۳۰ متر برای تولید نقشه شیب استفاده شد. لازم به ذکر است که برای تهیه نقشه‌های جاده‌ها، رودخانه‌ها و نقاط روستایی از داده‌های رقومی دیگر سازمان‌ها مانند وزارت نیرو و سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور نیز به‌عنوان داده‌های کمکی استفاده شد و برای افزایش صحت داده‌ها رقومی‌سازی بصری نیز در برخی موارد انجام شد. برای اعمال یکسری از پیش‌پردازش‌ها از نرم‌افزار ArcGIS نسخه ۱۰/۶ استفاده شد. در همین راستا، برای تمامی نقشه‌ها با استفاده از ابزار Project سیستم مختصات WGS-1984-UTM39 تعیین شد. برای ایجاد نقشه‌های فاصله از ابزار Euclidean Distance استفاده شد و سپس لایه‌ها با استفاده از ابزار Project Raster به



شکل ۳- نقشه متغیرهای مستقل

Figure 3. Maps of independent variables

شایستگی استفاده شد (Kim, 2010). آماره مشخصه عملکرد نسبی در دامنه صفر تا یک قرار دارد که ارزش یک نشان‌دهنده توافق مکانی کامل و ارزش ۰/۵ نشان‌دهنده توافق تصادفی است (Pontius and Schneider, 2001). عدد شایستگی ارزشی بین صفر تا ۱۰۰ درصد دارد که ارزش صد بیانگر شباهت کامل نقشه پیش‌بینی‌شده با واقعیت زمین است و ارزش صفر بیانگر عدم شباهت است. در آخر براساس آماره‌های ذکرشده عملکرد هر دو روش مدل‌سازی بررسی شد و آن مدل که صحت بالاتری داشت برای پیش‌بینی

پیش‌بینی تغییرات پوشش جنگل و اعتبارسنجی مدل با استفاده از زنجیره مارکف، احتمال تغییر هر کاربری به کاربری دیگر محاسبه می‌شود (Haibo et al., 2011) که در این پژوهش با استفاده از تغییرات اتفاق‌افتاده مناطق جنگل به غیرجنگل طی سال‌های ۱۳۸۷-۱۳۷۷، تغییرات برای سال ۱۳۹۷ با استفاده از مدل پیش‌بینی سخت اجرا شد. در رویکرد پیش‌بینی سخت برخلاف تئوری فازی، به هر پیکسل تنها یک کاربری یا یک تغییر نسبت داده می‌شود. برای ارزیابی صحت مدل‌سازی از آماره‌هایی مانند مشخصه عملکرد نسبی (ROC) و عدد

جنگل‌زدایی، مناطقی با مقدار کربن بالا و در معرض جنگل‌زدایی شدید برای اجرای پروژه‌های REDD+ شناسایی شدند.

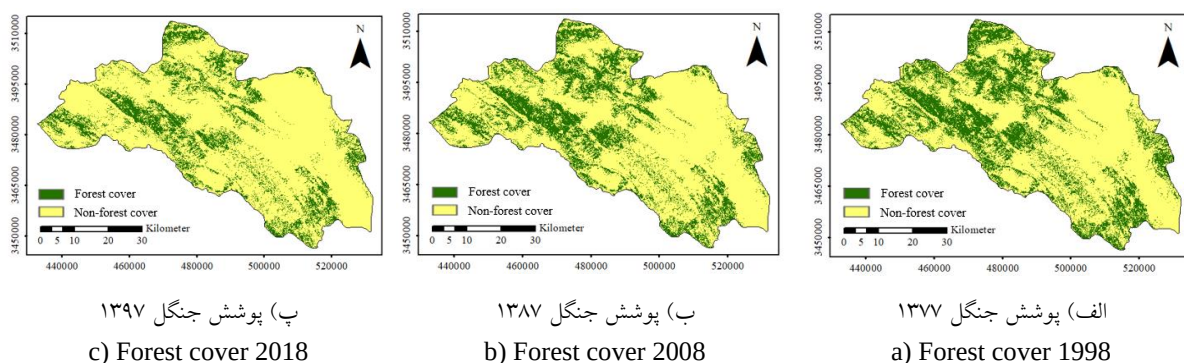
نتایج

نقشه‌های پوشش جنگل شهرستان لردگان مربوط به سال‌های ۱۳۷۷، ۱۳۸۷ و ۱۳۹۷ در دو طبقه (جنگل و غیرجنگل) تهیه شدند (شکل ۴). همچنین مقدار مساحت مناطق دارای پوشش جنگل برای سال‌های مورد بررسی در جدول ۲ ارائه شده است که برای اساس متوسط جنگل‌زدایی سالانه در بازه زمانی ۱۳۷۸-۱۳۷۷ و ۱۳۹۷-۱۳۸۷ به ترتیب برابر با ۱۷۲۵/۵۸ و ۲۰۵۵/۳۱ هکتار است. ماتریس خطا برای نقشه‌های تولید شده تشکیل شد که ضریب کاپا برای نقشه‌های مربوط به سال‌های ۱۳۷۷، ۱۳۸۷ و ۱۳۹۷ به ترتیب ۰/۸۸، ۰/۸۹ و ۰/۹۴ به دست آمد (جدول ۳). بررسی تغییرات پوشش جنگل نشان داد که تقریباً ۱۷۲۵۶ هکتار از پوشش جنگل منطقه طی سال‌های ۱۳۷۷ تا ۱۳۸۷ تخریب شده است. همچنین بین سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۷ حدود ۲۰۵۵۳ هکتار از پوشش جنگل این منطقه کاسته شد (شکل ۵).

تغییرات آینده (سال ۱۴۱۷) با استفاده از دوره واسنجی ۱۳۷۷-۱۳۹۷ و هشت متغیر مستقل ذکر شده در این پژوهش انتخاب شد.

شناسایی مناطق مطلوب برای پروژه‌های REDD+

یکی از اولویت‌های انتخاب مناطقی برای اجرای پروژه‌های REDD+، دارا بودن مقدار ذخایر کربن بالا است. بنابراین در این پژوهش، به کمک نقشه جهانی ذخایر کربن اکوسیستم‌های خشکی که دارای قدرت تفکیک مکانی ۱ کیلومتر است، مقدار کربن مناطق تعیین شد. نقشه جهانی ذخایر کربن شامل مجموع کربن روی زمین، زیر زمین و کربن آلی خاک است که با هدف تسهیل در اجرای پروژه‌های REDD+ تهیه شده است (Kapos et al., 2008). لازم به ذکر است که در پژوهش‌هایی مرتبط با اجرای پروژه‌های REDD+ در جنگل‌های هیرکانی، از نقشه جهانی ذخایر کربن استفاده شد (Parsamehr et al., 2019). در ادامه نقشه کربن منطقه مورد بررسی به محدوده‌هایی با مقادیر مشخص کربن طبقه‌بندی شد، همچنین نقشه‌ی مقدار احتمال جنگل‌زدایی در آینده که خروجی حاصل از مدل‌سازی پتانسیل انتقال است به سه طبقه با احتمال جنگل‌زدایی زیاد، متوسط و کم طبقه‌بندی شد. در نهایت از هم-پوشانی نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده منابع کربن و احتمال



شکل ۴- نقشه‌های پوشش جنگل
Figure 4. Forest cover maps

جدول ۲- آنالیز تغییرات پوشش جنگل

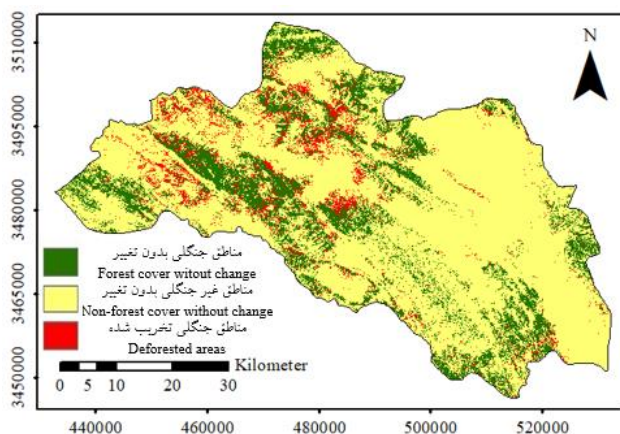
Table 2. Analysis of forest cover changes

نرخ سالانه جنگل زدایی (درصد)	مساحت (هکتار)	مساحت (هکتار)	مساحت (هکتار)	نوع پوشش
Annual rate of deforestation (%)	۱۳۹۷	۱۳۸۷	۱۳۷۷	Land cover type
	Area (ha) 2018	Area (ha) 2008	Area (ha) 1998	
بین سال های ۱۳۷۷-۱۳۸۷				جنگل
1998-2008	62178.39	82731.51	99987.39	Forest
-1.87%				
بین سال های ۱۳۸۷-۱۳۹۷				غیر جنگل
2008-2018	262568.16	242015.04	224759.16	Non-forest
-2.81%				

جدول ۳- ماتریس ارزیابی صحت نقشه های پوشش جنگل

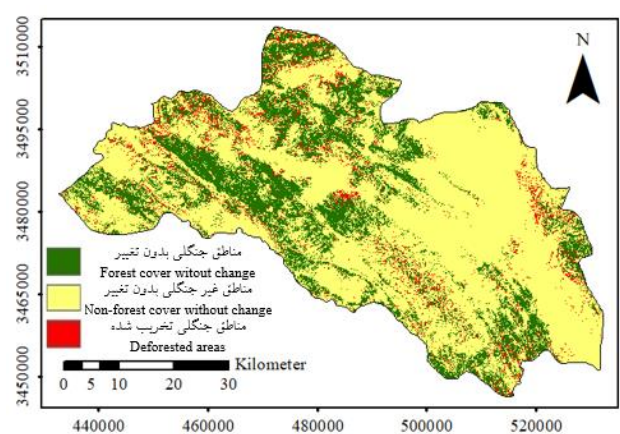
Table 3. Error matrix of forest cover maps

ضریب کاپا	خطای	خطای	صحت کاربر (درصد)	صحت تولید کننده (درصد)	نوع پوشش	سال
Kappa	Omission	Commission	User's Accuracy	Producer's Accuracy	Land cover type	Year
0.88	4%	5%	95	96	جنگل	۱۳۷۷
	8%	7%	93	92	غیر جنگل	1998
					Non-forest	
0.89	5%	8%	92	95	جنگل	۱۳۸۷
	6%	4%	96	94	غیر جنگل	2008
					Non-forest	
0.95	3%	2%	98	97	جنگل	۱۳۹۷
	3%	4%	96	97	غیر جنگل	2018
					Non-forest	



الف) نواحی تخریب شده پوشش جنگل ۱۳۸۷-۱۳۹۷

a) Deforested areas during 2008-2018



الف) نواحی تخریب شده پوشش جنگل ۱۳۷۷-۱۳۸۷

a) Deforested areas during 1998-2008

شکل ۵- نقشه های مناطق تخریب شده پوشش جنگل

Figure 5. Deforested areas maps

ارتباط بین متغیرهای مستقل و تغییرات پوشش جنگل با استفاده از ضریب کرامر تعیین شد که نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده است. جدول ۴ نشان می‌دهد که متغیرهای فاصله از حاشیه جنگل، احتمال جنگل‌زدایی در دهستان‌ها و شیب، مقدار همبستگی بالایی با تغییرات پوشش جنگل طی سال‌های ۱۳۸۷-۱۳۷۷ داشتند. نقشه‌های پتانسیل انتقال حاصل از مدل‌سازی با دو

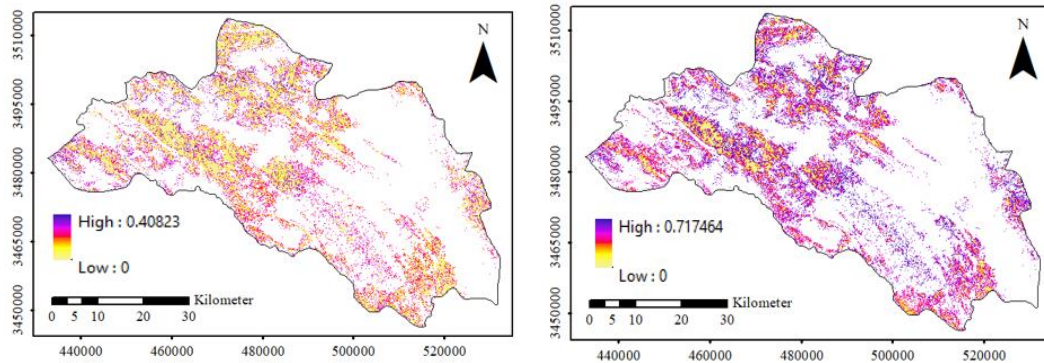
روش شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون لجستیک در شکل ۶ نشان داده شده است. در واقع نقشه‌های پتانسیل انتقال، احتمال شدت تخریب پوشش جنگل را به صورت مکانی ارائه می‌دهند و هر چه ارزش به یک نزدیک‌تر باشد بیانگر احتمال بالای تخریب جنگل است.

جدول ۴- مقادیر ضریب کرامر برای متغیرهای مستقل

Table 4. Cramer's value for driver variables

مقدار ضریب کرامر Cramer's value	متغیر مستقل Driver variable
0.3312	فاصله از حاشیه جنگل ۱۳۷۷ Distance from forest edge 1998
0.2770	احتمال جنگل‌زدایی در دهستان‌ها Probability of deforestation in each village district
0.2101	شیب Slope
0.1931	فاصله از مناطق مسکونی ۱۳۷۷ Distance from residential areas 1998
0.1770	فاصله از جاده Distance from road
0.1471	فاصله از روستا Distance from village
0.1449	ارتفاع Elevation
0.1388	فاصله از رودخانه Distance from river

نتایج مدل رگرسیون و ضرایب رگرسیونی احتمال جنگل‌زدایی در بازه زمانی ۱۳۸۷-۱۳۷۷ در جدول ۵ ارائه شده است. جدول ۵ بیانگر این است که متغیر فاصله از حاشیه جنگل دارای بیشترین تأثیر نسبت به دیگر متغیرها است. خروجی مدل رگرسیون لجستیک نشان‌دهنده مقدار کای مربع و Chi-square برابر با ۸۷۶۸۵/۷۰۴۸ و ۹۸۳۹/۴۶۵۶ است. همچنین مقدار $Pseudo-R^2$ معادل با ۰/۱۰۰۹ برای مدل رگرسیونی اجرا شده به دست آمد که بیانگر ارتباط ضعیف بین تغییرات و متغیرهای مستقل است.



ب) مدل رگرسیون لجستیک

a) Regression logistic

الف) مدل شبکه عصبی مصنوعی

a) Artificial neural network

شکل ۶- نقشه های پتانسیل انتقال پوشش جنگل به غیر جنگل برای بازه زمانی ۱۳۸۷-۱۳۷۷

Figure 6. Transition potential maps of forest cover to non-forest cover for 1998-2008

جدول ۵- ضرایب رگرسیونی متغیرهای مستقل

Table 5. Regression coefficients of driver variables

ضرایب رگرسیونی	متغیر مستقل
Regression coefficients	Driver variables
1.2415	احتمال جنگل زدایی در دهستان ها
	Probability of deforestation in each village district
- 0.0417	فاصله از رودخانه
	Distance from river
0.0243	فاصله از جاده
	Distance from road
0.0510	فاصله از مناطق مسکونی ۱۳۷۷
	Distance from residential areas 1998
0.1391	فاصله از روستا
	Distance from village
- 0.3321	ارتفاع
	Elevation
- 1.3766	فاصله از حاشیه جنگل ۱۳۷۷
	Distance from forest edge 1998
- 0.2228	شیب
	Slope
4.4508	عرض از مبدأ
	Intercept

انتظار می رود برای هر ۱۰ سال با احتمال ۸۲/۷۴ درصد پوشش جنگل ثابت بماند و با احتمال ۱۷/۲۶ درصد تخریب شود. نقشه پیش بینی پوشش جنگل برای سال ۱۳۹۷ با استفاده از دو روش مدل سازی به کار گرفته شده در شکل ۷ نشان داده شده است.

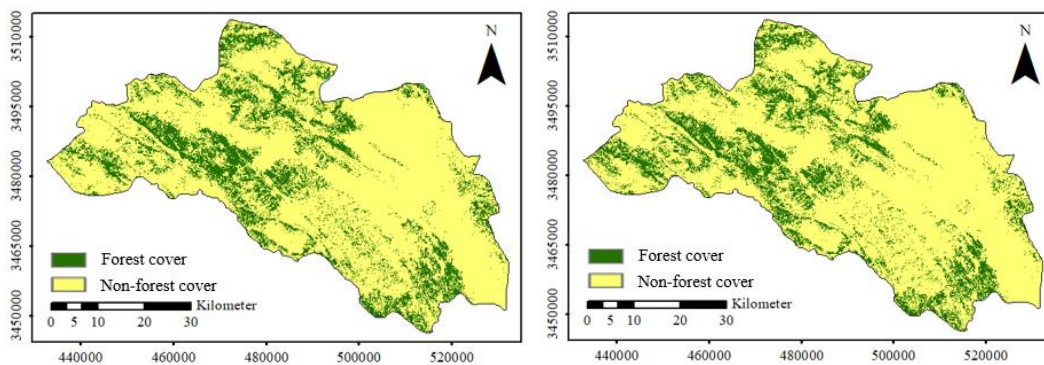
پیش بینی تغییرات و اعتبارسنجی مدل

احتمال انتقال پوشش جنگل در سال ۱۳۷۷ به اراضی غیر جنگل در سال ۱۳۸۷ براساس تقاضای تغییر و به کمک زنجیره مارکف محاسبه شد (جدول ۶). جدول ۶ بیانگر این است که بر اساس احتمالات زنجیره مارکف

جدول ۶- احتمال انتقال محاسبه شده با زنجیره مارکوف

Table 6. Transition probability matrix produced by Markov chain

۱۳۸۷		۱۳۷۷-۱۳۸۷
2008		1998-2008
مناطق غیر جنگل Non-forest cover	پوشش جنگل Forest cover	۱۳۷۷ 1998
0.1726	0.8274	پوشش جنگل Forest cover
1	0	مناطق غیر جنگل Non-forest cover



(ب) مدل رگرسیون لجستیک
b) Regression logistic

(الف) مدل شبکه عصبی مصنوعی
a) Artificial neural network

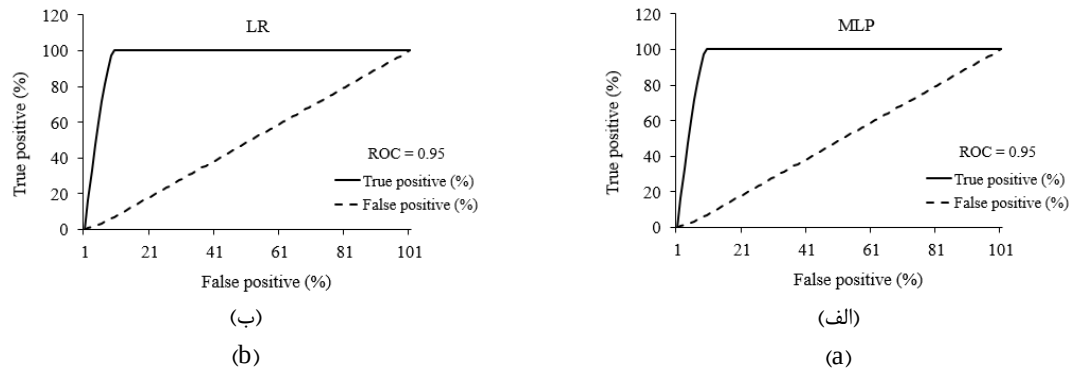
شکل ۷- نقشه‌های پیش‌بینی شده پوشش جنگل سال ۱۳۹۷

Figure 7. Predicted forest cover maps of year 2018

هکتار از سطح پوشش جنگل شهرستان لردگان خواهیم بود.

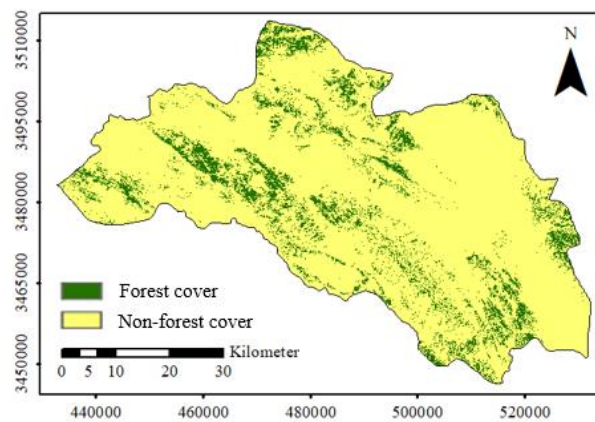
برای شناسایی مقدار احتمال جنگل‌زدایی در آینده، از خروجی مدل رگرسیون لجستیک (نقشه پتانسیل انتقال برای سال ۱۴۱۷) استفاده شد و نقشه حاصل به سه طبقه با احتمال جنگل‌زدایی زیاد، متوسط و کم تقسیم شد. همچنین نقشه منابع کربن نیز به دو طبقه با مقدار کربن کمتر از ۷۰ تن در هکتار و ۱۴۲-۷۰ تن در هکتار طبقه‌بندی شد. در آخر نقشه همپوشانی حاصل از نقشه‌های طبقه‌بندی شده‌ی احتمال جنگل‌زدایی و منابع کربن تهیه شد (شکل ۱۰). در شکل ۱۰ مناطقی با مقدار جنگل‌زدایی شدید و منابع کربن بالا با رنگ قرمز نشان داده شده‌اند.

نتایج اعتبارسنجی مدل‌ها و مقایسه آن‌ها در جدول ۷ و نمودارهای ROC در شکل ۸ ارائه شده است. آماره ROC بدست‌آمده برای هر دو مدل بیانگر صحت بالای مدل‌ها در ارتباط با تغییرات اتفاق افتاده است اما در ارتباط با عدد شایستگی، مدل رگرسیون لجستیک مطلوبیت بیشتری کسب کرد. بنابراین برای پیش‌بینی تغییرات سال ۱۴۱۷ (۲۰ سال آینده) از مدل رگرسیون لجستیک استفاده شد. نقشه پیش‌بینی شده تغییرات پوشش جنگل برای سال ۱۴۱۷ در شکل ۹ نشان داده شده است. بررسی تغییرات پوشش جنگل طی سال‌های ۱۳۹۷ تا ۱۴۱۷ نشان داد که اگر روند تخریب به‌مانند گذشته ادامه یابد تا سال ۱۴۱۷ شاهد تخریب ۲۳۵۱۰



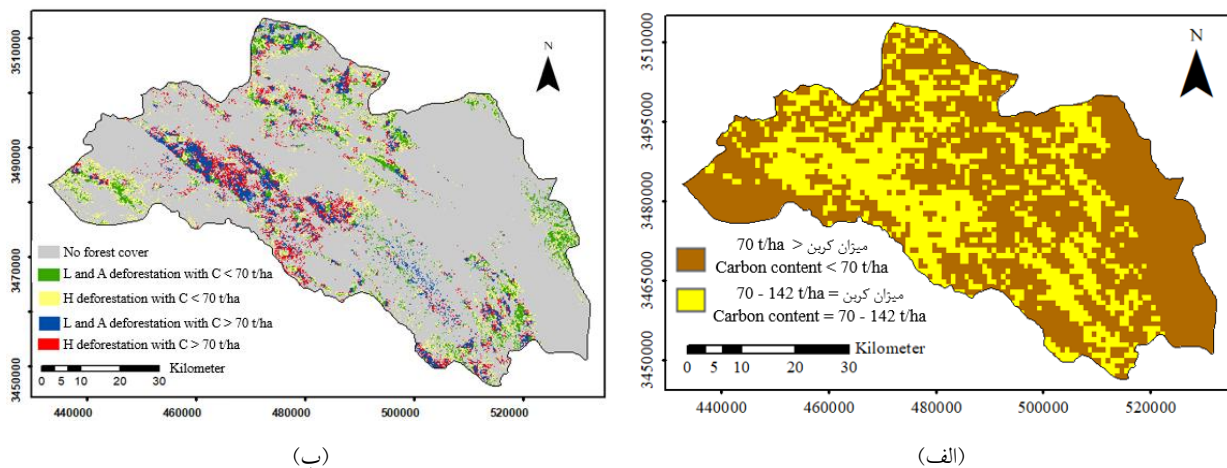
شکل ۸- نمودارهای ROC، (الف) شبکه عصبی مصنوعی، (ب) رگرسیون لجستیک

Figure 8. ROC curves. a) MLP, b) Logistic Regression (LR)



شکل ۹- نقشه پیش بینی شده پوشش جنگل سال ۱۴۱۷ با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک

Figure 9. Predicted forest cover map of 2038 using logistic regression model



شکل ۱۰- نقشه های منابع کربن (الف) و همپوشانی منابع کربن (C) و احتمال جنگل زدایی (L = کم، A = متوسط و H = زیاد) (ب)

Figure 10. Maps of carbon resources and overlay of carbon resources (C) and probability of deforestation (L = Low, A = Average, and H = high)

بحث

در این بررسی یکی از اهداف مدنظر بررسی تغییرات پوشش جنگل شهرستان لردگان بود. در این رابطه فرآیند آشکارسازی تغییرات، نشان دهنده کاهش ۳۷۸۰۹ هکتار از اراضی پوشش جنگل طی سال‌های ۱۳۷۷ تا ۱۳۹۷ بود، این نتایج نشان‌دهنده وضعیت بحرانی در منطقه است. در ارتباط با علل کاهش سطح پوشش جنگل در این شهرستان با بررسی عوامل غیرمکانی طبق پژوهش Daneshmandparsa et al. (2018) می‌توان بیان داشت که مواردی مانند چرای دام در عرصه جنگل، زراعت دیم در زیر اشکوب جنگل، تأمین سوخت برای مصارف روستایی، بهره‌برداری از محصولات غیرچوبی مناطق جنگلی مانند صمغ‌ها، میوه‌ها، افزایش جمعیت و وابستگی معیشتی جوامع جنگل‌نشین به عرصه منابع طبیعی و گسترش راه‌های ارتباطی از مهم‌ترین دلایل تخریب پوشش جنگل در این مناطق هستند.

نتایج این پژوهش با بررسی متغیرهای مکانی تخریب پوشش جنگل در این شهرستان نشان داد که برطبق ضرایب رگرسیونی به‌دست آمده در جدول ۵، متغیرهای فاصله از جاده، فاصله از مناطق مسکونی و فاصله از روستا رابطه مستقیم با مقدار تخریب دارند، در واقع هرچه از این مناطق دورتر شویم تخریب بیشتر می‌شود که در پژوهش انجام‌شده توسط Nasiri et al. (2019)، رابطه مستقیم بین متغیرهای فاصله از جاده و مناطق مسکونی با تخریب پوشش جنگل دیده شد که با معادله رگرسیونی این پژوهش مشابهت داشت. همچنین، در مدل رگرسیونی ارائه‌شده توسط Ghorbannia et al. (2017)، رابطه مستقیم بین تغییرات پوشش جنگل و متغیر فاصله از روستا وجود داشت که مشابه با معادله رگرسیونی این پژوهش است که نشان می‌دهد جوامع روستایی به‌واسطه دسترسی به مناطق

جنگلی، فعالیت‌های کشاورزی و چرای بی‌رویه دام، سبب تخریب شدید مناطق جنگلی اطراف روستاها و مناطق مسکونی شده‌اند. این امر می‌تواند به‌دلیل گستردگی سطح تخریب در منطقه و متمرکز نبودن آن باشد که شاید عوامل دیگر بر مقدار تخریب در منطقه مؤثر هستند و باید شناسایی شوند. همچنین در این بررسی، شاخص $Pseudo-R^2$ نسبت به بررسی Bagheri and Shataee (2010) مقدار بالاتر و نسبت به دیگر بررسی (Nasiri et al., 2019) مقدار کمتری داشت.

همچنین در این پژوهش، برای متغیرهای ارتفاع، فاصله از حاشیه جنگل و شیب، رابطه معکوس با مقدار جنگل‌زدایی رخ داده به‌دست آمد. یعنی در ارتفاعات پایین‌تر، فواصل نزدیک به حاشیه جنگل و همچنین شیب‌های ملایم تخریب بیشتری اتفاق افتاده است که این مورد با بررسی Arekhi et al. (2012) مطابقت داشت. می‌توان گفت سطح پوشش جنگلی استان چهارمحال و بختیاری که در شیب و ارتفاع بالا قرار گرفته‌اند به‌دلیل دشواری در دسترسی و دور از دسترس بودن کمتر مورد تخریب قرار گرفت.

در بررسی انجام‌شده توسط Goldavi et al. (2014) و Parsamehr and Gholamalifard (2016) به رابطه معکوس بین جنگل‌زدایی و فاصله از حاشیه جنگل اشاره شد که با نتایج این بررسی تطبیق دارد.

در این پژوهش دو رویکرد مدل‌سازی تغییرات پوشش جنگل مقایسه شد و نتایج حاصل از اعتبارسنجی نشان داد که مدل رگرسیون لجستیک با مقدار ROC برابر با ۰/۹۷۵۲ و عدد شایستگی ۱۹/۰۱ درصد صحت بالاتری نسبت به شبکه عصبی مصنوعی داشت. پژوهش‌های بسیاری در ارتباط با مقایسه رویکردهای مدل‌سازی انجام شده است. در پژوهشی برای مدل‌سازی تغییرات پوشش جنگل، رگرسیون لجستیک

انتقال به کار گرفته و همچنین شرایط متفاوت مناطق مرتبط است. مرور پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد که مدل رگرسیون لجستیک اغلب در شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی عملکرد مطلوبی داشت اما نتایج مدل رگرسیون این پژوهش نشان داد که ارتباط بین متغیرهای مستقل و تغییرات پوشش جنگل ضعیف بوده است. در این ارتباط، با تحلیل نتایج مدل رگرسیون اجرا شده در منطقه مورد بررسی (شهرستان لردگان) می‌توان بیان داشت که عوامل جنگل‌زدایی محدود به متغیرهای مکانی طبیعی و برخی متغیرهای انسان ساخت نمی‌شوند و باید ابعاد دیگری از برهمکنش بین انسان و اکوسیستم مناطق جنگلی را بررسی کرد. در واقع می‌بایست ارتباط بین خدمات اکوسیستمی یک منطقه دارای پوشش جنگل و نیازهای جوامع انسانی وابسته به آن بررسی شود تا بتوان مقدار اثرگذاری عوامل انسانی را در ابعاد مختلف اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی بر روند جنگل‌زدایی منطقه آشکار ساخت.

در رابطه با مدل رگرسیون لجستیک می‌توان بیان داشت که یک مدل بسیار ساده و مناسب برای تحلیل داده‌های باینری در علم محیط‌زیست است. مدل رگرسیون لجستیک یک مدل انعطاف‌پذیر است به این معنا که می‌توان متغیرهای مستقل پیوسته یا طبقه‌بندی شده را در مدل به کار برد. در مدل رگرسیون لجستیک برخلاف شبکه عصبی مصنوعی می‌توان تنها یک زیرمدل یا انتقال را شبیه‌سازی کرد، به این معنا که نمی‌توان هم‌زمان چندین پتانسیل انتقال برای مثال تغییرات از پوشش جنگل به مناطق شهری یا کشاورزی را مدل کرد (Parsamehr et al., 2020).

با توجه به روند تغییرات شدید کاربری اراضی و به‌خصوص جنگل‌زدایی در شهرستان لردگان، در آینده شاهد تخریب شدید پوشش جنگل و هدررفت منابع کربن منطقه خواهیم بود. این اتفاق منجر به انتشار

با مقدار عدد شایستگی ۸ درصد عملکرد بهتری را نسبت به دیگر مدل‌ها کسب کرد (Kim, 2010). Arekhi et al. (2012) در پژوهشی به شبیه‌سازی تخریب سطح جنگل با استفاده از رگرسیون لجستیک در جنگل‌های شمال ایلام پرداختند و مقدار ROC برابر با ۰/۷۶ بیانگر توافق نسبی مدل با تغییرات رخ داده بود. در پژوهشی برای مدل‌سازی تجربی پتانسیل انتقال تغییر پوشش سرزمین، رگرسیون لجستیک صحت بالاتری نسبت به شبکه عصبی مصنوعی نشان داد (Gholamalifard et al., 2014). بررسی الگوی مکانی تغییرات پوشش جنگل شهرستان ملکشاهی در استان ایلام با استفاده از رگرسیون لجستیک نشان داد که این مدل قادر به پیش‌بینی تغییرات برای سال ۱۳۹۳ با مقدار ROC برابر با ۰/۸۲ بوده است (Mirzaeizadeh et al., 2016). در پژوهشی مدل‌سازی تخریب پوشش جنگل‌های زاگرس در استان ایلام، طی سال‌های ۱۳۹۳-۱۳۶۶ با استفاده از رگرسیون لجستیک انجام شد و مقدار آماره ROC معادل با ۰/۸۴ برای نقشه پیش‌بینی شده سال ۱۳۹۳ بدست‌آمد که بیانگر قابلیت بالای مدل رگرسیونی برای شبیه‌سازی تغییرات بوده است (Mahdavi et al., 2018). در بررسی‌ای بررسی تغییرات مکانی جنگل‌های زاگرس طی سال‌های ۱۳۹۴-۱۳۶۴ با استفاده از مدل LCM انجام شد و پیش‌بینی تغییرات برای سال ۱۳۹۴ با مقدار ضریب کاپا برابر با ۰/۸۹ بیانگر توانایی LCM در زمینه پیش‌بینی تغییرات پوشش جنگل بوده است (Nasiri et al., 2019). همچنین در پژوهشی در راستای مدل‌سازی تغییرات پوشش جنگل، مدل شبکه عصبی مصنوعی با مقدار عدد شایستگی ۲۶/۸ درصد عملکرد بهتری نسبت به مدل رگرسیون لجستیک در پیش‌بینی تغییرات داشت (Parsamehr et al., 2020). باید اشاره داشت که دلیل نتایج متفاوت رویکردهای مدل‌سازی، به روش مدل‌سازی پتانسیل

داده شدند. این مناطق در صورتی که تحت حفاظت و اجرای پروژه REDD+ قرار گیرند می‌توانند به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک کنند. در واقع، پروژه‌های REDD+ به‌عنوان یکی از مکانیسم‌های توسعه پاک با هدف احیای جنگل‌ها مطرح هستند. با استفاده از شناسایی مناطقی برای اجرای پروژه‌ها و سپس اجرای عملیاتی پروژه می‌توان سند طراحی پروژه‌هایی را که به‌منظور حفاظت و احیای جنگل‌ها مطرح است، تکمیل کرد و از مزایای مالی سازمان‌های بین‌المللی مرتبط با اجرای مکانیسم‌های توسعه پاک بهره‌مند شد (Parsamehr and Gholamalifard, 2016).

در این پژوهش، با استفاده از دو رویکرد مدل‌سازی تجربی پتانسیل انتقال، تغییرات پوشش جنگل بررسی و پیش‌بینی روند جنگل‌زدایی در آینده انجام شد و همچنین از دو معیار (احتمال جنگل‌زدایی و منابع کربن) برای شناسایی مناطق مطلوب برای پروژه REDD+ استفاده شد. به‌عنوان پیشنهادی برای پژوهش‌های آینده می‌توان از دیگر مدل‌های پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی مانند ژئومد و CA-MARKOV استفاده کرد و نتایج مدل‌سازی تجربی پتانسیل انتقال آن‌ها را با مدل‌های ارائه شده در این پژوهش مقایسه کرد و اثرات آن‌ها را در شناسایی مناطق مطلوب برای پروژه‌های REDD+ بررسی کرد.

References

- Arekhi, S.; Jafarzadeh, A. A.; Yousefi, S., Modeling deforestation using logistic regression, GIS and RS case study: Northern forests of the Ilam province. *Journal of Geography and Development* **2012**, 10, 31-42. (In Persian)
- Bagheri, R.; Shataee, S., Modeling forest areas decreases, using logistic regression (case study: Chehl-Chay catchment, Golestan province). *Iranian Journal of Forest* **2010**, 2: 243-252. (In Persian)

گازهای گلخانه‌ای ناشی از جنگل‌زدایی به اتمسفر و در نهایت تغییرات اقلیمی در طولانی مدت خواهد شد. پروژه‌های REDD+ به‌دنبال جلوگیری از تشدید جنگل‌زدایی و انتشار منابع کربن و همچنین حفاظت از مناطق در معرض تغییرات شدید کاربری اراضی هستند. در این پژوهش، سناریو تغییرات پوشش جنگل برای آینده شبیه‌سازی شد و در نهایت با تعیین مناطق در معرض جنگل‌زدایی شدید و همچنین تعیین منابع کربن منطقه، مناطق دارای پتانسیل (مناطق با مقدار کربن بالا و احتمال جنگل‌زدایی شدید در آینده) برای پروژه‌های REDD+ به‌صورت مکانی برای اولین بار در جنگل‌های زاگرس شناسایی شدند. در همین ارتباط، در پژوهشی برای اجرای پروژه REDD+ در منطقه حفاظت‌شده البرز مرکزی، منطقه در معرض جنگل‌زدایی دارای منابع کربن ۶۵ تا ۱۵۰ تن در هکتار بود (Parsamehr and Gholamalifard, 2016). همچنین، در پژوهشی دیگر در جنگل‌های هیرکانی، مقدار منابع کربن برای منطقه‌ی تحت تأثیر جنگل‌زدایی بین ۵۰ تا ۱۰۰ تن در هکتار برآورد شد (Parsamehr et al., 2019). نتایج هر دو بررسی انجام شده حاکی از موفقیت‌آمیز بودن اجرای پروژه REDD+ بوده است. برهمین اساس، در این پژوهش نیز، مناطقی با مقدار جنگل‌زدایی شدید و منابع کربن بالاتر از ۷۰ تن در هکتار برای اجرای پروژه REDD+ مطلوب تشخیص

- Clark, W. A.; Hosking, P. L., *Statistical methods for geographers*. 1986.
- Daneshmandparsa, R.; Mirzaei, R.; Bihamtaitoosi, N., Land cover change detection of Chahar Mahal Bakhtiari province using landscape metrics (1994-2015). *Iran. J. Appl. Ecol* **2018**, 7 (2), 17-27. (In Persian)
- Eckert, S.; Ratsimba, H. R.; Rakotondrasoa, L. O.; Rajoelison, L. G.; Ehrensperger, A., Deforestation and forest degradation monitoring and assessment of biomass and

- carbon stock of lowland rainforest in the Analanjirofo region, Madagascar. *Forest Ecology and Management* **2011**, 262 (11), 1996-2007.
- Ghorbannia, V.; Mirsanjari, M. M.; Armin, M., Forecasting of forest land changes in the Chaloosrood watershed. *Journal of RS and GIS for Natural Resources* **2017**, 8 (2), 79-91.
- Jensen, J. R. *Introductory digital image processing: a remote sensing perspective*; Univ. of South Carolina, Columbus: 1986.
- Kapos, V.; Ravilious, C.; Campbell, A.; Dickson, B.; Gibbs, H.; Hansen, M.; Lysenko, I.; Miles, L.; Price, J.; Scharlemann, J., Website: www.unep-wcmc.org. **2008**.
- Kim, O. S., An assessment of deforestation models for reducing emissions from deforestation and forest degradation (REDD). *Transactions in GIS* **2010**, 14 (5), 631-654.
- Kumar, R.; Nandy, S.; Agarwal, R.; Kushwaha, S., Forest cover dynamics analysis and prediction modeling using logistic regression model. *Ecological indicators* **2014**, 45, 444-455.
- Lopez, R. D.; Frohn, R. C., *Remote sensing for landscape ecology: New metric indicators*. CRC Press: 2017.
- Mahdavi, A.; Rangin, S.; Mehdizadeh, H.; Mirzaei Zadeh, V., Modelling the Trend of Zagros Forest Degradation using Logistic Regression (Case study: Chardavol Forest of Ilam province). *Geography and Sustainability of Environment* **2018**, 8 (2), 1-13.
- McCoy, R. M., *Field methods in remote sensing*. Guilford Press: 2005.
- Mirzaeizadeh, V.; Mahdavi, A.; Karamshahi, A.; Jafarzadeh, A., Investigation of the spatial pattern of forest cover changes using logistic regression in Malekshahi. *Journal of Wood and Forest Science and Technology* **2016**, 23 (3), 45-68.
- Naseri, S.; Naghavi, H.; Soosani, J.; Nouredini, A. R., Modeling the spatial changes of Zagros forests using satellite imagery and LCM model (Case study: Bastam, Selseleh). *Geography And Development Iranian Journal* **2019**, 17 (54), 107-120.
- Nasiri, V.; Darvishsefat, A.; Shirvani, A.; Avatefi Hemat, M., Monitoring and modeling changes of forest area using logistic regression-markov and geomod. *Geographic Space* **2019**, 19 (65), 171-189.
- Parsamehr, K.; Gholamalifard, M.; Kooch, Y., Comparing three transition potential modeling for identifying suitable sites for REDD+ projects. *Spatial Information Research* **2019**, 1-13.
- Parsamehr, K.; Gholamalifard, M., Applied introduction of modeling of REDD projects: a strategy for reduce the impacts of climate change. *Environmental Researchers* **2016**, 7 (13), 189-202. (In Persian)
- Pontius Jr, R. G.; Schneider, L. C., Land-cover change model validation by an ROC method for the Ipswich watershed, Massachusetts, USA. *Agriculture, ecosystems & environment* **2001**, 85 (1-3), 239-248.
- Spatial planning studies of Chaharmahal and Bakhtiari province, Planning and Budget Organization, Chaharmahal and Bakhtiari Management and Planning Organization, 2018. (In Persian)

Modelling of forest cover change to identify suitable areas for REDD+ projects (case study: Lordegan county)

S. Delpasand¹, R. Maleknia^{*2} and H. Naghavi³

1- PhD Student of Forestry, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Lorestan University, Khoramabad, I. R. Iran. (sahar.delpasand@yahoo.com)

2- Associate Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Lorestan University, Khoramabad, I. R. Iran. (Maleknia.r@lu.ac.ir)

3- Assistant Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Lorestan University, Khoramabad, I. R. Iran. (Naghavi.ha@lu.ac.ir)

Received: 23.10.2020 Accepted: 08.02.2021

Abstract

In recent decades, there has been a significant reduction in the Zagros forest. In this regard, in the present study, the forest cover changes of Lordegan county located in Chaharmahal Bakhtiari province were examined using forest cover maps produced by Landsat 5 and 8 satellites belonging to 1988, 2008 and 2018. Then, transition potential modeling from forest to non-forest was performed using two models of artificial neural network and logistic regression, and for validation the ROC and figure of merit were applied. Finally, using overlapping the maps of deforestation probability and carbon resources, the suitable areas for REDD+ projects were identified. The results of change detection showed that during 1988-2008 and 2008-2018, 17,256 ha and 20,553 ha of forest cover were degraded, respectively. The validation results showed that the logistic regression gained the ROC equal to 0.95 and the figure of merit equal to 19.01%, and had a better performance than the artificial neural network. Also, based on overlap map of carbon resources and deforestation probability, areas with high deforestation probability and carbon content above 70 tons per hectare were proposed for REDD+. The findings of this study show that using the presented methodology can be identified the areas with deforestation and can be prevented the release of greenhouse gas into the atmosphere.

Keywords: Deforestation, Transition potential modelling, REDD+ project, Lordegan County.

* Corresponding author

Tel: +989126806297