نشریه علمی پژوهشی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال هفتم، شماره نخست، بهار ۱۳۹۸

Vol.7, No.1, Spring 2019

۱۲۱-۱٤٤

مقاله پژوهشی

# رویه یادگیری برمبنای نمونه وزنی تشابه برای مدل‌سازی پتانسیل انتقال پوشش اراضی و کاربرد آن در سند طراحی پروژه *REDD*

**کوشا پارسامهر[۱]، مهدی غلامعلی‌فرد[۲*]، یحیی کوچ[۳]**

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد 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.

۳- استادیار گروه جنگلداری (گرایش علوم خاک)، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۱۱/۱۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۱۱/۲۹

## چکیده

کاهش انتشارات ناشی از جنگل‌زدایی و تخریب جنگل ( *Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation (REDD)*)، راهکاری برای تعدیل تغییرات اقلیمی است که به‌منظور کاهش شدت جنگل‌زدایی و انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌کار گرفته می‌شود. در چند دهه‌ی اخیر تغییرات شدید کاربری اراضی در استان مازندران باعث کاهش میزان چشمگیری از جنگل‌های هیرکانی شده است. تحقیق حاضر بر اساس اهداف پروژه‌های *REDD*، به بررسی تغییرات پوشش جنگل در محدوده‌ای از بخش‌های کجور و مرزن آباد در استان مازندران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست متعلق به سال‌های ۱۳۶۳، ۱۳۷۹ و ۱۳۹۳ پرداخته است. در این مطالعه، برای اولین بار در ایران با استفاده از رویه یادگیری برمبنای نمونه وزنی مشابهت، مدل‌سازی تغییرات پوشش جنگل صورت گرفت و به‌منظور اعتبارسنجی از آماره‌های مشخصه عملکرد نسبی، نسبت موفقیت به هشدار خطا و عدد شایستگی استفاده شد. در پایان با استفاده از روش‌شناسی استاندارد کربن اختیاری میزان انتشار گاز $CO_2$ برای ۳۰ سال آینده (تا سال ۱۴۲۳) محاسبه گردید. نتایج نشان داد که به ترتیب طی سال‌های ۱۳۷۹-۱۳۶۳ و ۱۳۹۳-۱۳۷۹ حدود ۴۰۰۸ و ۳۶۳۵ هکتار پوشش جنگل تخریب شده است. نتایج اعتبارسنجی نشان داد که میزان مشخصه عملکرد نسبی برابر با ۰٫۹۵، عدد شایستگی ۲۶ درصد و نسبت موفقیت به هشدار خطا ۸۲ درصد بیانگر صحت بالای مدل می‌باشد. در نهایت نتایج اجرای پروژه *REDD* نشان داد که تحت سناریو خط‌مبنا، *705336 tCO2e* طی ۳۰ سال آینده به اتمسفر انتشار خواهد یافت که با اجرای پروژه *REDD* می‌توان از انتشار *tCO2e* ۴۹۱۶۹۷٫۹۱ جلوگیری نمود. با توجه به افزایش روند تخریب جنگل‌های هیرکانی و نقش مهم آنها در تعدیل تغییرات اقلیمی، با استفاده از روش‌شناسی تحقیق حاضر می‌توان تغییرات پوشش اراضی و تأثیر پروژه‌های *REDD* در میزان کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای را برآورد و پیش‌بینی نموده و در سند طراحی پروژه‌های مکانیسم توسعه پاک در کشور استفاده نمود. .

**کلیدواژه‌ها**: انتشار کربن، پروژه *REDD*، جنگل‌زدایی، رویه یادگیری برمبنای نمونه وزنی مشابهت، استان مازندران

*نویسنده مکاتبه کننده: مازندران، شهرستان نور، خیابان امام خمینی(ره)، بلوار امام رضا(ع)، گروه محیط‌زیست دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس

تلفن: ۰۱۱-۴۴۹۹۹۱۰۷

*Email : m.gholamalifard@modares.ac.ir*

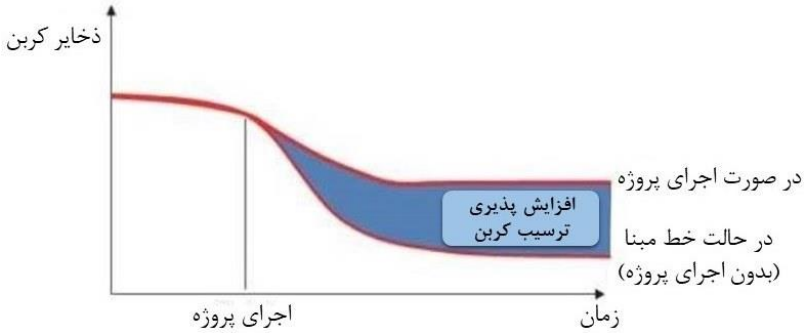
[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13 ]

[ DOI: 10.29252/jgit.7.1.121 ]

## ۱- مقدمه

امروزه با توجه به فشار روزافزون بر منابع طبیعی می‌بایست به دنبال راهکارهای مدیریتی برای کاهش این اثرات منفی باشیم. یکی از این راهکارها، حفاظت از مناطق دارای پتانسیل خدمات اکوسیستمی بر اساس رویکرد پرداخت‌ها برای خدمات محیط‌زیستی می‌باشد [۵۱]. در این راستا، پروژه‌های کاهش انتشارات ناشی از جنگل‌زدایی و تخریب جنگل با توجه به قابلیت اجرا در مناطقی با پوشش جنگلی متفاوت به‌دنبال بهره‌مندی از خدمات محیط‌زیستی اکوسیستم‌ها هستند [۵۴].

پروژه‌های کاهش انتشارات ناشی از جنگل‌زدایی و تخریب جنگل در چند سال اخیر به‌عنوان راهکاری برای تعدیل تغییرات اقلیمی در مقیاس‌های ملی، استانی و ناحیه‌ای توجهات جهانی بسیاری را به‌سوی خود جلب کرده است. در واقع پروژه‌های REDD با هدف افزایش ترسیب کربن در مناطقی با تغییرات شدید کاربری‌های اراضی و فعالیت‌های جنگل‌زدایی مطرح شده‌اند [۱۹ و ۲۱]. موفقیت پروژه‌های REDD در حفاظت از جنگل‌ها می‌تواند باعث افزایش پذیری ترسیب کربن در مناطق تحت اجرای پروژه شود (شکل (۱))؛ در واقع در راستای اجرای پروژه‌های REDD از فعالیت‌هایی مانند تبدیل مناطق جنگلی به زمین‌های کشاورزی، قطع بی‌رویه درختان و هرگونه عوامل مهم تخریب پوشش جنگل در ناحیه اجرای پروژه جلوگیری خواهد شد [۱۵]. علاوه بر این پروژه‌های REDD ابعاد اقتصادی-اجتماعی و حفاظت از تنوع زیستی منطقه را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهند و به‌دنبال بهبود عملکرد آن‌ها می‌باشند [۳ و ۲۵]




**شکل۱: میزان منابع کربن به واسطه اجرای پروژه REDD [۲۱]**

با توجه به تخریب شدید جنگل‌های کشورهای در حال توسعه در چند دهه‌ی اخیر و افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای و کاهش میزان ذخایر کربن ناشی از فرآیند جنگل‌زدایی و تخریب جنگل، در همین راستا تا به امروز بسیاری از کشورهای متأثر از چنین مشکلات مانند برزیل، ویتنام، اندونزی، مالزی، ماداگاسکار و... به‌عضویت برنامه همکاری ملل متحد[1] در ارتباط با پروژه‌های REDD درآمده‌اند [۲۲ و ۴۴]. به نوعی پروژه‌های REDD به‌عنوان یکی از مکانیسم‌های توسعه پاک[2] با هدف احیای جنگل‌ها مطرح می‌باشند. مکانیسم توسعه پاک پروژه‌هایی هستند که کشورهای توسعه یافته جهت تحقق تعهدات خود در کاهش انتشار و همچنین کمک به توسعه پایدار در کشورهای در حال توسعه اجرا می‌نمایند [۴]. در واقع با استفاده از روش شناسی مطالعه حاضر می‌توان سند طراحی پروژه‌هایی را که به‌منظور حفاظت و احیای جنگل‌ها[3] در راستای اهداف مکانیسم توسعه

[5]. The United Nations Collabroative Programme

[6]. Clean Development Mechanisms (CDM)

[7]. http://www.doe.ir/Portal/home/?130498/



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13 ]

[ DOI: 10.29252/jgit.7.1.121 ]

پاک ارائه گردیده است را تکمیل نمود و میزان کاهش انتشار را مورد بررسی قرار داد.

امروزه برای شناسایی و پیش‌بینی میزان جنگل‌زدایی و تخریب جنگل از مدل‌های تغییر کاربری اراضی از قبیل مدلساز تغییر سرزمین[1] (LCM)، GEOMOD، EGO DINAMICA، CA-MARKOV، CLUE-S استفاده می‌گردد که تفاوت آنها در روش مدل‌سازی پتانسیل انتقال تجربی[2] می‌باشد [۱۸ و ۲۰] و مدل‌های LCM و GEOMOD در ارتباط با پروژه‌های REDD بیشتر مورد توجه واقع شده‌اند [۴۲]. در همین راستا، در مطالعاتی که اخیراً صورت گرفته است مدل LCM به‌منظور دارا بودن سه رویه ایجاد پتانسیل انتقال، شامل شبکه عصبی پرسپترون چندلایه[3]، رگرسیون لجستیک[4] و رویه یادگیری برمبنای نمونه وزنی مشابهت[5] بیشتر مورد استفاده قرار گرفته است [۵، ۶، ۷، ۸، ۱۰، ۱۴، ۲۹، ۳۳، ۴۰، ۴۲ و ۴۹].

در سال‌های اخیر تغییرات نامطلوب کاربری اراضی مانند جنگل‌زدایی به‌عنوان یکی از منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای روند رو به رشدی در کشور داشته است [۱]. بخش عمده‌ای از جنگل‌های هیرکانی به‌عنوان یکی از ذخایر کربن جهان در چند دهه‌ی اخیر تحت فشار شدید تغییرات کاربری‌های اراضی در استان مازندران قرار گرفته است [۲۳ و ۳۶]. استان مازندران به دلیل واقع شدن در خط ساحلی دریای خزر و دارا بودن شرایط منحصر به فرد همواره در معرض توسعه و تغییرات شدید می‌باشد [۲۷]. طبق آمار به‌دست آمده از گذشته نه چندان دور تا به امروز در حدود ۱/۶ میلیون هکتار از کل جنگل‌های هیرکانی به دلیل تغییرات شدید کاربری‌های اراضی کاهش یافته است [۳۵]. در همین رابطه، ۱۶۲۸۶۷ هکتار از جنگل‌های استان مازندران در بین سال‌های ۱۳۶۳ تا ۱۳۸۹ با تخریب چشمگیری مواجه شده‌اند [۳۰]. همچنین در سواحل استان مازندران نزدیک به ۳۳۴۸۷ هکتار از جنگل‌های هیرکانی در بین سال‌های ۱۳۶۷ تا ۱۳۸۹ تخریب شده‌اند [۲۷]. در نتیجه با توجه به بحران روند کاهش جنگل‌ها در سطح استان مازندران و همچنین نتایج موفقیت‌آمیز حاصل از اجرای پروژه‌های REDD انتظار می‌رود که اجرای این پروژه‌ها بتواند به‌عنوان یکی از راهکارهای مدیریتی در راستای جلوگیری از روند تخریب جنگل‌ها مدنظر قرار گیرد. در چندین مطالعه صورت گرفته در زمینه مدل‌سازی و بررسی تغییرات پوشش کاربری اراضی، رویکردهای مدل‌سازی شبکه عصبی پرسپترون چند لایه و رگرسیون لجستیک مورد استفاده قرار گرفته است [۱۶، ۲۸، ۳۴، ۴۷، ۵۰ و ۵۳]. تحقیق حاضر برای اولین بار در ایران، رویه یادگیری برمبنای نمونه وزنی مشابهت را برای مدل‌سازی پتانسیل تغییرات کاربری اراضی (به‌خصوص جنگل‌زدایی) و چگونگی طراحی سند پروژه REDD مورد استفاده قرار داده و معرفی کاربردی می‌نماید. در واقع این مطالعه به ارزیابی اجرای پروژه‌های REDD به‌عنوان راهکاری برای حفاظت از جنگل‌های هیرکانی و اثرات آن بر ذخایر کربن می‌پردازد؛ همچنین یک روش مدل‌سازی را برای تحلیل تغییرات پوشش جنگل ارائه می‌دهد که می‌توان با استفاده از آنها به برآورد و پایش کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در مناطق تحت پوشش پروژه‌های REDD در سطح استان مازندران پرداخت.

## ۲- پیشینه تحقیق

مطالعات مختلفی در زمینه تأثیرگذاری پروژه REDD به‌عنوان راهکاری در زمینه کاهش روند جنگل‌زدایی و همچنین استفاده از رویه یادگیری برمبنای نمونه وزنی مشابهت برای مدل‌سازی پتانسیل تغییرات کاربری

[1]. Land Change Modeler (LCM)
[2]. Empirical transition potential modeling
[3]. Multi-layer perceptron neural network
[4]. Logistic regression
[5]. Similarity weighted instance–based learning (SimWeight)



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13 ]
[ DOI: 10.29252/jgit.7.1.121 ]

اراضی صورت گرفته است که می‌توان به مواردی چند اشاره نمود:

هریس[1] و همکاران (۲۰۰۸) در مطالعه‌ای با هدف بررسی پتانسیل کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از نواحی حفاظت شده در اندونزی، با استفاده از مدل مکانی GEOMOD نشان دادند که تا سال ۲۰۱۳ با تخریب ۲۰ درصد جنگل‌های موجود به میزان ۳۰۵ میلیون تن $CO_2$ به اتمسفر انتشار خواهد یافت [۳۸]. تای[2] و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از مدل Global Terra Capital بیان داشتند که ۳۹۷۲۷ هکتار از جنگل‌های مناطقی از کامبوج بین سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۳۸ تخریب می‌شود که با اجرای پروژه‌های REDD از انتشار ۸۵۹۲۵۰۱/۷ تن $CO_2$ جلوگیری خواهد شد [۵۲]. سانجرمانو[3] و همکاران (۲۰۱۰) در مطالعه‌ای به بررسی تولید پتانسیل‌های انتقال در راستای مدل‌سازی تغییر کاربری اراضی بولیوی با استفاده از دو رویه یادگیری برمبنای نمونه وزنی مشابهت و شبکه عصبی پرسپترون چند لایه پرداختند، نتایج حاصل از مطالعه آنها نشان دهنده صحت‌های مشابه از اجرای هر دو مدل و نتایج نزدیک به هم بوده است [۹]. ایکرت[4] و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی میزان کربن از دست رفته جنگل‌های کم‌ارتفاع مناطقی از ماداگاسکار با استفاده از مدل LCM پرداختند و با پیش‌بینی تغییرات برای سال ۲۰۲۰ پیشنهاد اجرای پروژه‌های REDD را برای این مناطق ارائه دادند [۴۹]. در پروژه‌ای با همکاری بانک جهانی و دولت ماداگاسکار در سال ۲۰۰۸ میزان جنگل‌زدایی در منطقه مانتادیا[5] طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۵ بررسی گردید و با استفاده از رویه یادگیری برمبنای نمونه وزنی مشابهت، مدل‌سازی تغییرات پوشش جنگل به‌منظور بررسی تأثیر پروژه REDD بر منابع کربن منطقه تا سال ۲۰۳۵ صورت گرفت [۲۱]. سانجرمانو و همکاران (۲۰۱۲) در مطالعه‌ای با استفاده از مدلساز تغییر سرزمین به بررسی تغییرات پوشش جنگل‌های آمازون واقع در کشور بولیوی پرداختند و با پیش‌بینی تغییرات برای سال ۲۰۵۰، اجرای پروژه REDD را به‌عنوان راهکاری برای جلوگیری از روند تخریب جنگل‌های آمازون پیشنهاد دادند [۱۰]. یانای[6] و همکاران (۲۰۱۲) با بررسی میزان جنگل‌زدایی منطقه حفاظت شده جوما[7] در کشور برزیل به پیش‌بینی میزان جنگل‌زدایی تا سال ۲۰۵۰ و بررسی سناریو پروژه REDD پرداختند [۲]. گودوی[8] و روجاس[9] (۲۰۱۳) در پژوهشی با استفاده از مدل LCM به پیش‌بینی تغییرات پوشش جنگل حفاظت شده آلتومایو[10] در پرو به‌منظور اجرای پروژه REDD در این مناطق اشاره داشتند [۸]. ماس[11] و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای به بررسی و ارزیابی چندین رویه مدل‌سازی در زمینه تولید نقشه‌های پتانسیل انتقال پرداختند؛ بررسی‌ها نشان داد که رویه یادگیری برمبنای نمونه وزنی مشابهت به‌عنوان یکی از روش‌های یادگیری خودکار اغلب غیر قابل انعطاف و قادر به برقراری ارتباط بین ورودی‌ها و خروجی‌ها بدون نیاز به هر گونه اطلاعی از عملکردشان در توابع پیچیده می‌باشد. در این مطالعه موردی بین نقشه‌های پتانسیل ایجاد شده از رویه یادگیری برمبنای نمونه وزنی مشابهت با شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه میزان ضریب همبستگی اسپیرمن (۰/۶۸) وجود داشت، درحالی‌که بین رویه شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه و رگرسیون لجستیک میزان ضریب همبستگی اسپیرمن (۰/۹۲) بود [۱۸].

1. Harris
2. Ty
3. Sangermano
2. Eckert
3. Mantadia

4. Yanai
5. Juma
8. Godoy
9. Rojas
8. Alto Mayo
11. Mas



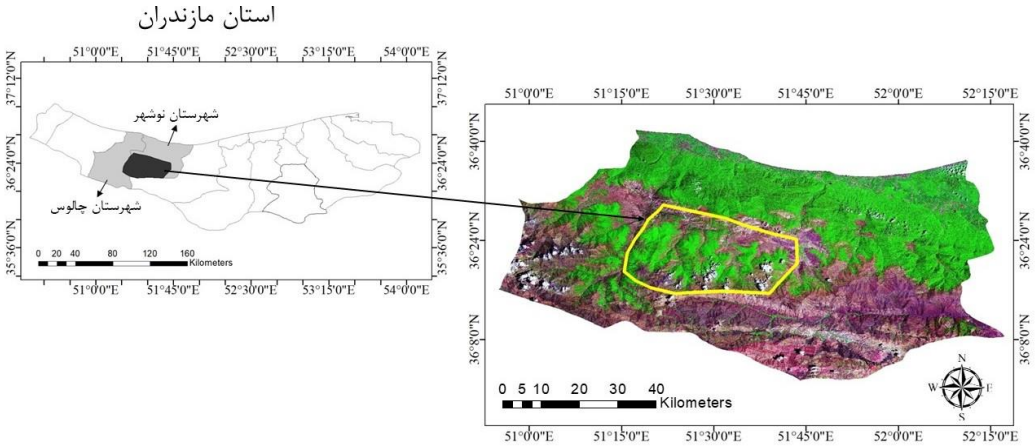
[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13 ]
[ DOI: 10.29252/jgit.7.1.121 ]

## ۳- داده‌ها و روش‌ها

در این بخش به معرفی منطقه مورد مطالعه و روش‌های به کارگرفته شده در تحقیق پرداخته می‌شود.

### ۳-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد بررسی، محدوده‌ای از شهرستان‌های نوشهر و چالوس و ناحیه‌ای از بخش‌های کجور و مرزن آباد می‌باشد. همچنین دهستان‌های زانوس رستاق، پنجک رستاق و محدوده‌ای از دهستان‌های کوهستان، اوزرود و بخشی از توابع کجور در منطقه مورد مطالعه واقع شده‌اند. وسعت منطقه مورد بررسی حدود ۸۱۲٫۶۸۸ کیلومتر مربع است. منطقه مورد بررسی تقریباً در موقعیت جغرافیایی ′۵۲ °۵۱ تا ′۴۳ °۵۱ طول شرقی و ′۱۵ °۳۶ تا ′۲۹ °۳۶ عرض شمالی قرار گرفته است (شکل (۲)).




**شکل ۲: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در استان مازندران**

منطقه مورد مطالعه از سمت شمال به دهستان‌های خیرودکنار و کلارستاق شرقی (شهرستان نوشهر)، از جنوب به دهستان اوزرود، از غرب به دهستان‌های بیرون بشم و کوهستان (شهرستان چالوس)، از شرق به توابع کجور از شهرستان نوشهر منتهی می‌شود. منطقه مورد مطالعه دربرگیرنده حدود ۵۸ آبادی می‌باشد که نقش به سزایی بر روند تغییرات پوشش جنگل در سالیان متمادی داشتند. همچنین قابل ذکر می‌باشد که اکنون با توجه به اتمام اراضی ساحلی خزر و به‌خصوص منطقه کلاردشت و محدودیت‌های موجود، هجوم زمین خواران و عوامل تخریب جنگل به منطقه کجور مازندران افزایش یافته است. این در حالی است که منطقه کجور به موجب مصوبه شورای عالی محیط‌زیست در سال ۱۳۴۶ به‌عنوان یکی از مناطق ارزشمند کشور از نظر تنوع ژنی و گونه‌ای در فهرست شبکه مناطق حفاظت شده جهان به ثبت رسیده است. تغییر کاربری اراضی جنگلی و کشاورزی منطقه کجور به شدت نگران کننده است. اراضی حد فاصل روستاهای بسطام، نیرس، کینج و میخ‌ساز در منطقه کجور از جمله نقاطی است که هدف طرح‌های تغییر کاربری اراضی قرار گرفته‌اند [۱۷] و این مناطق در مطالعه حاضر در قلب منطقه مورد بررسی واقع شده‌اند.

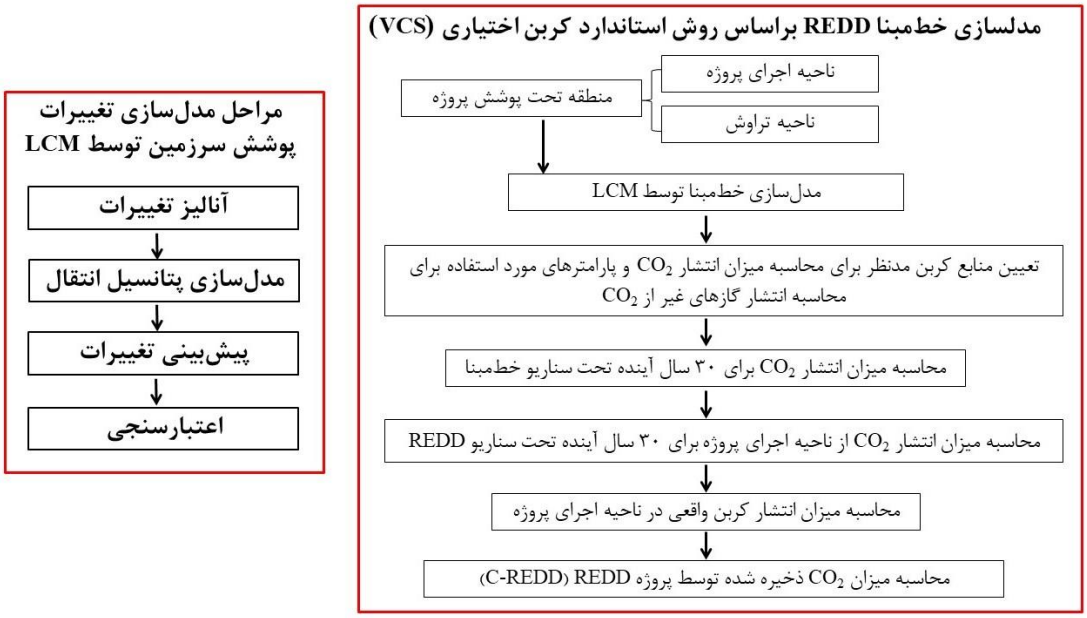
### ۳-۲- مراحل اصلی تحقیق

مراحل اصلی تحقیق شامل دو بخش اصلی می‌باشد که در شکل( ۳) نشان داده شده است. بخش اول شامل مدل‌سازی تغییرات پوشش سرزمین در محیط LCM می‌باشد و بخش دوم، مدل‌سازی خط‌مبنا[1] REDD بر اساس روش استاندارد کربن اختیاری[2] (VCS) می‌باشد.

[1]. Baseline
[2]. Voluntary carbon standard (VCS) method



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13 ]
[ DOI: 10.29252/jgit.7.1.121 ]




**شکل۳: مراحل اصلی تحقیق. بخش اول :مراحل مدل‌سازی تغییرات پوشش سرزمین در محیط LCM برگرفته از [۳۴]، بخش دوم: مدل‌سازی خط‌مبنا REDD بر اساس روش استاندارد کربن اختیاری (VCS) [۲۶]**

### ۳-۲-۱- بخش اول: مراحل مدل‌سازی تغییرات پوشش سرزمین در محیط LCM

در ادامه به معرفی مراحل مختلف مدلسازی تغییرات پرداخته می‌شود.

#### ۳-۲-۱-۱-تهیه نقشه‌های زمانی پوشش جنگل

به‌منظور تهیه نقشه‌های پوشش جنگل (متشکل از دو طبقه مناطق پوشیده از جنگل و مناطق غیر جنگل) از منابع اشاره شده در جدول (۱) استفاده گردید.

**جدول۱: منابع مورد استفاده برای تهیه نقشه پوشش جنگل منطقه مورد مطالعه**

| سال تهیه نقشه پوشش جنگل | منبع مورد استفاده |
|---|---|
| ۱۳۶۳ و ۱۳۸۹ | نقشه پوشش سرزمین استان مازندران سال ۱۳۶۳ و ۱۳۸۹ [برگرفته از منابع ۲۷ و ۳۰] |
| ۱۳۷۹ | تصاویر ماهواره‌ای سنجنده +ETM ماهواره لندست ۷ (تاریخ: ۲۰۰۰/۷/۱۸) با شماره‌ی گذر ۱۶۵ و ردیف ۳۵ با قدرت تفکیک ۲۸/۵ متر<br>دانلود تصاویر از سایت: Global Land Cover Facility(GLCF) |
| ۱۳۹۳ | رقومی‌سازی تصاویر ماهواره‌ای در Google Earth |

در این مطالعه از نقشه‌های پوشش سرزمین استان مازندران سال‌های ۱۳۶۳ و ۱۳۸۹ تهیه شده توسط میرزائی و همکاران (۱۳۹۲) استفاده شد که ضریب کاپا برای این نقشه‌ها در سال‌های ۱۳۶۳ و ۱۳۸۹ به ترتیب برابر با ۸۹/۰۳ درصد و ۹۱/۶۰ درصد بوده است که نمایانگر صحت بالای این نقشه‌ها می‌باشد. برای اطمینان بیشتر از صحت این نقشه‌ها، طبقه پوشش جنگلی این نقشه‌ها در منطقه مورد مطالعه تحت بررسی بصری بر روی تصاویر لندست تهیه شده از همان بازه زمانی قرار گرفت که این امر نشان داد که نقشه‌ها با دقت بسیار تهیه شدند. برای تولید نقشه پوشش جنگل سال ۱۳۷۹، پس از تعیین نمونه‌های



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13 ]
[ DOI: 10.29252/jgit.7.1.121 ]

تعلیمی از روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال[1] استفاده گردید. با استفاده از تصاویر Google Earth و طی کاری زمان‌بر و با دقت بالا نقشه پوشش جنگل سال ۱۳۹۳ با استفاده از رقومی‌سازی بصری تهیه شد. همچنین با توجه به دارا بودن دو نقشه با صحت بالا از سال‌های ۱۳۶۳ و ۱۳۸۹، نقشه‌های تهیه شده برای سال‌های ۱۳۷۹ و ۱۳۹۳ مورد بازبینی و تفسیر بصری قرار گرفتند. صحت نقشه‌های تولید شده پوشش جنگل سال‌های ۱۳۷۹ و ۱۳۹۳ با تفسیر تصاویر ترکیب رنگی کاذب و مناطقی که طی زمان تغییر نکرده بودند ارزیابی شدند. ۳۰۱ و ۲۹۲ نقطه واقعیت زمینی برای سال‌های ۱۳۷۹ و ۱۳۹۳ در نظر گرفته شد و صحت کاپای کلی ۹۴/۹۲ درصد و ۹۵/۹۳ درصد به‌ترتیب به‌دست آمد. در نهایت نقشه‌های پوشش جنگل تهیه شده به محیط نرم‌افزار ادریسی وارد و اندازه پیکسل آنها به ۳۰ متر تبدیل گردید.

### ۳-۲-۱-۲- تجزیه و تحلیل و بارزسازی تغییرات

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

### ۳-۲-۱-۳- مدل‌سازی پتانسیل انتقال کاربری‌ها

در این مرحله با استفاده از روش‌های مدل‌سازی پتانسیل انتقال تجربی، میزان احتمال انتقال از یک نوع پوشش سرزمین به‌نوعی دیگر بالاخص تغییرات پوشش جنگل به کمک متغیرهای مستقل[2] نشان داده شد [۲۰] که در این مطالعه از LCM استفاده شد [۴۲]. در مطالعات صورت گرفته در زمینه تغییرات پوشش جنگلی از متغیرهای مستقل مختلفی از قبیل، فاصله از جاده‌ها، فاصله از شهرها، فاصله از حاشیه جنگل، شیب، ارتفاع، فاصله از روستاها و موارد دیگر با توجه به شرایط منطقه مورد مطالعه استفاده شده است [۱۶، ۳۷، ۴۲ و ۴۷].

در مطالعه حاضر با استفاده از نقشه‌های پوشش جنگل مربوط به سال‌های ۱۳۶۳ و ۱۳۷۹ واسنجی مدل صورت گرفته و سپس به کمک متغیرهای مستقل مورد استفاده در این مطالعه که عبارتند از: ارتفاع، شیب، فاصله از جاده‌ها، فاصله از شهرها در سال ۱۳۶۳، فاصله از روستاها و فاصله از حاشیه جنگل سال ۱۳۶۳، ارتباط بین تغییر از مناطق جنگلی به غیر جنگلی با استفاده از آماره ضریب همبستگی کرامر تعیین شد. ضریب کرامر عددی میان صفر و یک است که هر چه به یک نزدیکتر باشد نشان دهنده میزان همبستگی بالا بین تغییرات پوشش جنگل به‌عنوان متغیر وابسته و متغیرهای مستقل است [۴۵]. پس از تأیید توانایی متغیرها برای انتقال صورت گرفته، مدل‌سازی پتانسیل انتقال با استفاده از رویه یادگیری برمبنای نمونه وزنی مشابهت برای زیر مدل انتقال از مناطق جنگل به مناطق غیر جنگل اجرا گردید [۹].

روش یادگیری برمبنای نمونه وزنی مشابهت، یکی از رویه‌های مدل‌سازی پتانسیل انتقال می‌باشد که از منطق روش نزدیک‌ترین همسایه K[3] الگو برداری می‌کند [۹]. این روش بر اساس محاسبه فواصل وزنی به فضای متغیر برای نمونه‌های شناخته شده طبقات کاربری اراضی استوار می‌باشد. اساساً در ارتباط با ایجاد پتانسیل‌های انتقال در راستای مدل‌سازی تغییر پوشش سرزمین، مدل برای هر انتقال دو طبقه (پیکسل ثابت و پیکسل متغیر) را مدنظر قرار داده و آن را ارزیابی می‌کند. در این روش، نزدیکترین همسایه K برای هر پیکسل (ثابت یا متغیر) بررسی گردیده و سپس فواصل در فضای متغیر، از هر پیکسل مجهول (پیکسل یا موقعیتی که تغییرات آن برای بازه زمانی آینده مدنظر است) به پیکسل‌هایی که در اطراف آن (محدوده K) در بازه زمانی

1. Maximum likelihood classification method
1. Driver variables
2. K-Nearest Neighbor Procedure (KNN)



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13 ]
[ DOI: 10.29252/jgit.7.1.121 ]

کالیبراسیون تغییر کرده‌اند محاسبه می‌گردد (شکل (۴)). این فاصله در یک تابع وزن‌دهی نمایی به‌منظور محاسبه یک سطح پیوسته از عضویت طبقات کاربری اراضی (کلاس) موجود برای هر پیکسل، از رابطه (۱)، به‌دست می‌آید [۹]:

$$\frac{\sum_{i=1}^{C}(1.0-\frac{1}{1+e^{1/di}})}{k} \quad (c \le k) \qquad \text{رابطه (۱)}$$

c: تعداد پیکسل‌های متغیر در محدوده k

d: فاصله خطی به پیکسل متغیر در محدوده k

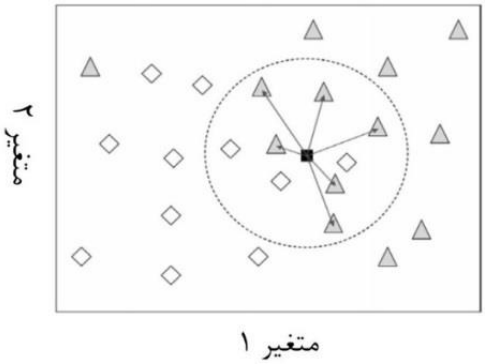
k: تعداد کل پیکسل‌های متغیر و ثابت در محدوده k

چندین نکته در ارتباط با رویه یادگیری برمبنای نمونه وزنی مشابهت قابل ذکر است که در زیر به آن اشاره شده است [۹]:

۱) تفاوت این روش با روش نزدیک‌ترین همسایه K این می‌باشد که این روش سطح پیوسته‌ای از کلاس عضویت را به جای در نظر گرفتن ارزش سخت‌گیرانه مدنظر قرار می‌دهد.

۲) در این روش تنها ارزش‌هایی از پیکسل‌هایی که دچار تغییر شده‌اند مورد بررسی قرار می‌گیرد، منطقی است که نمونه‌های ثابت به طور تقریباً قطعی تغییر نخواهند داشت اما نمونه‌هایی که دچار تغییر شدند بیشتر پیکسل‌های نزدیک خود را تحت تأثیر قرار می‌دهند که این مسئله تنها در روش‌های مدل‌سازی تجربی اتفاق می‌افتد.

۳) مطلوب‌ترین ویژگی این الگوریتم این است که تنها به تعیین یک مقدار بهینه از پارامتر K برای ایجاد پتانسیل انتقال نیاز دارد. میزان K بهینه می‌تواند توسط زیرمجموعه‌ای از داده‌های آموزشی طی روش اعتبارسنجی در دامنه ارزشی متفاوت مورد بررسی قرار گیرد که به طور قراردادی K بهینه ۱۰۰ می‌باشد.




**شکل۴: فضای متغیر ایجاد شده توسط دو متغیر فرضی. در این شکل مثلث‌های کوچک نشان دهنده پیکسل‌های متغیر و لوزی‌ها نشان دهنده پیکسل‌های ثابت. مربع مشکی رنگ نشان دهنده پیکسلی می‌باشد که وضعیت آن تحت تأثیر پتانسیل انتقال فرضی و نامعلوم ارزیابی خواهد شد. دایره‌ای که به صورت نقطه‌چین در شکل نشان داده شده‌است بیانگر محدوده K می‌باشد که درون دایره به طور فرضی ۶ پیکسل برای وضعیت تغییر و ۳ پیکسل برای وضعیت ثابت می‌باشد و همچنین خطوط نشان داده شده فواصل خطی از پیکسل مدنظر در فضای متغیر می‌باشد [۹].**

۴) مانند روش نزدیک‌ترین همسایه K، رویه یادگیری برمبنای نمونه وزنی مشابهت هم تحت تأثیر متغیرهای نامناسب قرار می‌گیرد. در این روش متغیرهای مستقل اهمیت متفاوتی در تعیین انتقال دارند، اهمیت این تفاوت به‌دلیل وزن‌دهی می‌باشد به این معنی که ارزش‌های هر متغیر در یک وزن توزیعی یا نسبی ضرب می‌شود و توانایی متغیر بین طبقات مختلف کاربری اراضی برای انتقال مدنظر تعیین می‌گردد. در این روش وزن اهمیت متغیر یا وزن ارتباط[1] از نسبت بین انحراف معیار پیکسل‌های متغیر در ناحیه‌ای که تغییرات طبقه خاصی یا انتقال خاصی صورت گرفته به انحراف معیار پیکسل‌های متغیر در ارتباط با کل تغییرات اتفاق افتاده در منطقه توسط رابطه زیر محاسبه می‌گردد [۹]:

1. Relevance weight



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13 ]

[ DOI: 10.29252/jgit.7.1.121 ]

رابطه (۲) $1-\left(\frac{\text{انحراف معیار پیکسل‌های متغیر در ناحیه تغییر مدنظر}}{\text{انحراف معیار پیکسل‌های متغیر در ارتباط با کل تغییرات اتفاق افتاده در منطقه}}\right)$

اگر متغیری با تغییر مدنظر در ناحیه مورد مطالعه رابطه قوی‌تری داشته باشد، انحراف معیار پیکسل‌های متغیر در ناحیه تغییر مدنظر کوچکتر از انحراف معیار آن نسبت به کل تغییرات اتفاق افتاده خواهد بود و در این صورت وزن ارتباط بالاتری خواهد داشت که نشان دهنده اهمیت متغیر در تغییر اتفاق افتاده می‌باشد [۹].

**۳-۲-۱-۴- پیش‌بینی تغییرات پوشش اراضی**

در این مرحله با استفاده از مدل زنجیره‌ی مارکف، احتمال تغییر هر پوشش به پوشش دیگر محاسبه شده است [۵۶]. سپس، مدل‌سازی تغییرات پوشش جنگل به غیر جنگل برای سال ۱۳۹۳ با استفاده از مدل پیش‌بینی سخت و دوره واسنجی ۱۳۷۹-۱۳۶۳ صورت گرفت. در مدل پیش‌بینی سخت، تمام سطح یک پیکسل به یک کاربری اختصاص می‌یابد [۲۱].

**۳-۲-۱-۵- اعتبارسنجی مدل**

به‌منظور اعتبارسنجی مدل، بر اساس تهیه نقشه پوشش جنگل سال ۱۳۹۳، از آماره‌هایی مانند منحنی مشخصه عملکرد نسبی[۱]، عدد شایستگی[۲] [۴۲] و نسبت موفقیت[۳] به هشدار خطا[۴] [۲۰] استفاده گردید.

از آماره منحنی مشخصه عملکرد نسبی در دامنه ۱-۰ براساس محاسبه درصد صحیح مثبت[۵] و درصد اشتباه مثبت[۶] 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 [۱۲].

آماره عدد شایستگی ارزشی بین صفر تا صد درصد دارد که ارزش صد نشان دهنده تطابق کامل نقشه پیش‌بینی شده با واقعیت زمینی است و ارزش صفر نشان دهنده عدم تطابق می‌باشد و هر چه عدد شایستگی به صد نزدیکتر باشد به این معنی است که نقشه پیش‌بینی شده صحت بالاتری دارد. عدد شایستگی از رابطه زیر به‌دست می‌آید [۴۲]:

رابطه (۳) $\left(\frac{B}{A+B+C}\right)\times 100$

A: به معنی تعداد پیکسل‌هایی است که در واقعیت تغییر یافته‌اند اما در پیش‌بینی ثابت مانده‌اند که به این نوع خطای پیش آمده (Miss) می‌گویند.

B: به معنی تعداد پیکسل‌هایی است که در واقعیت زمینی تغییر پیدا کرده‌اند و این تغییرات به درستی توسط مدل پیش‌بینی شده است که به این مورد (Hits) می‌گویند.

C: به معنی تعداد پیکسل‌هایی است که در واقعیت زمینی ثابت مانده‌اند ولی این پیکسل‌ها در پیش‌بینی مدل تغییر یافته‌اند که به این نوع خطا ( False Alarms) گفته می‌شود.

همچنین اگر میزان نسبت موفقیت به هشدار خطا بیشتر از ۲۵ درصد داشته باشد می‌توان گفت که مدل صحت خوبی در ارتباط با پیش‌بینی تغییر مدنظر داشته است. نسبت موفقیت به هشدار خطا از تقسیم Hits به False Alarms محاسبه می‌شود. [۲۱].

**۳-۲-۲- بخش دوم: مدل‌سازی خط مبنا REDD بر اساس روش استاندارد کربن اختیاری (VCS)**

یکی از روش‌هایی که امروزه برای اجرای پروژه‌های REDD به‌کار گرفته می‌شود روش‌شناسی ارائه شده توسط بنگاه سرمایه‌گذاری کربن زیستی[۷] می‌باشد که روش مورد نظر تحقیق حاضر [۲۶] نیز برگرفته از روش استاندارد کربن اختیاری می‌باشد. در تحقیق حاضر،

[1]. Bio Carbon Fund (BioCF)

[2]. Relative operating characteristic (ROC)
[3]. Figure of Merit
[4]. Hit
[5]. False alarms
[6]. True positive %
[7]. False positive %



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13 ]
[ DOI: 10.29252/jgit.7.1.121 ]

پس از اطمینان از توانایی مدل در پیش‌بینی تغییرات، با استفاده از نقشه‌های پوشش جنگل مربوط به سال‌های ۱۳۶۳ و ۱۳۹۳ و به‌همراه متغیرهای مستقل ذکر شده، تغییرات برای ۳۰ سال آینده (تا سال ۱۴۲۳) پیش‌بینی گردید. در واقع بر اساس روش استاندارد کربن اختیاری تغییرات پوشش جنگل برای ۳۰ سال آینده و بازه‌های زمانی ۵ ساله درنظر گرفته می‌شود.

**۳-۲-۲-۱- تعیین ناحیه اجرای پروژه[۱] و تراوش[۲]**

در این روش کل منطقه[۳] تحت پوشش پروژه به دو بخش تقسیم گردید، ناحیه اجرای پروژه که حفاظت از جنگل‌ها در این ناحیه صورت خواهد گرفت و ناحیه تراوش که ممکن است تحت تأثیر اجرای پروژه قرار گیرد و فعالیت‌های جنگل‌زدایی به این مناطق انتقال یابد.

**۳-۲-۲-۲- مدل‌سازی خط‌مبنا توسط LCM**

در این مرحله برای ناحیه اجرای پروژه و ناحیه تراوش یک خط مبنا تعیین شد. خط‌مبنا به‌معنی کاهش میزان مساحت پوشش جنگل در ناحیه اجرای پروژه و تراوش در شرایط عدم حفاظت از منطقه (سناریو تاریخی) می‌باشد و برای بازه زمانی ۳۰ ساله و ۵ ساله ارائه می‌گردد.

**۳-۲-۲-۳- منابع کربن مدنظر برای محاسبه میزان انتشار CO2 در مناطق جنگلی تحت پوشش پروژه‌های REDD و پارامترهای مورد استفاده برای محاسبه انتشار گازهای غیر از CO2 به‌دلیل آتش‌سوزی پوشش جنگل**

در روش استاندارد کربن اختیاری، ۶ منبع کربن برای محاسبه میزان انتشار $CO_2$ از مناطق جنگلی در نظر گرفته می‌شود که عبارتند از کربن بالای زمین[۴]، کربن زیر زمین[۵]، کربن موجود در چوب مرده[۶]، کربن موجود در محصولات چوبی بهره‌برداری شده[۷]، کربن موجود در لاشبرگ[۸] و کربن آلی خاک[۹].

در پروژه‌های مختلف به دلیل عدم دسترسی به داده‌های تمام منابع کربن می‌توان از چند مورد استفاده نمود که در این مطالعه از نقشه جهانی ذخایر کربن اکوسیستم‌های خشکی تهیه شده از سازمان UNEP-WCMC که شامل میزان مجموع کربن روی زمین، زیر زمین و کربن آلی خاک می‌باشد استفاده شده است که این نقشه به‌منظور اجرای پروژه‌های REDD برای کل دنیا توسط کاپوس[۱۰] و همکاران (۲۰۰۸) ارائه شده است [۵۵]. در مطالعه حاضر متوسط مجموع کربن بالای زمین، زیر زمین و کربن آلی خاک برای مناطق جنگلی، ۱۰۲٫۱۴ تن در هکتار و برای مناطق غیر جنگل ۵۱٫۰۷ تن در هکتار بر اساس نقشه جهانی برآورد گردید. لازم به ذکر است که به‌منظور استفاده از نقشه‌های جهانی به‌دلیل عدم دسترسی به داده‌های مناسب میدانی روش کوچک مقیاس کردن[۱۱] انجام نشده است و همچنین بر اساس مطالعات صورت گرفته مشابه نیازی به این کار نمی‌باشد [۲۴، ۳۹ و ۴۶].

در پروژه‌های REDD انتشار گازهای غیر از $CO_2$ مانند متان ($CH_4$) و دی‌نیتروژن مونوکسید ($N_2O$) به‌دلیل آتش‌سوزی پوشش جنگل و هدر رفت منابع کربن مدنظر محاسبه می‌گردد. البته میزان انتشار گازهای غیر از $CO_2$ در ارتباط با پروژه‌های REDD کمتر مورد توجه قرار می‌گیرد و انتخاب آنها به‌دلیل عدم وجود داده‌های مناسب و مطالعات محدود تا حدودی اختیاری است، در همین راستا در مطالعه

2. Project Area
3. Leakage Area
4. Reference Area
5. Above ground carbon
6. Below ground carbon
7. Dead wood
8. Harvested wood products
9. Litter
10. Soil organic carbon
1. Kapos
2. Downscaling



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13 ]
[ DOI: 10.29252/jgit.7.1.121 ]

حاضر از این مورد صرف نظر شده است [۲۶].
لازم به‌ذکر است که در پروژه REDD واحد محاسبه انتشار کربن تن معادل دی‌اکسید کربن ($tCO_2e$[1]) می‌باشد که از رابطه (۵) محاسبه می‌گردد [۲۶]:

رابطه (۵)
$$\begin{Bmatrix}\text{میزان انتشار کربن از مناطق جنگلی}\\ \text{تحت سناریو خط‌مبنا}\end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix}\text{میزان متوسط تراکم کربن}\\ \text{پوشش جنگلی}\left(\frac{ton}{ha}\right)\end{Bmatrix} \times \begin{Bmatrix}\text{میزان مساحت تخریب شده}\\ \text{پوشش جنگلی}(ha)\end{Bmatrix}$$

رابطه (۶)
$$\begin{Bmatrix}\text{کربن ترسیب شده در مناطق غیرجنگلی}\\ \text{تحت سناریو خط‌مبنا}\end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix}\text{میزان متوسط تراکم کربن}\\ \text{پوشش غیرجنگلی}\left(\frac{ton}{ha}\right)\end{Bmatrix} \times \begin{Bmatrix}\text{میزان مساحت اضافه شده}\\ \text{به پوشش غیرجنگلی}(ha)\end{Bmatrix}$$

میزان کل $CO_2$ انتشاریافته از منطقه تحت سناریو خط‌مبنا[2] برای نواحی پروژه و تراوش تا ۳۰ سال آینده و برای هر بازه زمانی ۵ ساله از رابطه زیر محاسبه شد [۲۶]:

رابطه (۷)
$$\begin{Bmatrix}\text{کربن ترسیب شده در مناطق غیرجنگلی}\\ \text{تحت سناریو خط‌مبنا}\end{Bmatrix} - \begin{Bmatrix}\text{میزان انتشار کربن از مناطق جنگلی}\\ \text{تحت سناریو خط‌مبنا}\end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix}\text{میزان انتشار کربن برای ناحیه پروژه و انتشار}\\ \text{تحت سناریو خط‌مبنا}\end{Bmatrix}$$

### ۳-۲-۵- محاسبه میزان انتشار CO2 از ناحیه پروژه تحت سناریو REDD برای ۳۰ سال آینده و تخمین میزان کربن واقعی

نتایج مورد انتظار پروژه‌های REDD توسط نرخ‌های تراوش[3] و موفقیت[4] تعیین می‌گردد. این نرخ‌ها تعیین می‌کنند که چه میزان کاهش انتشار منابع کربن طی اجرای پروژه مدنظر می‌باشد و باید به آن دست یافت. اگر در صورت حفاظت از ناحیه پروژه بتوان از میزان انتشار $CO_2$ به دلیل فعالیت‌های تراوش جلوگیری کرد این امر نشان دهنده میزان موفقیت پروژه در زمینه کاهش انتشار $CO_2$ می‌باشد که بر این اساس برای هر بازه زمانی ۵ ساله نرخ موفقیت پروژه تعیین می‌شود که هر چه این میزان بالاتر باشد نشان دهنده بازدهی پروژه در ارتباط با کاهش انتشار $CO_2$ خواهد بود [۲۶].

در مطالعه حاضر میزان نرخ تراوش و موفقیت پروژه براساس اجرای پروژه REDD در پارک ملی مانتادیا کشور ماداگاسکار تعیین گردید (جدول (۲)) [۲۱].
با اجرای پروژه REDD فعالیت‌های جنگل‌زدایی به بیرون از ناحیه اجرای پروژه انتقال می‌یابد. در سال‌های اولیه اجرای پروژه به دلیل جابه‌جایی فعالیت‌ها، شدت تخریب جنگل در ناحیه انتشار افزایش یافته اما این روند در سال‌های آینده کاهش خواهد یافت. میزان تغییرات کربن به دلیل جابه‌جایی عوامل جنگل‌زدایی[5] براساس رابطه (۸) محاسبه شد:

[3]. Tons of carbon dioxide equivalent ($tCO_2e$)
[4]. C-Baseline
[5]. Leakage rate
[6]. Success rate
[1]. C-Leakage



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13 ]
[ DOI: 10.29252/jgit.7.1.121 ]

جدول ۲: نرخ تراوش و موفقیت پروژه [۲۱]

| میزان بازدهی پروژه (درصد) | نرخ موفقیت (درصد) | نرخ تراوش (درصد) | بازه زمانی |
|---|---|---|---|
| ۴۶ | ۶۶ | ۲۰ | ۱۳۹۳-۱۳۹۸ |
| ۶۰ | ۸۰ | ۲۰ | ۱۳۹۸-۱۴۰۳ |
| ۸۰ | ۹۰ | ۱۰ | ۱۴۰۳-۱۴۰۸ |
| ۸۰ | ۹۰ | ۱۰ | ۱۴۰۸-۱۴۱۳ |
| ۸۰ | ۹۰ | ۱۰ | ۱۴۱۳-۱۴۱۸ |
| ۸۰ | ۹۰ | ۱۰ | ۱۴۱۸-۱۴۲۳ |

رابطه (۸)

$$\begin{Bmatrix}\text{میزان کربن انتشار یافته به دلیل}\\ \text{جابه‌جایی فعالیت‌های جنگل‌زدایی تحت سناریو REDD}\end{Bmatrix} = \{\text{نرخ تراوش}\} \times \begin{Bmatrix}\text{میزان انتشار کربن از ناحیه پروژه}\\ \text{تحت سناریو خط‌مبنا}\end{Bmatrix}$$

با استفاده از رابطه (۹)، میزان کربن واقعی[1] ذخیره شده بواسطه پروژه REDD در ناحیه اجرای پروژه محاسبه گردید

رابطه (۹)

$$\begin{Bmatrix}\text{میزان کربن ذخیره شده}\\ \text{در ناحیه پروژه تحت سناریو REDD}\end{Bmatrix} = \{\text{نرخ موفقیت}\} \times \begin{Bmatrix}\text{میزان انتشار کربن از ناحیه پروژه}\\ \text{تحت سناریو خط‌مبنا}\end{Bmatrix}$$

و به کمک رابطه (۱۰) میزان انتشار کربن واقعی[2] تحت پروژه REDD برآورد شد:

رابطه (۱۰)

$$\begin{Bmatrix}\text{میزان انتشار کربن واقعی}\\ \text{تحت سناریو REDD}\end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix}\text{میزان کربن ذخیره شده}\\ \text{در ناحیه پروژه تحت سناریو REDD}\end{Bmatrix} - \begin{Bmatrix}\text{میزان انتشار کربن از ناحیه پروژه}\\ \text{تحت سناریو خط‌مبنا}\end{Bmatrix}$$

**۳-۲-۲-۶- محاسبه میزان $CO_2$ انتشار یافته تحت اجرای پروژه REDD**

مقادیر محاسبه شده توسط روابط (۸ و ۱۰) نشان‌دهنده میزانی کربنی است که تحت اجرای پروژه REDD انتشار خواهد یافت. در همین راستا، با استفاده از رابطه (۱۱) میزان انتشار کربن در صورت اجرای پروژه نسبت به خط‌مبنا مقایسه شد و میزان کربن ذخیره شده[3] تحت سناریو REDD برآورد گردید [۲۶].

در نهایت تمام نتایج حاصل از مدل‌سازی خط‌مبنا REDD و روابط ذکر شده تحت فایلی با عنوان سند طراحی پروژه[4] (PDD) ارائه می‌شود. سند طراحی پروژه، مقادیر انتشار کربن در مناطق پروژه، تراوش و کل منطقه را در طول اجرای پروژه ارزیابی می‌کند.

2. Actual carbon
3. C-Actual
4. C-REDD
5. Project Design Document (PDD)



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13 ]
[ DOI: 10.29252/jgit.7.1.121 ]

رابطه (۱۱)

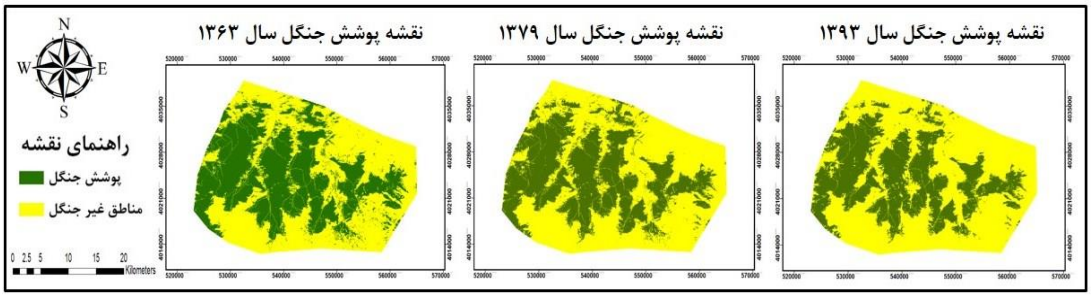
$$\left\{\begin{array}{c}\text{میزان کربن ذخیره شده}\\ \text{توسط پروژه REDD}\end{array}\right\}=\left\{\begin{array}{c}\text{میزان انتشار کربن واقعی}\\ \text{تحت سناریو REDD}\end{array}\right\}-\left\{\begin{array}{c}\text{میزان انتشار کربن از ناحیه پروژه}\\ \text{تحت سناریو خط‌مبنا}\end{array}\right\}-\left\{\begin{array}{c}\text{میزان کربن انتشار یافته به دلیل}\\ \text{جابه‌جایی فعالیت‌های جنگل‌زدایی تحت سناریو REDD}\end{array}\right\}$$

## ۴- نتایج و بحث

در ادامه به ارائه نتایج و بحث و بر روی آنها پرداخته می‌شود.

### ۴-۱- تهیه نقشه‌های پوشش جنگل و بارزسازی تغییرات

نقشه‌های پوشش جنگل مربوط به سال‌های ۱۳۶۳، ۱۳۷۹ و ۱۳۹۳ در شکل (۵) ارائه شده است و به‌منظور بارزسازی تغییرات مورد استفاده قرار گرفتند. تجزیه و تحلیل تغییرات نشان داد که در بین سال‌های ۱۳۶۳ تا ۱۳۷۹ نزدیک به ۴۰۰۸ هکتار از مناطق جنگلی تخریب شده‌اند که این میزان تخریب در بین سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۳ در حدود ۳۶۳۵ هکتار بوده است




**شکل ۵: نقشه‌های پوشش جنگل منطقه مورد مطالعه**

### ۴-۲- مدل‌سازی پتانسیل انتقال و پیش‌بینی تغییرات برای سال ۱۳۹۳

رابطه بین متغیرهای مستقل و تغییرات صورت گرفته بر اساس ضریب کرامر در جدول (۳) نشان داده شده است. جدول (۳) نشان می‌دهد که بیشترین و کمترین میزان ضریب همبستگی کرامر به‌ترتیب برای متغیر ارتفاع و فاصله از حاشیه جنگل ۱۳۶۳ می‌باشد. در ارتباط با عامل ارتفاع از سطح دریا مطالعات صورت گرفته توسط پیرباوقار[1] و همکاران (۲۰۰۳) و رفیعیان (۱۳۸۵) نشان داد که در شمال ایران، وجود مراتع ییلاقی و دامداران متحرک در جنگل که ارتفاعات بالا را به‌عنوان سکونتگاه خود انتخاب نموده‌اند سبب افزایش تخریب در ارتفاعات بالا گشته است [۳۱ و ۴۱]. همچنین باقری و شتایی (۱۳۸۹) در مطالعه صورت گرفته در حوضه آبخیز چهل‌چای استان گلستان بیان داشتند که سطح گسترش تخریب در ارتفاعات بالاتر بیشتر است که این امر از تجمع روستاها و گسترش جاده در ارتفاعات بالاتر ناشی می‌شود [۴۳]. در مطالعه سردارزاده و همکاران (۱۳۹۲) نیز ضریب کرامر ارتفاع به‌دلایل ذکر شده در مطالعات اشاره شده از متغیر شیب بیشتر بوده است [۳۲]. به‌طور کلی سایلس[2]

[1]. Pirbavaghar

[2]. Siles



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13 ]

[ DOI: 10.29252/jgit.7.1.121 ]

(۲۰۰۹) اشاره داشت به‌منظور درک ارتباط بین متغیرهای محرک و تغییرات پوشش جنگل نیاز به مطالعات بیشتری می‌باشد و باید تأثیر این عوامل بر روی یکدیگر بررسی گردد [۳۴]

**جدول ۳: مقادیر ضریب همبستگی کرامر برای متغیرهای استفاده شده در مدل**

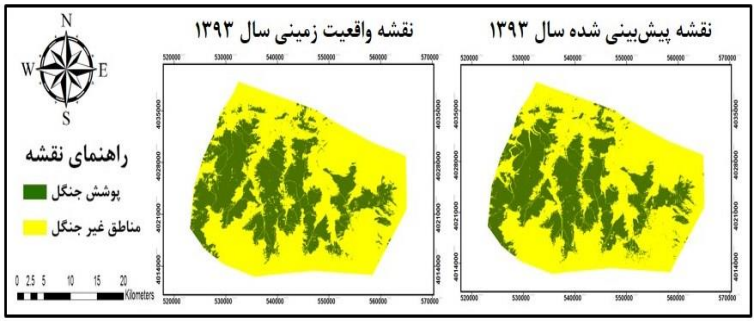
| متغیر | ضریب همبستگی کرامر |
|---|---|
| ارتفاع | ۰/۴۸۷۱ |
| فاصله از روستا | ۰/۲۲۶۸ |
| فاصله از شهرها در سال ۱۳۶۳ | ۰/۲۲۵۴ |
| فاصله از جاده‌ها | ۰/۱۶۲۴ |
| شیب | ۰/۱۵۰۴ |
| فاصله از حاشیه جنگل ۱۳۶۳ | ۰/۱۱۹۶ |

نتایج حاصل از محاسبه وزن ارتباط (جدول (۴)) نشان می‌دهد که متغیر فاصله از حاشیه جنگل ۱۳۶۳ دارای بیشترین میزان وزن و شیب منطقه کمترین میزان را دارا می‌باشد.

**جدول ۴: مقادیر وزن رایج برای متغیرهای استفاده شده در مدل**

| متغیر | مقدار وزن ارتباط |
|---|---|
| فاصله از حاشیه جنگل ۱۳۶۳ | ۰/۸۴ |
| فاصله از جاده‌ها | ۰/۳ |
| فاصله از روستا | ۰/۱۴ |
| فاصله از شهرها در سال ۱۳۶۳ | ۰/۱۳ |
| ارتفاع | ۰/۱۱ |
| شیب | ۰ |

احتمال انتقال از یک کاربری به نوع دیگر توسط زنجیره مارکف محاسبه شد (جدول (۵)). در شکل (۶) نقشه پیش‌بینی شده توسط مدل یادگیری برمبنای نمونه وزنی مشابهت در مقایسه با نقشه واقعیت زمینی سال ۱۳۹۳ نشان داده شده است.



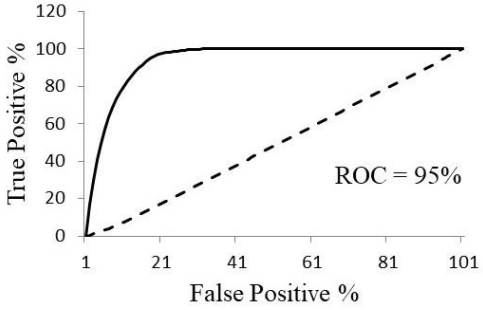

**شکل۶: نقشه واقعیت زمینی سال ۱۳۹۳ (سمت چپ)، نقشه پیش‌بینی شده سال ۱۳۹۳ (سمت راست)**

**جدول ۵: ماتریس احتمالات انتقال بین سالهای ۱۳۷۹-۱۳۶۳**

| طبقات کاربری | پوشش جنگل ۱۳۷۹ | مناطق غیر جنگل ۱۳۷۹ |
|---|---|---|
| **پوشش جنگل ۱۳۶۳** | **۰/۹۰۷۶** | ۰/۰۹۲۴ |
| **مناطق غیر جنگل ۱۳۶۳** | **۰** | ۱ |

## ۴-۳- ارزیابی صحت تغییرات پیش‌بینی شده برای سال ۱۳۹۳

نتایج ارزیابی صحت نشان می‌دهد که خروجی حاصل از مدل با میزان ROC، ۰/۹۵ توافق بالایی با تغییرات واقعی صورت گرفته دارد (شکل (۷))




**شکل ۷: نمودار مشخصه عملکرد نسبی (ROC)**



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13 ]
[ DOI: 10.29252/jgit.7.1.121 ]

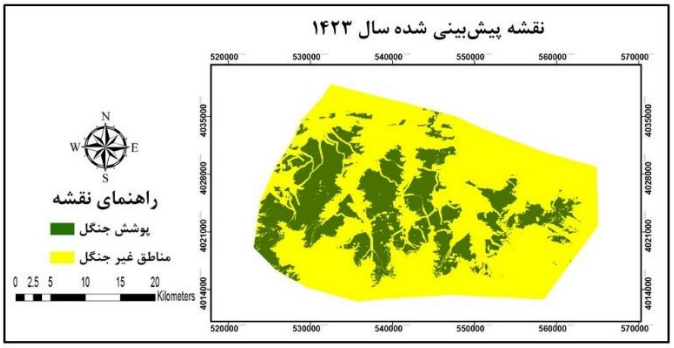
همچنین میزان نسبت موفقیت به هشدار خطا برابر با ۸۲ درصد نشان دهنده صحت مناسب مدل در ارتباط رابطه (۱۲) $\left(\frac{15844}{24550+15844+19286}\right) \times 100 = 26\ \%$

در مطالعاتی مرتبط با مدل‌سازی تخریب پوشش جنگل کیم (۲۰۱۰) عدد شایستگی ۸ درصد و ویلیدنت و همکاران (۲۰۱۳) عدد شایستگی حدود ۱۴ درصد را گزارش کرده‌اند که مطالعه حاضر با عدد شایستگی ۲۶ درصد صحت بهتری را نشان می‌دهد [۱۳ و ۴۲].

### ۴-۴- مدل‌سازی خط‌مبنا پروژه REDD

با توجه به اینکه مدل مورد استفاده صحت بالایی را در ارتباط با تغییرات پوشش جنگل منطقه مورد مطالعه با پیش‌بینی تغییرات می‌باشد. در این مطالعه میزان عدد شایستگی از رابطه زیر محاسبه گردید :

نشان داد، تغییرات پوشش جنگل برای ۳۰ سال آینده پیش‌بینی گردید (شکل (۸)). لازم به ذکر است که تا سال ۱۴۲۳ بر طبق سناریو خط‌مبنا، نزدیک به ۶۱۱۳ هکتار از پوشش جنگل منطقه تخریب خواهد شد.



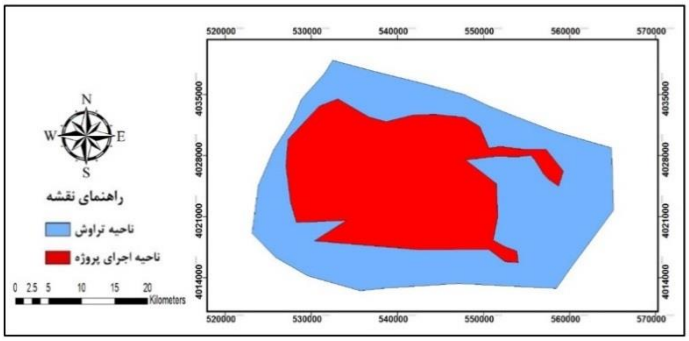

**شکل ۸: نقشه پیش‌بینی شده پوشش جنگل سال ۱۴۲۳**

برای مدل‌سازی خط‌مبنا پروژه REDD باید ابتدا مرزهای مکانی نواحی اجرای پروژه و تراوش تعیین گردد که این نواحی در منطقه مورد مطالعه مشخص گردید (شکل (۹)). 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 نمود. در واقع چنین مناطقی از پوشش جنگلی بسیاری برخوردارند که در معرض تخریب می‌باشند. همچنین در منطقه اجرای پروژه امکان دارد که مناطق روستایی و مناطق مسکونی هم تحت تأثیر قرار بگیرند که در این مطالعه نیز اینگونه می‌باشد. در راستای اجرای پروژه REDD در پارک ملی مانتادیا نیز مناطق روستایی تحت تأثیر اجرای پروژه قرار گرفتند و سعی بر آن بود که تمامی عوامل جنگل‌زدایی به خارج از ناحیه پروژه انتقال یابند [۳۹]. در مطالعه حاضر مناطقی که به شدت تحت تأثیر جنگل‌زدایی قرار گرفته‌اند به‌عنوان ناحیه پروژه انتخاب شده‌اند. مساحت منطقه اجرای پروژه و تراوش به ترتیب ۳۵۶۸۸٫۱۵ و ۴۵۵۸۲٫۱۲ هکتار می‌باشد. در پروژه REDD برای پارک ملی مانتادیا مساحت منطقه پروژه و تراوش به ترتیب ۱۲۱۲۲۴۴ و ۱۱۸۲۷۸۸ هکتار بوده است [۲۱]. همچنین در مطالعه‌ای در جنگل حفاظت شده آلتومایو واقع در پرو مساحت منطقه اجرای پروژه حدود ۵۷۵۰ هکتار تعیین شد [۸]. در واقع انتخاب وسعت مناطق اجرای پروژه و تراوش تا حدودی اختیاری و تحت شرایط تخریب جنگل و مسائل اقتصادی-اجتماعی و موارد مدنظر مسئولان اجرای پروژه می‌باشد.



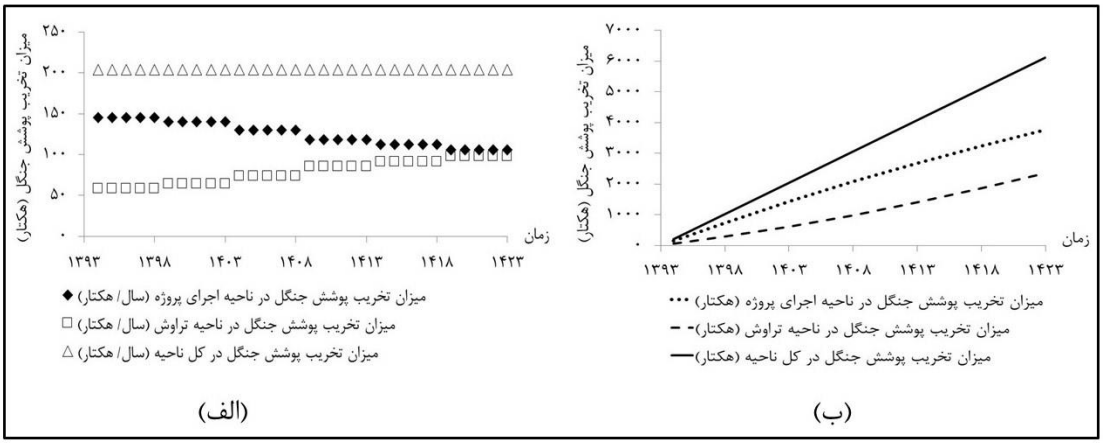
[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13 ]
[ DOI: 10.29252/jgit.7.1.121 ]

در مطالعه حاضر میزان کاهش مساحت پوشش جنگل در راستای مدل‌سازی خط‌مبنا پروژه REDD برای نواحی اجرای پروژه و تراوش محاسبه گردید و پس از اجرای پروژه REDD نتایج کلی حاصل از اجرای پروژه که در برگیرنده نتایج حاصل از سند طراحی پروژه تحقیق حاضر می‌باشد به صورت نمودار ارائه شده است.




**شکل ۹: مرزهای مکانی نواحی اجرای پروژه و تراوش**

نمودار (الف) در شکل (۱۰) بیانگر میزان تخریب مساحت پوشش جنگل در بازه‌های زمانی ۵ ساله تحت سناریو خط‌مبنا (عدم اجرای پروژه REDD) می‌باشد که بیشترین میزان کاهش مساحت پوشش جنگل در ناحیه‌ای که قرار بر اجرای پروژه است مربوط به ۵ سال اول (سال‌های ۱۳۹۸-۱۳۹۳) و حدود ۱۴۵/۳۹ هکتار در سال می‌باشد و در ۵ ساله آخر کمترین میزان تخریب ( ۱۰۵/۸۴ هکتار در سال) مشاهده شده است. درمنطقه مورد مطالعه تحت سناریو خط‌مبنا بیشترین میزان تخریب در ناحیه تراوش مربوط به بازه زمانی ۵ ساله آخر (۱۴۲۳-۱۴۱۸) در حدود ۹۷/۹۴ هکتار در سال می‌باشد و کمترین میزان مربوط به ۵ ساله اول در حدود ۵۸/۳۹ هکتار در سال می‌باشد. به‌طور کلی این نمودار نشان می‌دهد که میزان تخریب پوشش سالانه جنگل در صورت عدم اجرای پروژه در نواحی اجرای پروژه و تراوش چه میزان می‌باشد و به‌دلیل اینکه تقاضای تغییر با استفاده از زنجیره مارکف صورت گرفته است سالانه به میزان یکسانی از پوشش جنگل تخریب شده است، بطوریکه مجموع تخریب در ناحیه اجرای پروژه و تراوش برابر می‌باشد. نمودار (ب) در شکل (۱۰) نشان می‌دهد که طی ۳۰ سال به ترتیب نزدیک به ۳۷۳۶، ۲۳۵۰ و ۶۱۱۳ هکتار پوشش جنگل در ناحیه اجرای پروژه، تراوش و کل منطقه تحت سناریو خط‌مبنا تخریب خواهد شد

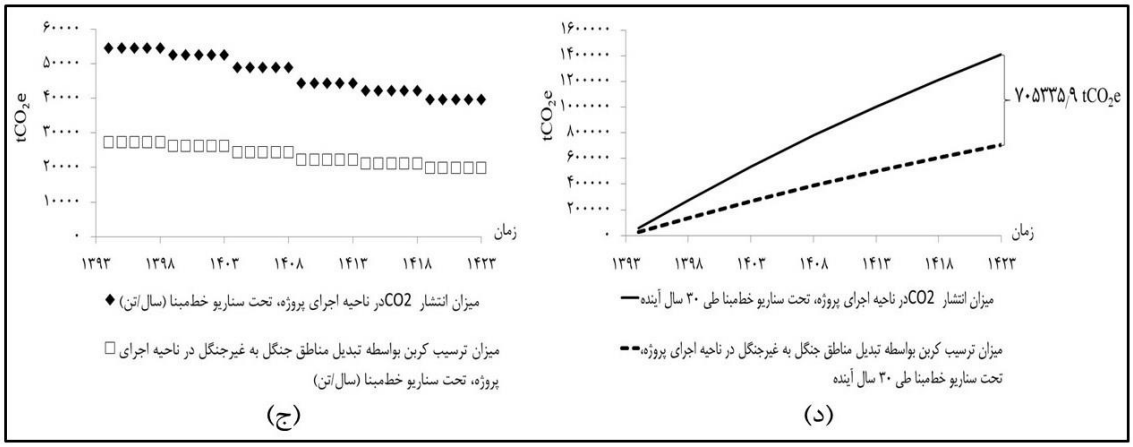



**شکل ۱۰: الف) میزان تخریب مساحت پوشش جنگل تحت سناریو خطمبنا برای بازه‌های ۵ ساله، ب) نمودار تجمعی میزان کاهش مساحت پوشش جنگل تحت سناریو خطمبنا**



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13 ]
[ DOI: 10.29252/jgit.7.1.121 ]

نمودار (ج) در شکل (۱۱) نشان می‌دهد که تحت سناریو خط‌مبنا در ناحیه‌ای که قرار است پروژه اجرا شود براساس رابطه (۵)، در بازه زمانی ۵ ساله نخست بیشترین میزان انتشار حدود ۵۴۴۹۸ $tCO_2e$ صورت می‌گیرد و کمترین میزان (۳۹۶۷۴ $tCO_2e$) مربوط به بازه زمانی ۵ ساله آخر می‌باشد، همچنین به‌واسطه تبدیل پوشش جنگل به مناطق غیرجنگل لزوماً کل منابع کربن موجود تخریب نشده و انتشار نمی‌یابد و میزانی باقی می‌ماند یا به اصطلاح ترسیب خواهد شد. تحت تأثیر سناریو خط‌مبنا در ناحیه پروژه بر اساس رابطه (۶)، میزان ترسیب کربن در بازه زمانی ۵ ساله نخست که بیشترین تخریب هم رخ می‌دهد دارای بیشترین مقدار (۲۷۲۴۹ $tCO_2e$) و کمترین مقدار (۱۹۸۳۷ $tCO_2e$) مربوط به بازه زمانی ۵ ساله آخر می‌باشد. نمودار (د) در شکل (۱۱) نشان می‌دهد که تحت سناریو خط‌مبنا طی ۳۰ سال آینده ۱۴۱۱۶۷۲ $tCO_2e$ از ناحیه پروژه انتشار خواهد یافت که از این میزان ۷۰۵۳۳۶ $tCO_2e$ به‌واسطه تبدیل پوشش جنگل به مناطق غیر جنگلی از قبیل مرتع، زمین‌های کشاورزی... ترسیب می‌گردد. در نهایت به‌طور کلی بر اساس رابطه (۷) تا سال ۱۴۲۳ حدود ۷۰۵۳۳۶ $tCO_2e$ از ناحیه پروژه به اتمسفر انتشار می‌یابد.

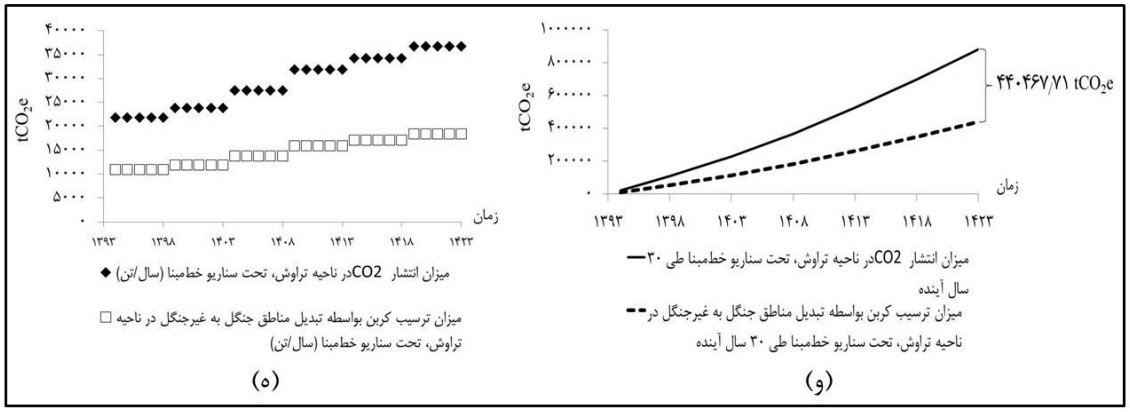



**شکل ۱۱: ج) میزان انتشار CO2 و ترسیب کربن در ناحیه اجرای پروژه تحت سناریو خط‌مبنا، د) نمودار تجمعی میزان انتشار CO2 و ترسیب کربن در ناحیه اجرای پروژه تحت سناریو خط‌مبنا (طی ۳۰ سال آینده)**

نمودار (ه) در شکل (۱۲) به‌مانند نمودار (ج) می‌باشد، تحت سناریو خط‌مبنا در ناحیه تراوش بر اساس رابطه (۵) بیشترین میزان انتشار (۳۶۷۱۲ $tCO_2e$) در بازه زمانی ۵ ساله آخر و کمترین میزان (۲۱۸۸۸$tCO_2e$) در بازه زمانی ۵ ساله نخست می‌باشد. همچنین بر اساس رابطه (۶) بیشترین میزان ترسیب کربن به‌واسطه تبدیل پوشش جنگل به مناطق غیر جنگل (۱۸۳۵۶$tCO_2e$) در بازه زمانی ۵ ساله آخر و کمترین میزان (۱۰۹۴۴ $tCO_2e$) در بازه زمانی ۵ ساله نخست می‌باشد. نمودار (و) در شکل (۱۲) نشان می‌دهد که تحت سناریو خط‌مبنا طی ۳۰ سال آینده ۸۸۰۹۳۶ $tCO_2e$ از ناحیه تراوش انتشار می‌یابد که از این میزان ۴۴۰۴۶۸$tCO_2e$ به دلیل تبدیل پوشش جنگل به مناطق غیر جنگل ترسیب می‌گردد. در نهایت بر اساس رابطه (۷) تا ۳۰ سال آینده حدود ۴۴۰۴۶۸ $tCO_2e$ از ناحیه تراوش به اتمسفر انتشار می‌یابد

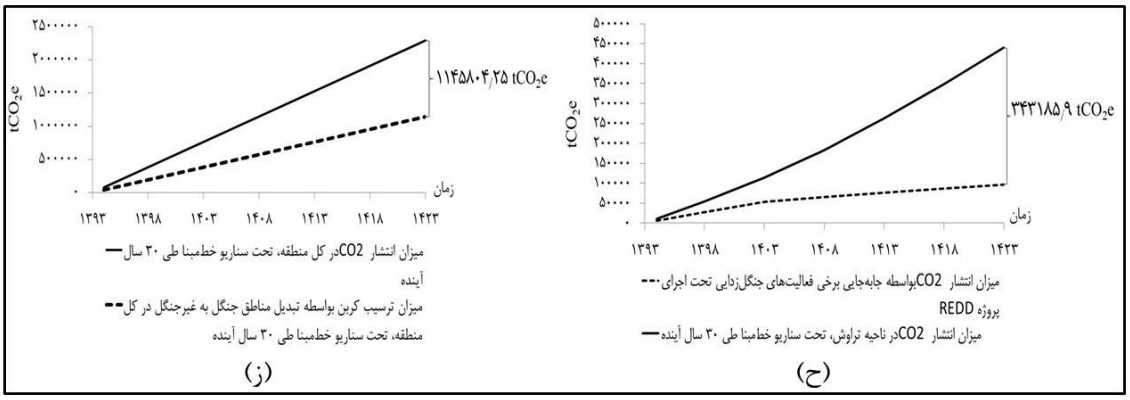


[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13 ]
[ DOI: 10.29252/jgit.7.1.121 ]




**شکل ۱۲: ه) میزان انتشار CO2 و ترسیب کربن در ناحیه تراوش تحت سناریو خط‌مبنا، و) نمودار تجمعی میزان انتشار CO2 و ترسیب کربن در ناحیه تراوش تحت سناریو خط‌مبنا (طی ۳۰ سال آینده)**

نمودار (ز) در شکل ۱۳ نشان می‌دهد که تحت سناریو خط‌مبنا تا ۳۰ سال آینده حدود ۲۲۹۱۶۰۸/۵ $tCO_2e$ از کل منطقه مورد مطالعه انتشار می‌یابد که از این مقدار ۱۱۴۵۸۰۴/۲۵ $tCO_2$ به دلیل تخریب پوشش جنگل ترسیب شده و بر اساس رابطه (۷) ۱۱۴۵۸۰۴/۲۵$tCO_2e$ از کل منطقه انتشار می‌یابد. نمودار (ح) در شکل (۱۳) نشان می‌دهد که انتخاب ناحیه تراوش، به منزله منطقه‌ای به‌عنوان شاهد می‌باشد که در صورت عدم حفاظت از ناحیه پروژه، فعالیت‌های صورت گرفته در این منطقه در ناحیه پروژه جریان می‌یابد و در صورت اجرای پروژه REDD و انتقال این عوامل به خارج از ناحیه پروژه، تأثیرات این عوامل در ناحیه پروژه کاهش می‌یابد. در این مطالعه تحت سناریو خط‌مبنا ۴۴۰۴۶۷/۷۱ $tCO_2e$ از ناحیه تراوش طی ۳۰ سال انتشار می‌یابد و فرض بر این است که در صورت عدم جابه‌جایی فعالیت‌ها به ناحیه انتشار، این میزان انتشار امکان داشت در ناحیه پروژه صورت می‌گرفت. حال براساس رابطه (۸) این میزان انتشار به ۹۷۲۸۱/۸۱$tCO_2e$ کاهش می‌یابد که در این صورت با اجرای پروژه از انتشار ۳۴۳۱۸۵/۹۰ $tCO_2e$ اجتناب می‌گردد.



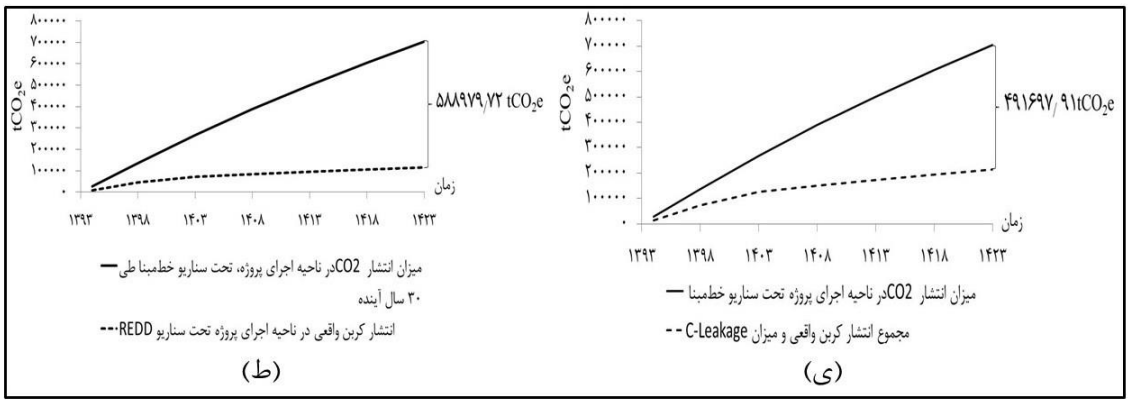

**شکل ۱۳: ز) نمودار تجمعی میزان انتشار CO2 و ترسیب کربن در کل منطقه تحت سناریو خط‌مبنا (طی ۳۰ سال آینده)، ح) میزان کاهش انتشار CO2 بواسطه جابه‌جایی برخی فعالیت‌های جنگل‌زدایی تحت سناریو REDD**

نمودار (ط) در شکل (۱۴) نشان می‌دهد که براساس رابطه (۹) میزان کربن واقعی معادل با $tCO_2e$ ۵۸۸۹۷۹/۷۲ ذخیره خواهد شد و بر طبق رابطه (۱۰) میزان انتشار کربن واقعی تحت سناریو REDD برابر با



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13 ]
[ DOI: 10.29252/jgit.7.1.121 ]

۱۱۶۳۵۶/۲۸$tCO_2e$ خواهد بود. نمودار (ی) در شکل (۱۴) نشان می‌دهد که در صورت اجرای پروژه REDD از چه میزان انتشار منابع کربن به اتمسفر جلوگیری خواهد شد. در مطالعه حاضر بین سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۴۲۳ حدود ۶۱۱۳ هکتار پوشش جنگل تخریب می‌شود و ۷۰۵۳۳۶ $tCO_2e$ انتشار می‌یابد که در صورت اجرای پروژه REDD این میزان انتشار به ۲۱۳۶۳۸/۰۹ $tCO_2e$ می‌رسد که می‌توان بر اساس رابطه (۱۱) می‌توان از انتشار ۴۹۱۶۹۷/۹۱ $tCO_2e$ به اتمسفر جلوگیری نمود.




**شکل ۱۴: ط) میزان انتشار کربن واقعی تحت اجرای پروژه، ی) میزان C-REDD**

در مطالعه‌ای که توسط تای و همکاران (۲۰۱۱) صورت گرفت به بررسی و پیش‌بینی تغییرات پوشش جنگل پرداختند و در نهایت نشان دادند که با اجرای پروژه REDD در مناطقی از کامبوج می‌توان از انتشار ۸/۶ میلیون تن $CO_2$ جلوگیری نمود [۵۲]. در مطالعه‌ای که در منطقه مانتادیا صورت گرفت نتایج نشان داد که با اجرای موفقیت‌آمیز پروژه REDD انتظار می‌رود از انتشار ۴۴۳۵۵۶۱۶ $tCO_2e$ به اتمسفر جلوگیری شود [۲۱]. همچنین یانای و همکاران (۲۰۱۲) با بررسی میزان جنگل‌زدایی منطقه حفاظت شده جوما در کشور برزیل نشان دادند که در صورت عدم حفاظت، ۱۰۵۲ کیلومتر مربع از پوشش جنگلی در منطقه حفاظت شده تخریب می‌گردد و در صورت اجرای پروژه REDD از انتشار ۶۱/۸ درصد از منابع کربن جلوگیری خواهد شد [۲]. همان‌گونه که اشاره شده است رویکردهای مدل‌سازی متفاتی در راستای مدل‌سازی تغییرات پوشش اراضی وجود دارد که در مطالعات مختلف از آنها استفاده می‌شود. در همین راستا روش‌شناسی‌های متفاوتی نیز برای اجرای پروژه REDD وجود دارد که از بین آنها روش‌های ارائه شده توسط سازمان‌ها یا مؤسسات IPCC، Winroc International و VCS از معتبرترین و پرکاربردترین موارد می‌باشد [۲۶].

## ۵- نتیجه گیری

در این مطالعه به بررسی تغییرات پوشش جنگل مناطقی از بخش‌های کجور و مرزن آباد پرداخته شد، این مناطق به‌دلیل شرایط آب و هوایی مناسب و طبیعت بکر در چند دهه اخیر همواره در معرض عوامل مخرب انسانی قرار داشته‌اند و نکته قابل توجه در مورد این مناطق این است که تحت مناطق حفاظت شده سازمان محیط‌زیست (منطقه حفاظت شده البرز مرکزی) می‌باشند، در واقع این مناطق از شرایط مدنظر برای اجرای پروژه‌های REDD از قبیل مواجهه با تغییرات شدید کاربری اراضی، ذخایر کربن بالا و همچنین پتانسیل حفاظت از تنوع زیستی برخوردارند و تحت اجرای پروژه‌های REDD می‌توانند به کاهش انتشار گاز $CO_2$ به اتمسفر و در نهایت تعدیل تغییرات اقلیمی در بازه زمانی طولانی مدت کمک کنند.



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13 ]
[ DOI: 10.29252/jgit.7.1.121 ]

این مطالعه نشان می‌دهد که با توجه به پتانسیل جنگل‌های در معرض تخریب هیرکانی برای اجرای پروژه‌های REDD و نقش مهم آنها در تعدیل تغییرات اقلیمی، با استفاده از روش‌شناسی تحقیق حاضر می‌توان بخش‌هایی از سند طراحی پروژه را تکمیل نمود که شامل روش‌شناسی مورد استفاده برای طراحی سناریو خط‌مبنا، استفاده از روابط یا مدل‌هایی به‌منظور برآورد میزان کربن واقعی انتشار یافته در طول اجرای پروژه و همچنین بررسی میزان کاهش انتشار کربن به‌واسطه جابه‌جایی فعالیت‌های جنگل‌زدایی از ناحیه پروژه به تراوش می باشد (موارد A، B و D از سند طراحی پروژه). علاوه بر این می‌توان میزان تغییرات پوشش گیاهی و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را محاسبه نمود. در راستای اجرای پروژه‌های REDD مواردی دیگر در سند طراحی پروژه وجود دارد که نیازمند طرح اجرایی پروژه و حمایت سازمان‌های مربوطه می‌باشند این موارد شامل پایش میزان کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و کربن واقعی نسبت به سناریو خط‌مبنا به کمک مطالعات میدانی و پژوهش‌های صورت گرفته طی اجرای پروژه است. همچنین بررسی اثرات محیط‌زیستی و اقتصادی- اجتماعی طرح ارائه شده و فعالیت‌هایی که در طی اجرای پروژه صورت می‌گیرد و نظرات مالکان زمین‌های اطراف پروژه در سند طراحی پروژه ذکر شده است که چنین مواردی در اجرای پروژه‌های REDD بسیار حائز اهمیت می‌باشد، در واقع سازمان‌های دولتی و عوامل اجرایی پروژه‌ها به‌دنبال بهبود شرایط اقتصادی و اجتماعی جوامع بومی ساکن مناطق جنگلی می‌باشند و ایجاد چنین شرایطی نیاز به مطالعه دقیق وضعیت اقتصادی- اجتماعی منطقه و حضور سازمان‌های دولتی و پشتیبانی آنها می‌باشد.

## مراجع

[1] A. Bahrami, I. Emadodin, M. Ranjbar Atashi, and H. R. Bork,"Land use change and soil degradation: a case study, north of Iran", Agriculture and Biology Jornal of North America, Vol. 1, pp. 600-605, 2010.

[2] A. M. Yanai, P. M. Fearnside, P. M. L. D. A. Graca, and E. M. Nogueira,"Avoided deforestation in Brazilian Amazonia: simulating the effect of the Juma sustainable development reserve", Forest Ecology and Management, Vol. 282, pp. 78-91, 2012.

[3] B. Blom, T. Sunderland, and D. Murdiyarso," Getting REDD to work locally: lessons learned from integrated conservation and development projects", Journal of Environmental Science & Policy, Vol.13, pp. 164-172, 2010.

[4] Climate Change Newsletter, provided by Iran's climate change office, No. 2, 2004.

[5] C. O. Wilson, and Q. Weng,"Simulating the impacts of future land use and climate changes on surface water quality in the Des Plaines River watershed, Chicago Metropolitan Statistical Area, Illinois", Science of the Total Environment, Vol. 409, pp. 4387-4405, 2011.

[6] D. D. Khoi, and Y. Murayama,"Forecasting areas vulnerable to forest conversion in the Tam Dao National Park Region, Vietnam", Journal of Remote Sensing, Vol. 2, pp. 1249-1272, 2010.

[7] D. K. Lee, C. Park, and D. Tomlin,"Effects of land-use-change scenarios on terrestrial carbon stocks in South Korea", Landscape and Ecological Engineering, Vol. 1, pp. 1-13, 2013.

[8] F. L. O Godoy, and E. H. M. Rojas,"Modeling deforestation to REDD+ project: case study in Alto Mayo protected forest, San Martin region, Peru", presented at Proceeding of simposio brasileiro de sensoriamento remoto, Brazil, 2013.

[9] F. Sangermano, J. R. Eastman, and, H. Zhu,



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13 ]

[ DOI: 10.29252/jgit.7.1.121 ]

" Similarity weighted instance - based learning for the generation of transition potentials in land use change modeling" , Journal of Transactions in GIS, Vol. 14, pp. 569-580, 2010.

[10] F. Sangermano, J. Toledano, and J. R. Eastman,"Land cover change in the Bolivian Amazon and its implications for REDD+ and endemic biodiversity", Journal of Landscape ecology, Vol. 27, pp. 571-584, 2012.

[11] Global Land Cover facility (GLCF), http://glcf.umd.edu.

[12] G. R. Pontius, and L. C. Schneider,"Land-cover change model validation by an ROC method for the ipswich watershed Massachusetts, USA", Journal of Agriculture Ecosystems and Environment, Vol. 85, pp. 239-284, 2001.

[13] G. Vieilledent, C. Grinand, and R. Vaudry,"Forecasting deforestation and carbon emissions in tropical developing countries facing demographic expansion: a case study in Madagascar", Journal Ecology and Evolution, Vol. 3, pp. 1702-1716, 2013.

[14] H. G. Roy, D. M. Fox, and K. Emsellem,"Predicting Land Cover Change in a Mediterranean Catchment at Different Time Scales ", Journal of Computational Science and Its Applications, Vol. 8582, pp. 315-330, 2014.

[15] H. J. Albers, and E. J. Z. Robinson,"Reducing emissions from deforestation and forest degradation", Encyclopedia of Energy, Natural Resource and Environmental Economics, Vol. 2, pp.78-85, 2013.

[16] H. R. Kamyab, and A. Salmanmahiny,"Modeling Deforestation Using Logistic Regression And Artificial Neural Network in Golestan Province, Iran", International Geoinformatics Research and Development Journal, Vol.3, 2012.

[17] Available: http://www.aftabir.com/news/view/2007/jun/30/c4c1183190628_social_enviroment_jungle.php, 2014.

[18] J. F. Mas, M. Kolb, M. Paegelow, M. T. Camacho Olmedo, and T. Houet,"Inductive pattern-based land use/cover change models: a comparison of four software packages", Journal of Environmental Modelling & Software, Vol. 51, pp. 94-111, 2014.

[19] J. O. Atela, C. H. Quinn, and P. A. Minang,"Are REDD projects pro-poor in their spatial targeting? evidence from kenya", Journal of Applied Geography, Vol. 52, pp. 14-24, 2014.

[20] J. R. Eastman, M. E. Van Fossen, and L. A. Solorzano,"Transition potential modeling for land-cover change", in GIS, spatial analysis and modeling, edited by D. J. Maguire, M. Batty, and F. Michael, Goodchild, Redlands, CA: ESRI Press, 2005.

[21] J. R. Eastman, IDRISI Guid to GIS and Image processing. Accessed in IDRISI Selva 17.02. Worcester, MA: Clark University, 2012.

[22] K. B. F. Kamelarczyk, and C. Smith-Hall,"REDD herring: epistemic community control of the production, circulation and application of deforestation knowledge in Zambia", Forest Policy and Economics, Vol. 46, pp.19-29, 2014.

[23] K. Sagheb Talebi, Forests of Iran. Iran: Research Institute of Forest and Rangelands, 2005.

[24] L. Lin, E. Sills, H. Cheshire,"Targeting areas for reducing emissions from deforestation and forest degradation (REDD+) projects in Tanzania", Global Environmental Change, Vol. 24, pp. 277-286, 2014.

[25] L. Miles, and V. Kapos,"Reducing greenhouse gas emissions from deforestation and forest degradation: global land-use implications", Journal of Science, Vol. 320, pp. 1454-1455, 2008.



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13 ]

[ DOI: 10.29252/jgit.7.1.121 ]

[26] L. Pedroni, A. Garcia, B. De jong, B. Schlamadinger, M. Steiniger, S. Brown, T. Pearson, K. Andrasko, and S. Scholz,"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, available: http://wbcarbonfinance.org/Router.cfm? Page= Doclib&CatalogID=49189, 2014.

[27] M. Gholamalifard, H. Zare Maivan, S. Joorabian Shooshtari, and M. Mirzaei,"Monitoring land cover changes of forests and coastal areas of northern Iran (1988-2010), a remote sensing approach", Journal of the Persian Gulf, Vol. 3, pp. 47-56, 2012.

[28] M. Gholamalifard, Sh. Joorabian Shooshtari, S. H. Hosseieni Kahnuj, and M. Mirzaei,"Land cover change modeling of coastal areas of Mazandaran province using LCM in a GIS environment", Journal of Environmental Studies, Vol. 38, pp. 109-124, 2013.

[29] M. Kotha, and P. D. Kunte,"Land-cover change in Goa-An Integrated RS-GIS Approach", International Journal of Geoinformatics, Vol. 9, pp. 37-43, 2013.

[30] M. Mirzayi, A. Riyahi Bakhtiyari, A. Salman Mahini, and M. Gholamalifard,"Investigating the Land Cover Changes in Mazandaran Province Using Landscape Ecology's Metrics Between 1984-2010", Iranian journal of applied ecology, Vol. 2, pp. 37-55, 2013.

[31] M. Pirbavaghar, A. A. Darvishsefat, and M. Namiranian," The study of spatial distribution of changes in the northern forests of Iran", presented at the Proceeding of Map Asia, Iran, 2003.

[32] M. Sardarzadeh, A. A. Motakan, S. J. Sadati Nejad, and D. Ashurlu," Prediction of forests degradation using RS & GIS methods and combination of artificial neural network-markov chain", presented at the Geomatic Conference, Tehran, Iran, 2013 (Persian).

[33] M. S. Islam, and R. Ahmed,"Land use change prediction in Dhaka city using GIS aided markov chain modeling", Journal of Life and Earth Science, Vol. 6, pp. 81-89, 2011.

[34] M. Taheri, M. Gholamalifard, A. Riahi Bakhtiari, and S. Rahimoghli,"Land cover changes modeling of Tabriz township using artificial neural network and markov chain", Journal of Physical Geography Research Quarterly, Vol. 45, pp. 97-121, 2014.

[35] M. Yousefi, M. R. Pourmajidian, M. Karimi, and L. Darvishi,"Quantitative and qualitative evaluation of forest plantations by four species and suggestion the appropriate species in the hyrcanian forest", Journal of Experimental Biology, Vol. 3, pp. 352-360, 2013.

[36] N. Haghdoost, M. Akbarinia, S. M. Hosseini, and Y. Kooch,"Conversion of hyrcanian degraded forests to plantations: effects on soil C and N stocks", Journal of Annuals of Biological Research, Vol. 2, pp. 384-399, 2011.

[37] N. J. S. Siles,"Spatial Modelling and prediction of tropical forest conversion in the Isiboro Secure National Park and Indigenous Territory (TIPNIS), Bolivia", Master of science , International Institute for Geoinformation Science and Earth Observation, 2009.

[38] N. L. Harris, S. Petrova, F. Stolle, and S. Brown,"Identifying optimal areas for REDD intervention: East Kalimantan, Indonesia as a case study", Environmental Research Letters, Vol. 3, pp. 1-11, 2008.

[39] N. R. Virgilio, S. Marshall, O. Zerbock and C. Holmes,"Reducing Emissions from Deforestation and Degradation (REDD): A Casebook of On-the-Ground Experience", The Nature Conservancy, Conservation International and Wildlife Conservation Society. Arlington, Virginia, 2010.

[40] N. Rodriguez, D. Armenteras, and J.



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13 ]

[ DOI: 10.29252/jgit.7.1.121 ]

Retana,"Effectiveness of protected areas in the Colombian Andes: deforestation, fire and land-use changes", Journal of Regional Environmental Change, Vol. 13, pp. 423-435, 2013.

[41] O. Rafieyan, A. A. Darvishsefat, M. Namiranian," The area change detection in the Northern forests of Iran using ETM+ data", Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Vol. 10, pp. 277-287, 2006 (Persian).

[42] O. S. Kim,"An assessment of deforestation models for reducing emissions from deforestation and forest degradation (REDD)", Journal of Transactions in GIS, Vol. 14, pp. 631-654, 2010.

[43] R. Bagheri, Sh. Shataee," Modeling forest areas decreases, using logistic regression (case study: Chehl-Chay catchment, Golestan province)", Iranian Journal of Forest, Vol. 2, pp. 243-252, 2010 (Persian).

[44] R. J. Culas,"REDD and forest transition: tunneling through the environmental kuznets curve", Ecological Economics, Vol. 79, pp. 44-51, 2012.

[45] R. Kumar, S. Nandy, R. Agarwal, and S. P. S. Kushwaha,"Forest cover dynamics analysis and prediction modeling using logistic regression model", Journal of Ecological Indicators, Vol. 45, pp. 444-455, 2014.

[46] R. Mant, S. Swan, H. V. Anh, V. T. Phuong, L. V. Thanh, V. T. Son, M. Bertzky, C. Ravilious, J. Thorley, K. Trumper, L. Miles," Mapping the potential for REDD+ to deliver biodiversity conservation in Viet Nam: a preliminary analysis", Prepared by UNEP-WCMC, Cambridge, UK; and SNV, Ho Chi Minh City, Viet Nam.

[47] S. Arekhi,"Modeling spatial pattern of deforestation using GIS and logistic regression: a case study of northern Ilam forests, Ilam province, Iran", African Journal of Biotechnology, Vol. 10, pp. 16236-16249, 2011.

[48] S. Arekhi, A. A. Jafarzadeh, and S. Yousefi,"Modeling deforestation using logistic regression, GIS and RS case study: Northern forests of the Ilam province", Journal of Geography and Development, V. 10, pp. 31-42, 2012.

[49] S. Eckert, H. R. Ratsimba, L. O. Rakotondrasoa, L. G. Rajoelison, and A. Ehrensperger,"Deforestation and forest degradation monitoring and assessment of biomass and carbon stock of lowland rainforest in the Analanjirofo region Madagascar", Journal of Forest Ecology and Management, Vol. 262, pp. 1996-2007, 2011.

[50] S. Joorabian Shooshtari, S. M. Hosseini, A. Esmaili-Sari, and M. Gholamalifard,"Application logistic regression and Markov Chain in land cover change prediction in east of Mazandaran province", Iranian journal of Natural Environment, Vol. 66, pp. 351-363, 2014.

[51] S. Pagiola,"Payments for environmental services in Costa Rica", Journal of Ecological Economics, Vol. 65, pp. 712-724, 2008.

[52] S. Ty, N. Sasaki, A. H. Ahmad, and A. Z. Zainal,"REDD development in Cambodia–potential carbon emission reductions in a REDD project", Formath, Vol. 10, pp. 1-23, 2011.

[53] S. Vafaei, A. A. Darvishsefat, and M. Pir Bavaghar,"Monitoring and predicting land use change using LCM module (Case study: Marivan region)", Iranian Journal of Forest, Vol. 5, pp. 323-336, 2013.

[54] T. Wünscher, S. Engel, and S. Wunder,"Spatial targeting of payments for environmental services: a tool for boosting conservation benefits", Journal of Ecological economics, Vol. 65, pp. 822-833, 2008.

[55] V. Kapos, C. Ravilious, A. Campbell, B. Dickson, H. Gibbs, M. Hansen, I. Lysenko, L. Miles, J. Price, J. P. W. Scharlemann, and K. Trumper,"Carbon and biodiversity", UNEP-WCMC, Cambridge, UK, 2008.



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13 ]

[ DOI: 10.29252/jgit.7.1.121 ]

Mode", Procedia Environmental Sciences, Vol. 10, pp. 2625-2630, 2011.

[56] Y. Haibo, D. Longjiang, G. Hengliang, and Z. Jie,"Tai'an Land Use Analysis and Prediction Based on RS and Markov

[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13 ]

[ DOI: 10.29252/jgit.7.1.121 ]

K. N. TOOSI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF GEODESY AND GEOMATICS ENGINEERING

*Journal of Geospatial Information Technology*
**Vol.7 No.1, Spring 2019**

***Research Paper***

# *Transition Potential Modeling of Land-Cover based on Similarity Weighted Instance-based Learning Procedure and Its Implication in the REDD Project Design Document*

***Koosha Parsamehr.[1], Mehdi Gholamalifard[*2], YahiaKooch[3]***

*1- Assessment and land-use planning in Department of Environment, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran, Iran.*
*2- Assistant professor in Department of Environment, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran, Iran.*
*3- Assistant professor in Department of Forestry, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran, Iran.*

***Abstract***

*Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation (REDD) is a climate change mitigation strategy employed to reduce the intensity of deforestation and GHGS emissions. In recent decades, drastic land use changes in Mazandaran province caused a substantial reduction in the amount of Hyrcanian forests. The present research based on objectives of REDD projects paid to identify of forest cover changes in a range of Marzan Abad and Kojour Districts in the Mazandaran province using of Landsat satellite images from 1984, 2000 and 2014. In this study, for the first time in Iran, using similarity weighted instance–based learning (SimWeight) approach, forest cover changes modeling was performed, and for validation, statistics of relative operating characteristic (ROC), ratio of hits/false alarms and figure of merit was applied. Finally, using voluntary carbon standard (VCS) methodology CO2 emissions for the 30 next years (until 2044) was calculated. The results showed that forest cover decreased about 4008 hectares and 3635 hectares during 1984-2000 and 2000-2014. The validation results indicated that ROC equal to 0.95, the figure of merit equal to 26 percent and the ratio of hit/false alarms equal to 82 percent reflects high accuracy of the model. Eventually, REDD project's implementation results designated that under the baseline scenario about 705336 tCO2e will release into the atmosphere over the 30 next years that REDD project can prevent the release of 491697.91 tCO2e. With respect to increasing deforestation in Hyrcanian forests and their important role in the mitigation of climate change, using the methodology offered can be estimated and predicted land cover changes and the impact of REDD projects on reducing GHGS emissions, and the REDD results can be used to complete the Project Design Document (PDD) of Clean Development Mechanism (CDM) in the country*

***Key words:*** *Synthetic Carbon emissions, REDD project, Deforestation, Similarity weighted instance–based learning (SimWeight), Mazandaran province.*

***Correspondence Address***. *Department of Environment, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, P.O.Box 46414-356, Postcode46417-76489 Noor, Mazandaran*
***Tel:*** *+98 11 44999107*
***Email :*** *m.gholamalifard@modares.ac.ir*



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13 ]

[ DOI: 10.29252/jgit.7.1.121 ]