

## معرفی کاربردی مدل‌سازی پروژه‌های REDD: راهکاری برای کاهش پیامدهای تغییر اقلیم

کوشا پارسامهر<sup>۱</sup>، مهدی غلامعلی‌فرد<sup>۲\*</sup>

۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه محیط‌زیست (گرایش ارزیابی و آمایش سرزمین)، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس  
۲ استادیار، گروه محیط‌زیست (گرایش ارزیابی و آمایش سرزمین)، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۹/۲۴؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۰۶/۱۵)

### چکیده

کاهش انتشارات ناشی از جنگل‌زدایی و تخریب جنگل (REDD)، راهکاری برای تعدیل تغییرات اقلیمی است که به‌منظور کاهش شدت جنگل‌زدایی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشورهای در حال توسعه به‌کار گرفته می‌شود. در چند دهه اخیر، تغییرات شدید کاربری اراضی سبب کاهش میزان چشمگیری از جنگل‌های هیرکانی واقع در استان مازندران شده است. تحقیق حاضر، با آگاهی از اهداف پروژه‌های REDD انجام شده است. بر همین اساس، تغییرات پوشش جنگل در محدوده‌ای از شهرستان‌های نوشهر و نور واقع در استان مازندران، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست متعلق به سال‌های ۱۳۶۳، ۱۳۷۹ و ۱۳۹۳ بررسی شد. سپس، مدل‌سازی پتانسیل انتقال با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه (MLP) انجام شد و در ادامه، اعتبارسنجی مدل صورت گرفت. در پایان، بر اساس روش‌شناسی کربن استاندارد اختیاری (VCS) و دوره واسنجی ۱۳۹۳-۱۳۶۳ تغییرات پوشش جنگل برای ۳۰ سال آینده (تا سال ۱۴۲۳) پیش‌بینی شد و میزان انتشار گاز CO<sub>2</sub> تا سال ۱۴۲۳ مورد محاسبه قرار گرفت. نتایج نشان داد که طی بازه زمانی ۱۳۹۳-۱۳۶۳، حدود ۳۴۱۳ هکتار پوشش جنگل تخریب شده است. همچنین، ارزیابی صحت بیانگر صحت مناسب مدل با میزان ROC برابر با ۰/۹۷۵ درصد می‌باشد. در نهایت، نتایج مدل‌سازی خط‌مبنا پروژه REDD نشان داد که ۸۲۷۵۹۱/۵ tCO<sub>2</sub>e طی ۳۰ سال آینده به اتمسفر انتشار خواهد یافت که اجرای پروژه REDD می‌تواند از انتشار ۵۸۴۰۵۶/۳۸ tCO<sub>2</sub>e جلوگیری نماید. یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که با استفاده از روش‌شناسی ارایه شده می‌توان میزان تغییرات کاربری اراضی، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و همچنین تأثیر اجرای پروژه‌های REDD در کاهش انتشار را برآورد و پیش‌بینی کرد و در سند طراحی پروژه‌های مکانیسم توسعه پاک در کشور استفاده نمود.

**کلید واژه‌ها:** پروژه REDD، تغییرات اقلیمی، شبکه‌ی عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه، استان مازندران

## سرآغاز

امروزه، با توجه به فشار روزافزون بر منابع طبیعی می‌بایست به دنبال راهکارهای مدیریتی برای کاهش این آثار منفی باشیم. یکی از این راهکارها، حفاظت از مناطق دارای پتانسیل خدمات اکوسیستمی<sup>(۱)</sup> بر اساس رویکرد پرداخت‌ها برای خدمات محیط‌زیستی (PES)<sup>(۲)</sup> می‌باشد (Pagiola, 2008). در این راستا، پروژه‌های کاهش انتشارات ناشی از جنگل‌زدایی و تخریب جنگل (REDD)<sup>(۳)</sup> با توجه به قابلیت اجرا در مناطقی با پوشش جنگلی متفاوت به دنبال بهره‌مندی از خدمات محیط‌زیستی اکوسیستم‌ها هستند (Wunscher et al., 2008).

REDD، محرکی برای کاهش شدت جنگل‌زدایی و انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌باشد و چارچوبی تعیین شده است که به‌واسطه آن کشورهای در حال توسعه با شناسایی میزان نرخ جنگل‌زدایی در زمان گذشته به پیش‌بینی روند تخریب جنگل در آینده پرداخته و می‌توانند اقدام‌های مؤثری را در زمینه کاهش نرخ جنگل‌زدایی و انتشار گازهای گلخانه‌ای طراحی کنند و در نهایت از پاداش‌های مالی به‌واسطه این اقدام‌های بهره‌مند شوند (Parker et al., 2009).

REDD، یک فرصت منحصر به‌فرد برای دستیابی به کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای در مقیاس وسیع با هزینه‌های معقول می‌باشد (Phelps et al., 2012). در مراحل آغازین، ایجاد REDD، در راستای طرح اقدام بالی<sup>(۴)</sup>، مصوبه‌ای در سیزدهمین دوره‌ی کنفرانس اعضای سران<sup>(۵)</sup> (COP-13) به کنوانسیون تغییرات اقلیمی سازمان ملل متحد (UNFCCC)<sup>(۶)</sup> اعلام شد که بیان داشت: یک رویکرد جامع برای تعدیل تغییرات اقلیمی باید شامل اقدام‌های سیاسی و انگیزش‌های مثبتی در ارتباط با کاهش انتشارات ناشی از جنگل‌زدایی و تخریب جنگل در کشورهای در حال توسعه باشد و نقش مؤثری در زمینه حفاظت، مدیریت پایدار جنگل‌ها و افزایش ذخایر کربن جنگل‌ها ایفا کند (UNFCCC, 2008). در همین رابطه در چند سال اخیر، پروژه‌های REDD با نام ظهور جهانی جنگل‌ها، به‌عنوان راهکاری برای تعدیل تغییرات اقلیمی در مقیاس‌های ملی، استانی و ناحیه‌ای توجهات جهانی بسیاری را به‌سوی خود جلب کرده‌اند. هدف پروژه‌های REDD، افزایش ترسیب کربن در مناطقی با تغییرات شدید کاربری‌های اراضی و فعالیت‌های جنگل‌زدایی می‌باشد (Atela et al., 2014; 2012a).

(Eastman, و موفقیت این پروژه‌ها در حفاظت از جنگل‌ها می‌تواند سبب افزایش پذیرش<sup>(۷)</sup> ترسیب کربن در مناطق تحت اجرای پروژه شود. در واقع، در راستای اجرای پروژه‌های REDD از هرگونه عوامل مهم تخریب پوشش جنگل در ناحیه اجرای پروژه جلوگیری خواهد شد (Albers & Robinson, 2013). علاوه بر این، پروژه‌های REDD ابعاد اقتصادی-اجتماعی و حفاظت از تنوع‌زیستی منطقه را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهند و به‌دنبال بهبود عملکرد آن‌ها می‌باشد (Blom et al., 2010; Miles & Kapos, 2008).

تا امروز، بسیاری از کشورهای متأثر از تغییرات شدید کاربری اراضی و جنگل‌زدایی به عضویت برنامه همکاری ملل متحد<sup>(۸)</sup> در زمینه پروژه‌های REDD درآمده‌اند (Kamelarczyk & Smith-Hall, 2014). در واقع، پروژه‌های REDD به‌عنوان یکی از مکانیسم‌های توسعه پاک<sup>(۹)</sup> با هدف احیای جنگل‌ها مطرح می‌باشند. با استفاده از روش شناسی مطالعه حاضر، می‌توان سند طراحی پروژه‌هایی را که به‌منظور حفاظت و احیای جنگل‌ها<sup>(۱۰)</sup> در راستای اهداف مکانیسم توسعه پاک ارایه شده است را تکمیل نمود و در راستای تعدیل تغییرات اقلیمی، میزان کاهش انتشار را مورد بررسی قرار داد.

امروزه، برای شناسایی و پیش‌بینی روند تغییرات جنگل‌زدایی و تخریب جنگل از مدل‌های تغییر کاربری اراضی از قبیل مدل‌ساز تغییر سرزمین<sup>(۱۱)</sup> (LCM)، GEOMOD، DINAMICA، EGO، CA-MARKOV استفاده می‌شود که تفاوت آنها در روش مدل‌سازی تجربی پتانسیل انتقال<sup>(۱۲)</sup> می‌باشد (Eastman et al., 2005; Mas et al., 2014) و مدل‌های LCM و GEOMOD به‌عنوان رویکردهای اصلی برای پروژه‌های REDD استفاده می‌شوند (Kim, 2010). در این بین، مدل شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون<sup>(۱۳)</sup> چند لایه از الگوریتم غیرپارامتریک برای برقراری ارتباط پیچیده بین متغیرها و خروجی‌ها استفاده می‌کند و حتی قادر به شبیه‌سازی روابط غیرخطی می‌باشد (Bishop, 1995). در همین راستا در مطالعات اخیر، از این مدل به‌منظور مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی استفاده شده است (Kim, 2010; Eckert et al., 2011; Sangermano et al., 2012; Mas et al., 2014).

در سال‌های اخیر، بخش عمده‌ای از جنگل‌های هیرکانی به‌عنوان یکی از ذخایر کربن جهان تحت فشار شدید تغییرات

جلوگیری از روند تخریب جنگل‌های آمازون پیشنهاد داده شد (Sangermano et al., 2012). در مطالعه‌ای میزان جنگل‌زدایی منطقه حفاظت شده Juma در کشور برزیل مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که تا سال ۲۰۵۰ در صورت عدم حفاظت، شاهد تخریب ۱۰۵۲ کیلومتر مربع از پوشش جنگلی و کاهش  $۰/۰۲ \times ۱۰^۹$  تن از ذخایر کربن خواهیم بود و در صورت اجرای پروژه REDD تخریب ۳۹۵ کیلومتر مربع از جنگل به همراه کاهش  $۰/۰۱ \times ۱۰^۹$  تن از ذخایر کربن روی خواهد داد (Yanai et al., 2012). همچنین، در پژوهشی با مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات پوشش جنگل حفاظت شده Alto Mayo در ناحیه San Martin کشور پرو به اجرای پروژه REDD در این مناطق اشاره شد (Godoy & Rojas, 2013).

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

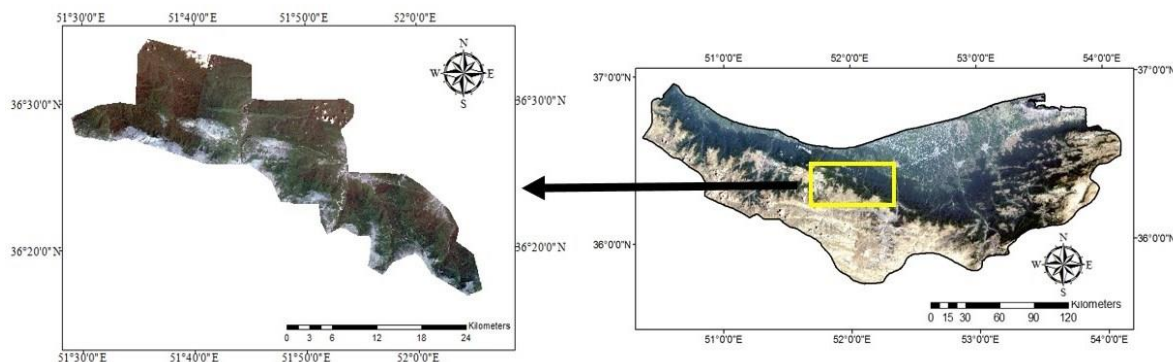
منطقه مورد بررسی در این مطالعه، محدوده‌ای از شهرستان نوشهر و نور می‌باشد که در منطقه حفاظت شده البرز مرکزی در استان مازندران واقع شده است. این منطقه، دارای حدود ۳۰ ناحیه روستایی و تحت تأثیر دهستان‌های خیرودکنار، زانوس رستاق، توابع کجور، بلده کجور، کالج، میان‌بند، لایوج و ناتل رستاق می‌باشد (شناسنامه مناطق حفاظت شده - سازمان حفاظت محیط‌زیست، ۱۳۹۴). وسعت منطقه، حدود ۵۶۹۷۲ هکتار است و بیشتر مساحت سایت در توابع کجور و میان‌بند می‌باشد. منطقه مورد بررسی در موقعیت جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۹ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۵ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۲۳ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۲ دقیقه عرض شمالی با ارتفاع متوسط حدود ۱۵۳۴ متر از سطح دریا قرار گرفته است و در شکل (۱)، نمایش داده شده است.

#### مراحل پژوهش

مراحل اصلی تحقیق شامل دو بخش مدل‌سازی تغییرات پوشش جنگل و مدل‌سازی خط‌مبنا<sup>(۱۶)</sup> REDD بر اساس روش کربن استاندارد اختیاری (VCS) می‌باشد. مدل‌سازی خط‌مبنا REDD در محیط مدل‌ساز تغییر سرزمین تعبیه شده است و به کمک آن می‌توان با مدل‌سازی تغییر پوشش سرزمین به بررسی سناریوهای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در آینده پرداخت.

کاربری‌های اراضی در استان مازندران قرار گرفته است (Haghdoust et al., 2011). حدود ۱/۶ میلیون هکتار از کل جنگل‌های هیرکانی، به دلیل تغییرات شدید کاربری‌های اراضی در چند دهه اخیر کاهش یافته است (Yousefi et al., 2013). در همین رابطه، ۱۶۲۸۶۷ هکتار از وسعت جنگل‌های استان مازندران در بین سال‌های ۱۳۶۳-۱۳۸۹ کاسته شده است (میرزایی و همکاران، ۱۳۹۲). در سواحل استان مازندران نزدیک به ۳۳۴۸۷ هکتار از جنگل‌های هیرکانی بین سال‌های ۱۳۸۹-۱۳۶۷ تخریب شده‌اند (Gholamalifard et al., 2012). در نتیجه، با توجه به بحران روند کاهش جنگل‌ها در سطح استان مازندران، انتظار می‌رود که اجرای پروژه‌های REDD بتواند به‌عنوان یکی از راهکارهای مدیریتی در راستای تعدیل پیامدهای منفی حاصل از تغییرات اقلیمی مدنظر قرار گیرد.

مطالعات مختلفی با تأکید بر تعدیل تغییرات اقلیمی و نشان دادن پیامدهای مثبت اجرای پروژه‌های REDD صورت گرفته است. در پژوهشی، تغییرات پوشش جنگل در منطقه East Kalimantan اندونزی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد تا سال ۲۰۱۳ با تخریب ۲۰ درصد جنگل‌های موجود به میزان ۳۰۵ میلیون تن CO<sub>2</sub> به اتمسفر انتشار خواهد یافت (Harris et al., 2008). بررسی روند جنگل‌زدایی در استان Oddar Meanchey کشور کامبوج نشان داد که در صورت اجرای پروژه‌های REDD طی سال‌های ۲۰۳۸-۲۰۰۸، از انتشار ۸۵۹۲۵۰۱/۷ تن CO<sub>2</sub> جلوگیری خواهد شد (Ty et al., 2011). در مطالعه‌ای، ذخایر کربن جنگل‌های کم‌ارتفاع منطقه Analanjirofo ماداگاسکار مورد بررسی قرار گرفت و اجرای پروژه‌های REDD، برای مناطق در معرض تهدید جنگل‌زدایی پیشنهاد داده شد (Eckert et al., 2011). در پروژه‌ای، با همکاری بانک جهانی و دولت ماداگاسکار میزان جنگل‌زدایی در منطقه Mantadia طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۵ بررسی شد و مدل‌سازی تغییرات تا سال ۲۰۳۵ صورت گرفت. نتایج نشان داد که با اجرای موفقیت‌آمیز پروژه REDD انتظار می‌رود میزان کل  $VCUs^{(۱۴)}$  برابر با ۴۴۳۵۵۶۱۶ تن معادل دی‌اکسید کربن (tCO<sub>2</sub>e)<sup>(۱۵)</sup> تولید گردد (Eastman, 2012b). مطالعه‌ای، به‌منظور بررسی تغییرات پوشش جنگل‌های آمازون واقع در کشور بولیوی و پیش‌بینی تغییرات برای سال ۲۰۵۰، صورت گرفت و در نهایت اجرای پروژه REDD به‌عنوان راهکاری برای



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

میان صفر و یک است که هر چه به یک نزدیکتر باشد، نشان‌دهنده میزان همبستگی بالا بین تغییرات پوشش جنگل به عنوان متغیر وابسته و متغیرهای مستقل است (Kumar et al., 2014). در نهایت، مدل شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه برای زیر مدل انتقال از مناطق جنگل به مناطق غیر جنگل اجرا می‌شود.

### پیش‌بینی تغییرات پوشش جنگل

با استفاده از زنجیره مارکف، احتمال تغییر هر کاربری به کاربری دیگر محاسبه شده است (Haibo et al., 2011) که در مطالعه حاضر، با استفاده از تغییرات اتفاق افتاده پوشش جنگل به غیر جنگل بین سال‌های ۱۳۶۳ و ۱۳۷۹ این امر صورت گرفته و تغییرات برای سال ۱۳۹۳ با استفاده از رویه شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه پیش‌بینی شده است. به منظور ارزیابی صحت مدل‌سازی و بر اساس تهیه نقشه پوشش جنگل سال ۱۳۹۳، از آماره منحنی مشخصه عملکرد نسبی (ROC)<sup>(۱۸)</sup> استفاده شد. از آماره AUC/ROC در دامنه صفر تا یک براساس محاسبه درصد صحیح مثبت<sup>(۱۹)</sup> و درصد اشتباه مثبت<sup>(۲۰)</sup> به منظور مقایسه یک تصویر پیوسته شایستگی با یک تصویر بولین استفاده می‌شود که ارزش (۱)، نشان‌دهنده توافق مکانی کامل و ارزش ۰/۵ نشان‌دهنده توافق تصادفی است (Pontius & Schneider, 2001).

### مدل‌سازی خط‌مبنا REDD بر اساس روش کربن استاندارد اختیاری (VCS)

مراحل اجرای مدل‌سازی خط‌مبنا REDD در شکل (۲)، نشان داده شده است.

### مراحل مدل‌سازی تغییرات پوشش سرزمین در محیط

#### مدل‌سازی تغییر سرزمین (LCM)

#### تهیه نقشه‌های پوشش جنگل

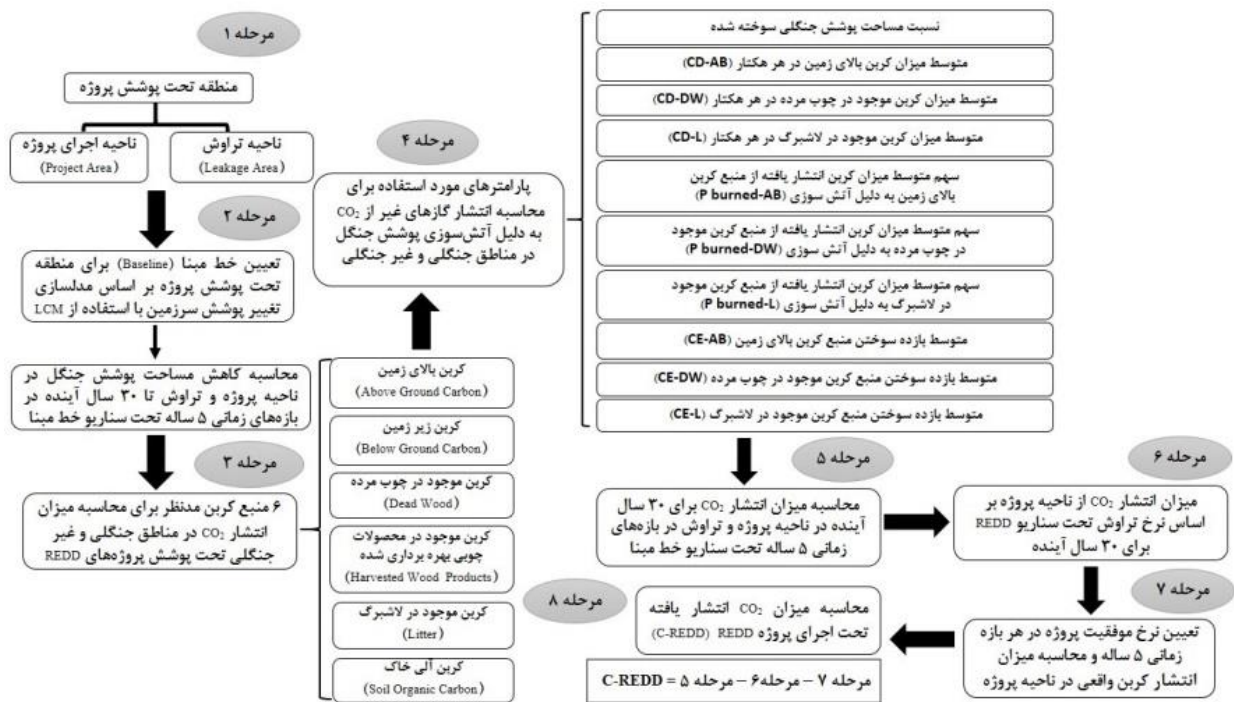
برای تهیه نقشه پوشش جنگل سال ۱۳۶۳ از نقشه پوشش سرزمین استان مازندران تهیه شده توسط (میرزایی و همکاران، ۱۳۹۲)، برای سال ۱۳۷۹، از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده ETM+ ماهواره لندست (تاریخ: ۲۰۰۰/۷/۱۸) با شماره گذر ۱۶۴ و ردیف ۳۵ استفاده شده است. تصویر مربوط از سایت (Global Land Cover Facility) دانلود و سپس با استفاده از روش اساسه‌بندی حداکثر احتمال<sup>(۱۷)</sup> نقشه پوشش جنگل تهیه شده است. همچنین، به منظور تولید نقشه پوشش جنگل سال ۱۳۹۳ از روش رقومی‌سازی تصاویر ماهواره‌ای Google Earth استفاده شده است.

#### بارسازی تغییرات پوشش جنگل (آنالیز تغییرات)

در این مرحله، به بارسازی تغییرات ایجاد شده پوشش جنگلی در بازه‌های زمانی ۱۳۷۹-۱۳۶۳ و ۱۳۹۳-۱۳۶۳ با استفاده از مدل‌سازی تغییر سرزمین پرداخته شده است.

#### مدل‌سازی پتانسیل انتقال کاربری‌ها

در مطالعه حاضر، با استفاده از نقشه‌های پوشش جنگل مربوط به سال‌های ۱۳۶۳ و ۱۳۷۹ و اسنجهی مدل صورت گرفته است و سپس به کمک متغیرهای مستقل مورد استفاده در این مطالعه که عبارتند از: مدل رقومی ارتفاع، شیب، فاصله از رودخانه‌ها، فاصله از جاده‌ها، فاصله از مناطق مسکونی سال ۱۳۶۳، فاصله از روستاها و فاصله از حاشیه جنگل سال ۱۳۶۳، ارتباط بین تغییر کاربری از مناطق جنگلی به غیر جنگلی با استفاده از آماره ضریب همبستگی کرامر تعیین می‌شود. ضریب کرامر، عددی



شکل (۲): مدل‌سازی خط‌مبنا REDD بر اساس روش کربن استاندارد اختیاری (VCS) (Pedroni et al., 2008)

خط‌مبنا با استفاده از دوره واسنجی ۱۳۹۳-۱۳۶۳ و به کمک مدل شبکه عصبی مصنوعی ایجاد می‌شود. خط‌مبنا، به معنی کاهش میزان مساحت پوشش جنگل در ناحیه اجرای پروژه و تراوش در شرایط عدم حفاظت از منطقه و برای بازه زمانی ۳۰ ساله می‌باشد. این میزان کاهش مساحت پوشش جنگل برای هر بازه زمانی ۵ ساله هم‌ارایه می‌شود.

### مرحله سوم: منابع کربن مدنظر برای محاسبه میزان انتشار CO<sub>2</sub> در مناطق جنگلی تحت پوشش پروژه‌های REDD

همان‌طور که در شکل (۲) نشان داده شده است، ۶ منبع کربن برای محاسبه میزان انتشار CO<sub>2</sub> از مناطق جنگلی و غیر جنگلی در نظر گرفته می‌شود که به دلیل عدم دسترسی به اطلاعات هر ۶ منبع در پروژه‌های مختلف از برخی از داده‌های کربن استفاده می‌شود. در این مطالعه، از نقشه جهانی ذخایر کربن اکوسیستم‌های خشکی استفاده شد که این نقشه به منظور اجرای پروژه‌های REDD برای کل دنیا توسط (Kapos et al., 2008) ارائه شده است. در مطالعه حاضر، بر اساس نقشه تهیه شده، مجموع کربن بالای زمین، زیر زمین و کربن آلی خاک برای مناطق جنگلی، ۱۵۰/۲۷ تن در هکتار و برای مناطق غیر

یکی از روش‌هایی که امروزه برای اجرای پروژه‌های REDD به کار گرفته می‌شود، روش‌شناسی ارایه شده توسط بنگاه سرمایه‌گذاری کربن زیستی (BioCF)<sup>(۲۱)</sup> می‌باشد که روش مورد نظر تحقیق حاضر (Pedroni et al., 2008) نیز برگرفته از روش کربن استاندارد اختیاری (VCS) برای اجرای پروژه‌های REDD می‌باشد.

**مرحله اول: تعیین ناحیه اجرای پروژه<sup>(۲۲)</sup> و تراوش<sup>(۲۳)</sup>**  
در این روش، کل منطقه<sup>(۲۴)</sup> تحت پوشش پروژه به دو بخش تقسیم می‌شود: ناحیه اجرای پروژه که حفاظت از جنگل‌ها در این ناحیه صورت خواهد گرفت و ناحیه تراوش که در این منطقه فعالیت‌های جنگل‌زدایی در جریان می‌باشد. در مناطقی که پروژه اجرا می‌شود، هدف مقابله با عوامل تخریب جنگل و انتقال آنها به ناحیه تراوش می‌باشد که بتوان با گذر زمان از فعالیت‌های جنگل‌زدایی جلوگیری کرد.

**مرحله دوم: تعیین خط‌مبنا برای منطقه تحت پوشش پروژه بر اساس مدل‌سازی تغییر پوشش سرزمین با استفاده از مدلساز تغییر سرزمین**  
در این مرحله برای ناحیه اجرای پروژه و ناحیه تراوش یک

جنگل ۶۵ تن در هکتار می‌باشد.

**مرحله پنجم: محاسبه میزان انتشار CO<sub>2</sub> برای ۳۰ سال آینده در ناحیه اجرای پروژه و تراوش در بازه‌های زمانی ۵ ساله**

در تحقیق حاضر، با در نظر گرفتن میزان کاهش مساحت جنگل‌ها و همچنین میزان متوسط کربن برای مناطقی با پوشش جنگلی و غیرجنگلی، میزان انتشار CO<sub>2</sub> با استفاده از روابط (۱)، (۲، ۳) و برای ۳۰ سال آینده در ناحیه پروژه و تراوش محاسبه شد (Pedroni et al., 2008).

**مرحله چهارم: پارامترهای مورد استفاده برای محاسبه انتشار گازهای غیر از CO<sub>2</sub> به دلیل آتش‌سوزی پوشش جنگل**

در پروژه‌های REDD، علاوه بر محاسبه انتشار گاز CO<sub>2</sub>، همچنین انتشار گازهای غیر از CO<sub>2</sub> مانند متان (CH<sub>4</sub>) و دی‌نیتروژن مونوکسید (N<sub>2</sub>O) به دلیل آتش‌سوزی پوشش جنگلی مدنظر قرار می‌گیرد که این امر نیاز به مطالعات دقیق و تهیه داده‌های مناسب دارد، به همین دلیل در مطالعه حاضر، از این مورد صرف نظر شده است (Pedroni et al., 2008).

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{میزان متوسط تراکم کربن} \\ \left( \frac{\text{ton}}{\text{ha}} \right) \end{array} \right\} \times \left\{ \begin{array}{l} \text{میزان مساحت تخریب شده} \\ \text{پوشش جنگلی (ha)} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{میزان گاز کربن دی اکسید} \\ \text{انتشار یافته از مناطق جنگلی (tCO2e)} \end{array} \right\} \quad (1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{میزان متوسط تراکم کربن} \\ \left( \frac{\text{ton}}{\text{ha}} \right) \end{array} \right\} \times \left\{ \begin{array}{l} \text{میزان مساحت اضافه شده} \\ \text{پوشش غیرجنگلی (ha)} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{کربن ترسیب شده در} \\ \text{مناطق غیرجنگلی (tCO2e)} \end{array} \right\} \quad (2)$$

بازه زمانی ۵ ساله از رابطه (۳) به دست خواهد آمد:

در نهایت، میزان کل CO<sub>2</sub> انتشار یافته از منطقه، تحت سناریو خط‌مبنا برای نواحی پروژه و تراوش تا ۳۰ سال آینده و برای هر

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{میزان کل گاز کربن دی اکسید} \\ \text{انتشار یافته از منطقه (tCO2e)} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{کربن ترسیب شده در} \\ \text{مناطق غیرجنگلی (tCO2e)} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{میزان گاز کربن دی اکسید} \\ \text{انتشار یافته از مناطق جنگلی (tCO2e)} \end{array} \right\} \quad (3)$$

فعالیت‌های تراوش در ناحیه اجرای پروژه می‌باشد و بررسی به عمل می‌آید که در صورت جابه‌جایی عوامل تخریب از ناحیه پروژه به تراوش چه میزان از تأثیر این عوامل کاسته می‌شود.

**مرحله ششم: میزان انتشار CO<sub>2</sub> از ناحیه پروژه بر اساس نرخ تراوش، تحت سناریو REDD برای ۳۰ سال آینده**  
در این مرحله، با استفاده از رابطه (۴) میزان نرخ تراوش‌های<sup>(۲۵)</sup> متفاوت محاسبه می‌شود. در واقع، این میزان انتشار به دلیل

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{میزان کل گاز کربن دی اکسید} \\ \text{انتشار یافته از ناحیه تراوش (tCO2e)} \end{array} \right\} \times \left\{ \begin{array}{l} \text{نرخ تراوش} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{میزان انتشار CO2 بواسطه‌ی جابه‌جایی} \\ \text{فعالیت‌های جنگل‌زدایی در ناحیه اجرای پروژه (tCO2e)} \end{array} \right\} \quad (4)$$

دهنده میزان موفقیت پروژه در زمینه کاهش انتشار CO<sub>2</sub> به دلیل فعالیت‌های تراوش می‌باشد. بر این اساس، برای هر بازه زمانی ۵ ساله نرخ موفقیت<sup>(۲۷)</sup> پروژه تعیین می‌شود که هر چه این میزان بالاتر باشد نشان‌دهنده بازدهی پروژه در ارتباط با کاهش انتشار CO<sub>2</sub> خواهد بود. با استفاده از نرخ موفقیت، کاهش انتشار CO<sub>2</sub>

**مرحله هفتم: تعیین نرخ موفقیت پروژه در هر بازه زمانی ۵ ساله و محاسبه میزان انتشار CO<sub>2</sub> واقعی<sup>(۲۶)</sup> در ناحیه پروژه**

اگر در صورت حفاظت از ناحیه پروژه بتوان از میزان انتشار CO<sub>2</sub> به دلیل فعالیت‌های تراوش جلوگیری کرد، این امر نشان

(۶) میزان کربن واقعی انتشار یافته تحت اجرای پروژه تعیین می‌شود. در مطالعه حاضر، نرخ تراوش و موفقیت پروژه برگرفته از اجرای پروژه REDD در پارک ملی Mantadia کشور ماداگاسکار می‌باشد (Eastman, 2012b).

یا به اصطلاح کربن واقعی در ناحیه پروژه برای هر بازه زمانی ۵ ساله از رابطه (۵) (Pedroni et al., 2008) محاسبه می‌شود. این رابطه، نشان می‌دهد در صورت اجرای پروژه REDD چه میزان از انتشار کربن جلوگیری خواهد شد و با استفاده از رابطه

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{میزان کل گاز کربن دی اکسید} \\ \text{انتشار یافته از ناحیه پروژه (tCO2e)} \end{array} \right\} \times \left\{ \begin{array}{l} \text{نرخ موفقیت} \\ \text{میزان کربن واقعی که از انتشار} \\ \text{آن جلوگیری شده (tCO2e)} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{میزان کربن واقعی انتشار یافته} \\ \text{تحت اجرای پروژه} \\ \text{(C, Actual)} \end{array} \right\} \quad (5)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{میزان کل گاز کربن دی اکسید} \\ \text{انتشار یافته از ناحیه پروژه (tCO2e)} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{میزان کربن واقعی که از انتشار} \\ \text{آن جلوگیری شده (tCO2e)} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{میزان کربن واقعی انتشار یافته} \\ \text{تحت اجرای پروژه} \\ \text{(C, Actual)} \end{array} \right\} \quad (6)$$

افزایش پذیری کربن به دست می‌آید (Pedroni et al., 2008). در نهایت، تمام نتایج حاصل از مدل‌سازی خط‌مبنا REDD و روابط ذکر شده تحت فایلی با عنوان سند طراحی پروژه<sup>(۲۸)</sup> (PDD) ارایه می‌شود. سند طراحی پروژه، اثر کربن مناطق پروژه، تراوش و کل منطقه را برای دوره‌های مخصوص در طول اجرای پروژه ارزیابی می‌کند.

### مرحله هشتم: محاسبه میزان انتشار CO<sub>2</sub> تحت اجرای پروژه REDD

نتایج حاصل از روابط (۴ و ۶)، نشان‌دهنده میزان کربنی است که در صورت اجرای REDD می‌توان از انتشار آن جلوگیری نمود. در ادامه، با استفاده از رابطه (۷) میزان انتشار CO<sub>2</sub> در صورت اجرای پروژه نسبت به خط‌مبنا مقایسه خواهد شد و میزان

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{میزان انتشار CO2 بواسطه‌ی جابه‌جایی فعالیت‌های} \\ \text{جنگل‌زدایی در ناحیه اجرای پروژه (tCO2e)} \\ \text{(C, Leakage)} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{میزان کربن واقعی انتشار یافته} \\ \text{تحت اجرای پروژه} \\ \text{(C, Actual)} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{میزان کل گاز کربن دی اکسید} \\ \text{انتشار یافته از ناحیه پروژه} \\ \text{(C, Baseline)} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{میزان گاز کربن دی اکسید} \\ \text{جلوگیری شده از انتشار آن تحت اجرای پروژه} \\ \text{(C, REDD)} \end{array} \right\} \quad (7)$$

نشان داد که بین سال‌های ۱۳۶۳ تا ۱۳۷۹، نزدیک به ۱۷۲۵ هکتار از مناطق جنگلی و طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۳، حدود ۱۶۸۸ هکتار از پوشش جنگل کاسته شده است.

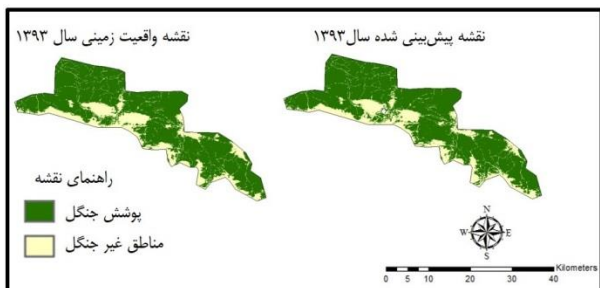
### یافته‌ها

تهیه نقشه‌های پوشش جنگل و بارزسازی تغییرات نقشه‌های پوشش جنگل مربوط به سال‌های ۱۳۶۳، ۱۳۷۹ و ۱۳۹۳ در شکل (۳)، نمایش داده شده است. بارزسازی تغییرات



شکل (۳): نقشه‌های پوشش جنگل منطقه مورد مطالعه

پیش‌بینی تغییرات برای سال ۱۴۲۳ صورت گرفت و نقشه پوشش جنگل سال ۱۴۲۳ در شکل (۵)، نشان داده شده است.

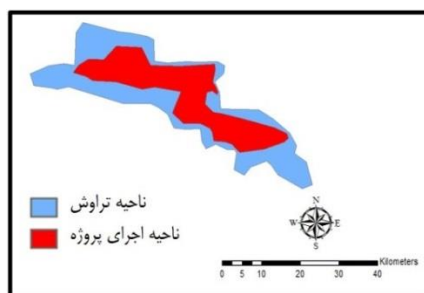


شکل (۴): نقشه واقعیت زمینی سال ۱۳۹۳ (سمت چپ)، نقشه پیش‌بینی شده سال ۱۳۹۳ (سمت راست)



شکل (۵): نقشه پیش‌بینی شده پوشش جنگل سال ۱۴۲۳

برای مدل‌سازی خط‌مبنا پروژه REDD باید مرزهای مکانی نواحی اجرای پروژه و تراوش تعیین شود که این نواحی برای منطقه مورد مطالعه در شکل (۶) نشان داده شده است. مساحت منطقه اجرای پروژه و تراوش به ترتیب  $34527/78$  و  $22444/11$  هکتار می‌باشد. در مطالعه حاضر، میزان کاهش مساحت پوشش جنگل در راستای مدل‌سازی خط‌مبنا پروژه REDD برای نواحی اجرای پروژه و تراوش محاسبه می‌شود و پس از اجرای پروژه REDD، نتایج کلی حاصل از اجرای پروژه ارایه شده است.



شکل (۶): مرزهای مکانی نواحی اجرای پروژه و تراوش

## مدل‌سازی پتانسیل انتقال و پیش‌بینی تغییرات برای سال ۱۳۹۳

رابطه بین متغیرهای مستقل و تغییرات صورت گرفته بر اساس ضریب کرامر در جدول (۱)، نشان داده شده است. جدول (۱)، نشان می‌دهد که بیشترین و کمترین میزان ضریب همبستگی کرامر به ترتیب برای متغیر مدل رقومی ارتفاع و شیب می‌باشد.

جدول (۱): مقادیر ضریب همبستگی کرامر برای متغیرهای استفاده شده در مدل

متغیر	ضریب همبستگی کرامر
مدل رقومی ارتفاع	۰/۴۸۷۳
فاصله از حاشیه جنگل ۱۳۶۳	۰/۲۷۹۴
فاصله از مناطق مسکونی ۱۳۶۳	۰/۲۵۱۵
فاصله از روستا	۰/۲۴۹۱
فاصله از جاده‌ها	۰/۱۸۳۰
فاصله از رودخانه‌ها	۰/۱۲۵۷
شیب	۰/۰۶۲۹

تعیین تقاضای تغییر پوشش جنگل به کمک زنجیره مارکف صورت گرفت و نقشه پیش‌بینی پوشش جنگل برای سال ۱۳۹۳ در شکل (۴) و ماتریس احتمال تغییرات پوشش جنگل در جدول (۲)، نشان داده شده است. همچنین، نتایج ارزیابی صحت نشان می‌دهد که خروجی حاصل از مدل با میزان ROC برابر با  $0/975$  توافق بالایی با تغییرات واقعی صورت گرفته دارد.

جدول (۲): ماتریس احتمالات انتقال بین سال‌های ۱۳۷۹ - ۱۳۹۳

اساسات کاربری	پوشش جنگل ۱۳۹۳	مناطق غیر جنگل ۱۳۹۳
پوشش جنگل ۱۳۷۹	۰/۹۲۱۸	۰/۰۷۸۲
مناطق غیر جنگل ۱۳۷۹	۰/۰۰۰۱	۰/۹۹۹۹

## مدل‌سازی پتانسیل انتقال پوشش جنگل به پوشش غیر جنگل و پیش‌بینی تغییرات برای ۳۰ سال آینده در راستای اجرای پروژه REDD

با استفاده از دو نقشه پوشش جنگل سال‌های ۱۳۶۳ و ۱۳۹۳ و به همراه ۷ متغیر مستقل ذکر شده در جدول (۱)، واسنجی و



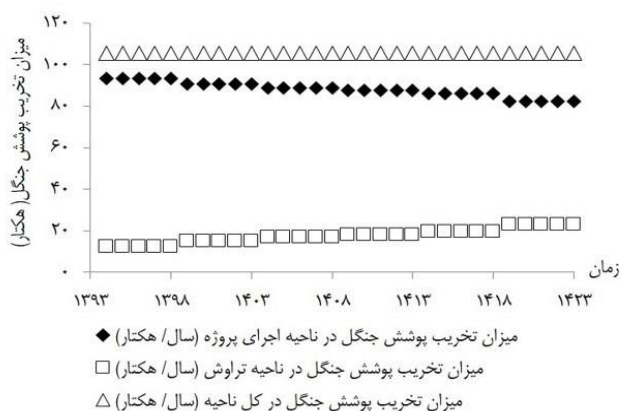
### نتایج اجرای پروژه REDD در منطقه مورد مطالعه

نمودارهای اجرای پروژه در منطقه مورد مطالعه در شکل (۷)، نشان داده شده است. همانگونه که شکل (۷) نشان می‌دهد، نمودار (الف) بیانگر میزان تخریب مساحت پوشش جنگل در بازه‌های زمانی ۵ ساله تحت سناریو خط‌مبنا می‌باشد. بیشترین میزان کاهش مساحت پوشش جنگل در ناحیه اجرای پروژه مربوط به ۵ سال اول (۹۳/۲۹ هکتار در سال) و کمترین میزان تخریب مربوط به ۵ سال آخر (۸۲/۴۸ هکتار در سال) می‌باشد. همچنین، بیشترین میزان تخریب در ناحیه تراوش مربوط به بازه زمانی ۵ ساله آخر (۲۳/۱۱ هکتار در سال) و کمترین میزان مربوط به ۵ ساله اول (۱۲/۲۹ هکتار در سال) می‌باشد. نمودار (ب)، نشان می‌دهد که در صورت عدم اجرای REDD، طی ۳۰ سال آینده به ترتیب نزدیک به ۲۶۴۴، ۵۲۳ و ۳۱۶۷ هکتار پوشش جنگل در ناحیه اجرای پروژه، تراوش و کل منطقه تخریب می‌شود. نمودار (ج)، بیانگر این است که در ناحیه اجرای پروژه تحت سناریو خط‌مبنا، بر اساس رابطه (۱) بیشترین میزان انتشار در بازه زمانی ۵ ساله نخست (حدود  $51450 tCO_2e$ ) و کمترین میزان انتشار در ۵ سال آخر (حدود  $45484 tCO_2e$ ) مشاهده خواهد شد. همچنین، به دلیل تبدیل پوشش جنگل به مناطق غیر جنگل لزوماً کل منابع کربن موجود انتشار نمی‌یابد و میزانی باقی می‌ماند که این میزان در ناحیه اجرای پروژه تحت تأثیر سناریو خط‌مبنا و بر اساس رابطه (۲)، در بازه زمانی ۵ ساله نخست که بیشترین تخریب هم روی می‌دهد، دارای بیشترین مقدار (حدود  $22255 tCO_2e$ ) و در ۵ سال پایانی کمترین مقدار (حدود  $19674 tCO_2e$ ) را دارا می‌باشد. نمودار (د)، نشان می‌دهد که تحت سناریو خط‌مبنا طی ۳۰ سال آینده  $1458451 tCO_2e$  از ناحیه پروژه انتشار می‌یابد که از این میزان  $630860 tCO_2e$  به واسطه تبدیل پوشش جنگل به مناطق غیر جنگلی ترسیب می‌شود. در نهایت، بر اساس رابطه (۳) تا سال ۱۴۲۳ حدود  $827591/5 tCO_2e$  از ناحیه پروژه به اتمسفر انتشار می‌گردد. نمودار (ه) به مانند نمودار ج، به این معناست که در ناحیه تراوش تحت سناریو خط‌مبنا و بر اساس رابطه (۱)، بیشترین میزان انتشار در بازه زمانی ۵ ساله آخر (حدود  $12746 tCO_2e$ ) و کمترین میزان انتشار در بازه زمانی ۵ ساله نخست (حدود  $6780 tCO_2e$ ) می‌باشد. همچنین، بر اساس رابطه (۲) بیشترین میزان ترسیب کربن در بازه زمانی ۵ ساله آخر (حدود

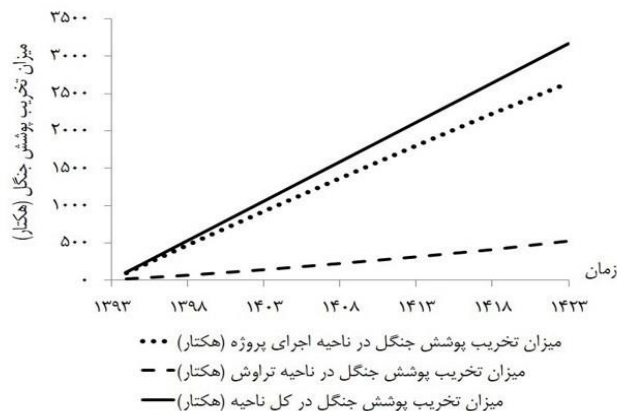
$5513 tCO_2e$ ) و کمترین میزان در بازه زمانی ۵ ساله نخست (حدود  $2932 tCO_2e$ ) می‌باشد. نمودار (و)، بیانگر این است که تحت سناریو خط‌مبنا طی ۳۰ سال آینده  $288473 tCO_2e$  از ناحیه تراوش انتشار می‌یابد که از این میزان  $124780 tCO_2e$  ترسیب می‌شود. در نهایت، بر اساس رابطه (۳) تا ۳۰ سال آینده حدود  $163693 tCO_2e$  از ناحیه تراوش به اتمسفر انتشار می‌یابد. نمودار (ز) نشان می‌دهد تحت سناریو خط‌مبنا تا ۳۰ سال آینده حدود  $1746925/37 tCO_2e$  از کل منطقه مورد مطالعه انتشار می‌یابد که از این مقدار  $755640/81 tCO_2e$  ترسیب شده و بر اساس رابطه (۳) نزدیک به  $991284/56 tCO_2e$  از کل منطقه انتشار می‌یابد. نمودار (ح) نشان می‌دهد تحت سناریو خط‌مبنا  $163693/16 tCO_2e$  از ناحیه تراوش طی ۳۰ سال انتشار می‌یابد و فرض بر این است که در صورت عدم حفاظت از ناحیه اجرای پروژه این میزان انتشار در ناحیه پروژه صورت می‌گرفت. حال با حفاظت از ناحیه پروژه بر اساس رابطه (۴)، این میزان انتشار به  $111549/11 tCO_2e$  کاهش می‌یابد که در این صورت با اجرای پروژه از انتشار  $52144/05 tCO_2e$  اجتناب می‌گردد. نمودار (ط) نشان دهنده انتشار میزان کربن واقعی می‌باشد که در راستای موفقیت‌آمیز بودن پروژه بر اساس رابطه (۵)، از انتشار  $69560/5 tCO_2e$  جلوگیری می‌شود. در نهایت، با استفاده از رابطه (۶) میزان  $131986 tCO_2e$  به عنوان انتشار کربن واقعی برای پروژه در نظر گرفته شد. نمودار (ی)، نشان می‌دهد که در صورت اجرای پروژه REDD از چه میزان انتشار کربن به اتمسفر جلوگیری می‌شود. که در مطالعه حاضر، بین سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۴۲۳ حدود ۳۱۶۷ هکتار پوشش جنگل تخریب می‌شود و  $827591/5 tCO_2e$  انتشار می‌یابد که در صورت اجرای پروژه REDD این میزان انتشار به  $243535/10 tCO_2e$  می‌رسد که می‌توان بر اساس رابطه (۷)، از انتشار  $584056/38 tCO_2e$  به اتمسفر جلوگیری نمود.

### بحث و نتیجه‌گیری

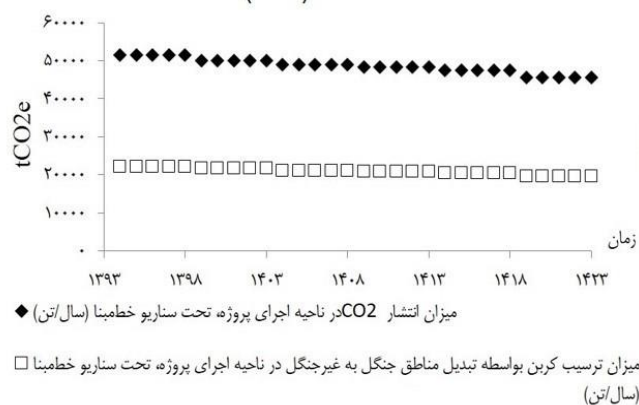
در این مطالعه، تغییرات پوشش جنگل مناطقی از شهرستان‌های نوشهر و نور بررسی شد، این مناطق در چندین دهه اخیر همواره در معرض عوامل مخرب انسانی قرار گرفته‌اند. تحقیق حاضر، نشان داده است که در ارتباط با منطقه مورد مطالعه، اجرای پروژه‌های REDD می‌تواند به کاهش انتشار گاز  $CO_2$  به



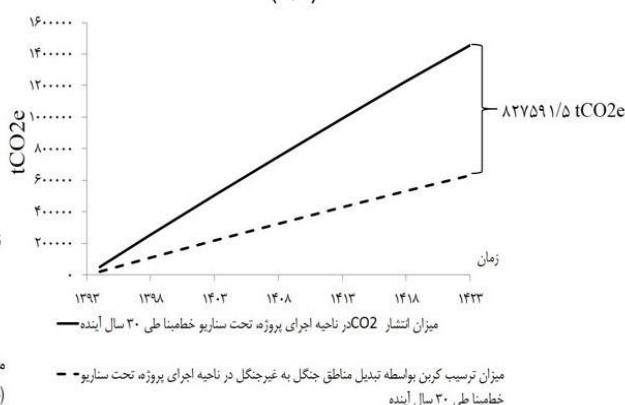
(الف)



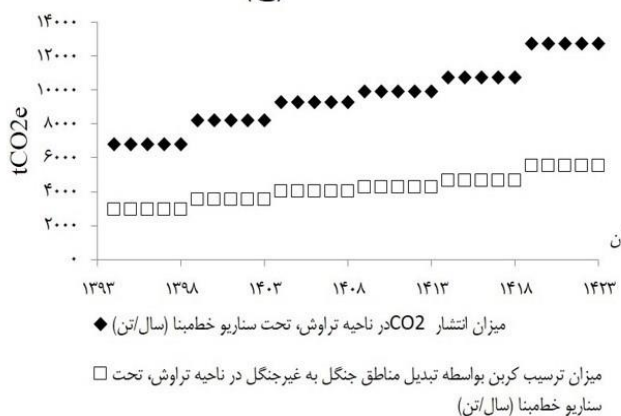
(ب)



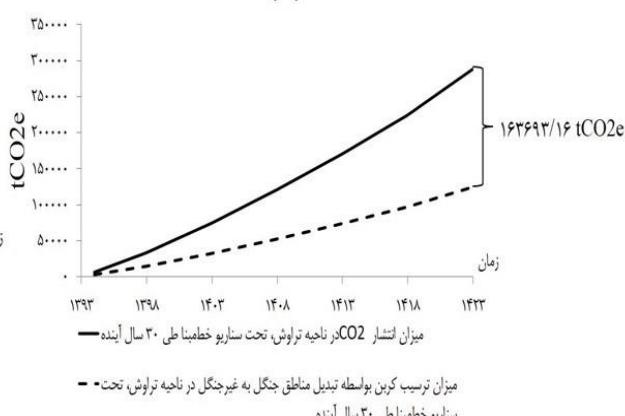
(ج)



(د)

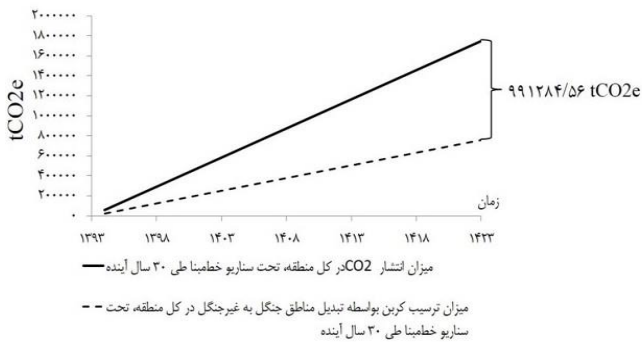


(ه)

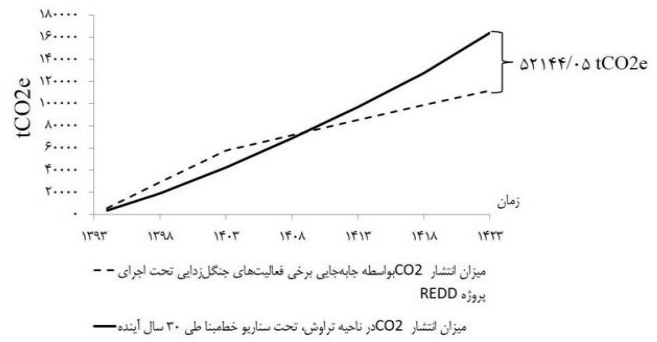


(و)

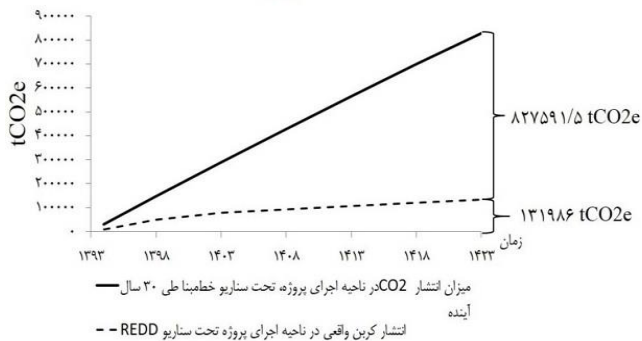
شکل (۷): نمودارهای اجرای پروژه REDD. الف؛ میزان تخریب مساحت پوشش جنگل تحت سناریو خط‌مبنا برای بازه‌های ۵ ساله، ب؛ نمودار تجمعی میزان کاهش مساحت پوشش جنگل تحت سناریو خط‌مبنا، ج؛ میزان انتشار CO<sub>2</sub> و ترسیب کربن در ناحیه اجرای پروژه، تحت سناریو خط‌مبنا (بازه‌های زمانی ۵ ساله)، د؛ نمودار تجمعی میزان انتشار CO<sub>2</sub> و ترسیب کربن در ناحیه اجرای پروژه تحت سناریو خط‌مبنا (طی ۳۰ سال آینده)، ه؛ میزان انتشار CO<sub>2</sub> و ترسیب کربن در ناحیه تراوش تحت سناریو خط‌مبنا (بازه‌های زمانی ۵ ساله)، و؛ نمودار تجمعی میزان انتشار CO<sub>2</sub> و ترسیب کربن در ناحیه تراوش تحت سناریو خط‌مبنا (طی ۳۰ سال آینده)



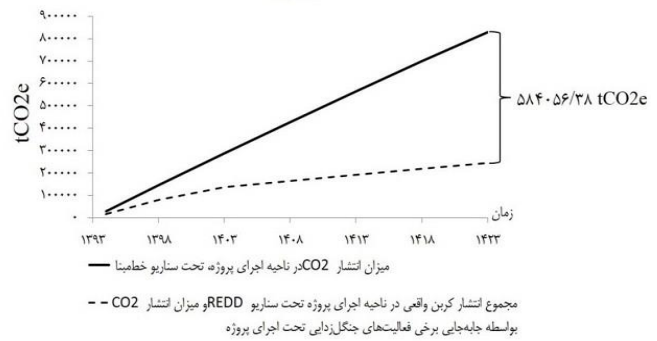
(ز)



(ح)



(ط)



(ی)

ادامه شکل (۷): نمودارهای اجرای پروژه REDD. ز؛ نمودار تجمعی میزان انتشار CO<sub>2</sub> و ترسیب کربن در کل منطقه، تحت سناریو خط‌مبنا (طی ۳۰ سال آینده)، ح؛ میزان کاهش انتشار CO<sub>2</sub> بواسطه جابه‌جایی برخی فعالیت‌های جنگل‌زدایی در ناحیه اجرای پروژه، تحت سناریو REDD، ط؛ میزان انتشار کربن واقعی تحت اجرای پروژه، ی؛ میزان tCO<sub>2</sub>e که با اجرای پروژه REDD از انتشار آن به اتمسفر جلوگیری می‌شود. (C-REDD)

اجرای پروژه‌های REDD می‌تواند سهم جنگل‌های هیرکانی را به‌عنوان یکی از ذخایر ارزشمند کربن جهان، در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و تعدیل تغییرات اقلیمی نمایان سازد. همچنین، به‌واسطه اجرای این پروژه‌ها می‌توان از مزایای مالی کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای تحت پروژه‌های مکانیسم توسعه پاک بهره‌مند شد. لازم به‌ذکر است که جنگل‌های هیرکانی ایران فاکتورهای لازم برای اجرای پروژه‌های REDD از قبیل مواجهه با تغییرات شدید کاربری اراضی، تهدید تنوع‌زیستی و ذخایر کربن بالا را دارا می‌باشند و با توجه به این قابلیت‌ها و نقش غیرقابل انکار جنگل‌ها در تعدیل تغییرات اقلیمی، می‌بایست به‌دنبال اجرای این پروژه‌ها به‌عنوان راهکاری برای بحران کاهش جنگل‌های هیرکانی و کاهش پیامدهای منفی تغییرات اقلیمی ناشی از جنگل‌زدایی باشیم.

## یادداشت‌ها

### 1. Ecosystem Services

اتمسفر و در نهایت تعدیل تغییرات اقلیمی در بازه زمانی طولانی مدت کمک کند. در واقع، روش‌شناسی ارایه شده در تحقیق حاضر می‌تواند به‌منظور بارزسازی و مدل‌سازی تغییرات پوشش جنگلی در استان مازندران مورد استفاده قرار گیرد. همچنین، با استفاده از روش کربن استاندارد اختیاری (VCS) می‌توان به محاسبه کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای پرداخت. از سوی دیگر، با استفاده از روش‌شناسی ذکر شده می‌توان به تکمیل بخش‌هایی از سند طراحی پروژه شامل طراحی سناریو خط‌مبنا، استفاده از روابط یا مدل‌هایی به منظور برآورد میزان کربن واقعی انتشار یافته طی اجرای پروژه و بررسی میزان کاهش انتشار کربن به‌واسطه جابه‌جایی فعالیت‌های جنگل‌زدایی از ناحیه پروژه به تراوش پرداخت.

با توجه به روند شدید تغییرات کاربری اراضی در استان مازندران، در آینده‌ای نزدیک شاهد پیامدهای منفی تغییرات اقلیمی با ادامه این روند خواهیم بود. همچنین، جنگل‌های هیرکانی شرایطی مشابه با منطقه مورد مطالعه در تحقیق حاضر را دارند. بنابراین،

2. Payments for Environment Services (PES)
3. Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation (REDD)
4. Bali Action Plane
5. Conference of the Parties
6. United Nations Framework Convention on Climate Change
7. Additionality
8. The United Nations Collaborative Programme
9. Clean Development Mechanism (CDM)
10. <http://www.doe.ir/Portal/home/?130498/>
11. Land Change Modeler (LCM)
12. Empirical Modeling of Transition Potential
13. Multi-Layer Perceptron Neural Network
14. Voluntary Carbon Units (VCUS)
15. Tons of Carbon Dioxide Equivalent (tCO<sub>2</sub>e),  
tCO<sub>2</sub>e = 44/12 × Carbon content (ha/ton),  
(Pedroni et al., 2008)
16. Baseline modeling
17. Maximum Likelihood Classification
18. Area Under Curve/ Relative Operating Characteristic
19. True Positive %
20. False Positive %
21. Bio Carbon Fund (BioCF)
22. Project Area
23. Leakage Area
24. Reference Area
25. Leakage Rate
26. Carbon Actual (C-Actual)
27. Success Rate
28. Project Design Document (PDD)

### فهرست منابع

- شناسنامه مناطق حفاظت شده، دفتر زیستگاه‌ها و امور مناطق - سازمان حفاظت محیط‌زیست. ۱۳۹۴. (<http://www.doe.ir>)، تاریخ مشاهده: ۱۱ فروردین، ۱۳۹۴.
- میرزایی، م.؛ ریاحی بختیاری، ع.؛ سلمان ماهینی، ع. و غلامعلی فرد، م. ۱۳۹۲. بررسی تغییرات پوشش اراضی استان مازندران با استفاده از سنجه‌های سرزمین بین سال‌های ۱۳۸۹-۱۳۶۳، اکولوژی کاربردی، ۲ (۴): ۵۴-۳۷.
- Albers, H. J. & Robinson, E. J. Z. 2013. Reducing emissions from deforestation and forest degradation. *Encyclopedia of Energy, Natural Resource and Environmental Economics*. 2: 78-85.
- Atela, J. O.; Quinn, C. H. & Minang, P. A. 2014. Are REDD projects pro-poor in their spatial targeting? evidence from kenya, *Applied Geography*. 52: 14-24.
- Bishop, C. 1995. *Neural networks for pattern recognition*. Clarendon press/oxford university press. Oxford/New York.
- Blom, B.; Sunderland, T. & Murdiyarto, D. 2010. Getting REDD to work locally: lessons learned from integrated conservation and development projects, *Environmental Science & Policy*. 13 (2): 164-172.
- Eastman, J. R.; Van Fossen, M. E. & Solarzano, L. A. 2005. Transition potential modeling for land cover change. In: Maguire, D., Goodchild, M., Batty, M. (Eds.), *GIS, Spatial Analysis and Modeling*. ESRI Press, Redlands, California.
- Eastman, J. R. 2012(a). *IDRISI Guid to GIS and Image processing*. Accessed in IDRISI Selva 17.02. Worcester, MA: Clark University, 324p.
- Eastman, J. R. 2012(b). *IDRISI Help System*. Accessed in IDRISI Selva 17.02. Worcester, MA: Clark University.
- Eckert, S.; Ratsimba, H. R.; Rakotondrasoa, L. O.; Rajoelison, L. G. & Ehrensperger, A. 2011. Deforestation and forest degradation monitoring and assessment of biomass and carbon stock of lowland rainforest in the Analanjirofo region Madagascar, *Forest Ecology and Management*. 262 (11): 1996-2007.
- Gholamalifard, M.; Zare Maivan, H.; Joorabian Shooshtari, S. & Mirzaei, M. 2012. Monitoring land cover changes of forests and coastal areas of northern Iran (1988-2010), a remote sensing approach, *Journal of the Persian Gulf*. 3 (10): 47-56.

- Godoy, F. L. O. & Rojas, E. H. M. 2013. Modeling deforestation to REDD+ project: case study in Alto Mayo protected forest, San Martin region, Peru. In: Proceeding of simposio brasileiro de sensoriamento remoto, foz do Iguacu. April 13-18, 2013: 7233-7240.
- Haibo, Y.; Longjiang, D.; Hengliang, G. & Jie, Z. 2011. Tai'an Land Use Analysis and Prediction Based on RS and Markov Model, *Procedia Environmental Sciences*. Vol. 10, Part C, pp: 2625-2630.
- Haghdoust, N.; Akbarinia, M.; Hosseini, S. M. & Kooch, Y. 2011. Conversion of hyrcanian degraded forests to plantations: effects on soil C and N stocks, *Annals of Biological Research*. 2 (5): 384-399.
- Harris, N. L.; Petrova, S.; Stolle, F. & Brown, S. 2008. Identifying optimal areas for REDD intervention: East Kalimantan, Indonesia as a case study, *Environmental Research Letters*. 3 (3): 1-11.
- Kamelarczyk, K. B. F. & Smith-Hall, C. 2014. REDD herring: epistemic community control of the production, circulation and application of deforestation knowledge in Zambia, *Forest Policy and Economics*. 46: 19-29.
- Kapos, V.; Ravilious, C.; Campbell, A.; Dickson, B.; Gibbs, H.; Hansen, M.; Lysenko, I.; Miles, L.; Price, J.; Scharlemann, J. P. W. & Trumper, K. 2008. Carbon and biodiversity, UNEP-WCMC, Cambridge. UK.
- Kim O. S. 2010. An assessment of deforestation models for reducing emissions from deforestation and forest degradation (REDD), *Transactions in GIS*. 14 (5): 631-654.
- Kumar, R.; Nandy, S.; Agarwal, R. & Kushwaha S. P. S. 2014. Forest cover dynamics analysis and prediction modeling using logistic regression model, *Ecological Indicators*. 45: 444-455.
- Mas, J. F.; Kolb, M.; Paegelow, M.; Camacho Olmedo, M. T. & Houet, T. 2014. Inductive pattern-based land use/cover change models: a comparison of four software packages, *Environmental Modelling & Software*. 51: 94-111.
- Miles, L. & Kapos, V. 2008. Reducing greenhouse gas emissions from deforestation and forest degradation: global land-use implications, *Science*. 320 (5882): 1454-1455.
- Pagiola, S. 2008. Payments for environmental services in Costa Rica, *Ecological economics*. 65 (4): 712-724.
- Parker, C.; Mitchell, A.; Trivedi, M. & Mardas, N. 2009. *The Little REDD Book* (2 ed.), Global Canopy Programme, Oxford.
- Pedroni, L.; Garcia, A.; De jong, B.; Schlamadinger, B.; Steiniger, M.; Brown, S.; Pearson, T.; Andrasko, K. & Scholz, S. 2008. BioCF RED Mosaic Methodology-Version1 of the BioCarbon Fund's proposed Methodology for Estimating Reductions of GHG Emissions from Mosaic Deforestation. Published date: 2009/10/14, <http://wbcarbonfinance.org/Router.cfm?Page=Doclib&CatalogID=49189>, Visited date: 2014/8/2.
- Phelps, J.; Friess, D. A. & Webb, E. L. 2012. Win-win REDD+ approaches belie carbon-biodiversity trade-offs, *Biological Conservation*. 154, 53-60.
- Pontius, G. R. & Schneider, L. C. 2001. Land-cover change model validation by an ROC method for the Ipswich watershed Massachusetts, USA, *Journal of Agriculture Ecosystems and Environment*. 85 (1): 239-284.
- Sangermano, F.; Toledano, J. & Eastman, J. R., 2012. Land cover change in the Bolivian Amazon and its implications for REDD+ and endemic biodiversity, *Landscape ecology*. 27 (4): 571-584.
- Ty, S.; Sasaki, N.; Ahmad, A. H. & Zainal, A. Z. 2011. REDD development in Cambodia-potential carbon emission reductions in a REDD project, *Formath*. 10: 1-23.
- United Nations Framework Convention on Climate Change, 2008. Report of the Conference of the Parties, on its thirteen session held in Bali, from 3 to 15 December 2007.
- UN-REDD Programme-home, 2015. (<http://www.un-redd.org>), Visited site: 2015/1/7.

Wünscher, T.; Engel, S. & Wunder, S. 2008. Spatial targeting of payments for environmental services: a tool for boosting conservation benefits, *Ecological economics*. 65 (4): 822-833.

Yanai, A. M.; Fearnside, P. M.; Graca, P. M. L. D. A. & Nogueira, E. M. 2012. Avoided deforestation in Brazilian Amazonia: simulating the effect of the Juma sustainable development reserve, *Forest Ecology and Management*. 282: 78-91.

Yousefi, M.; Pourmajidian, M. R.; Karimi, M. & Darvishi, L. 2013. Quantitative and qualitative evaluation of forest plantations by four species and suggestion the appropriate species in the hyrcanian forest, *European Journal of Experimental Biology*. 3 (5): 352-360.