

مدل سازی و آنالیز حساسیت پروژه REDD در راستای کاهش انتشار گاز

دی اکسید کربن (مطالعه موردی: جنگل های هیرکانی استان گلستان)

حمیدرضا کامیاب*^۱ و زهرا اسدالهی^۲

۱- استادیار گروه محیط زیست، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

۲- استادیار گروه محیط زیست و شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران

(تاریخ دریافت ۹۹/۰۷/۲۰- تاریخ پذیرش ۹۹/۱۰/۰۷)

چکیده:

با توجه به روند افزایشی تخریب جنگل های هیرکانی و سهم قابل توجه ایران در انتشار گاز دی اکسید کربن، پروژه کاهش انتشارات ناشی از جنگل زدایی و تخریب جنگل (REDD) در نه گام و دو سناریو در استان گلستان اجرا شد. در سناریوی مبنا روند تغییرات گذشته کاربری اراضی ادامه یافت. به این منظور تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر لندست سال های ۱۳۶۳، ۱۳۸۷ و ۱۳۹۷ بررسی شد. مدل سازی پتانسیل انتقال با استفاده از شبکه عصبی پرسپترون چندلایه انجام شد و تغییرات کاربری آبی تحت سناریوی مبنا در بازه ۳۰ ساله (۱۳۹۷-۱۴۲۷) پیش بینی گردید و میزان انتشار گاز CO₂ برآورد شد. در سناریوی پروژه بخشی از فعالیت های جنگل زدایی کنترل و با توجه به اهمیت نرخ موفقیت پروژه و نرخ تراوش در انتشار گاز CO₂، با تغییر نرخ تراوش (۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد) و نرخ موفقیت پروژه (۹۰، ۸۰، ۷۰، ۶۰ و ۵۰ درصد) اثربخشی سناریوی پروژه بررسی شد. در این راستا، منطقه مورد مطالعه بر اساس رویکرد برآورد چندمعیاره به دو بخش منطقه پروژه و منطقه تراوش تقسیم گردید. بر اساس نتایج در بهترین حالت (نرخ موفقیت و نرخ تراوش ۹۰ و ۱۰ درصد)، میزان انتشار گاز CO₂ در منطقه پروژه از میزان ۵۷۳۹۶۸/۳ تن در سناریوی مبنا در سال ۱۳۹۸ به میزان ۶۶۲۶۵/۵ تن در سال ۱۴۲۷ رسید. در بدترین حالت (نرخ موفقیت و نرخ تراوش ۵۰ درصد) نیز نسبت به سناریوی مبنا کاهش انتشار مشاهده شد. این در حالی است که اگر هیچ رویکرد مدیریتی جهت حفاظت پهنه های جنگلی در استان گلستان اجرا نگردد، میزان انتشار گاز CO₂ در انتهای سال ۱۴۲۷ بمیزان ۶۶۲۶۵۵/۹ تن خواهد رسید.

کلید واژگان: تغییر کاربری اراضی، جنگل زدایی، گرمایش جهانی، تغییر اقلیم.

۱. مقدمه

انسان با پاک‌تراشی جنگل‌ها، پرداختن به کشاورزی اقتصادی، افزایش تولیدات کشتزارها و توسعه مراکز شهری، سیمای سرزمین^۱ جهانی را تغییر داده است. فعالیت‌های کاربری سرزمین خواه تغییر سیماهای سرزمین طبیعی برای فعالیت‌های انسانی باشد خواه تغییر در سیستم مدیریت سرزمین‌هایی که در تصرف انسان است، تقریباً ۵۰ درصد از پوشش سطح کره - زمین را تغییر داده است. تغییر کاربری زمین از عوامل مهم در چرخه تغییرات آب و هوایی است و ارتباط بین این دو متقابل است (Ebrahimnia et al., 2009). جنگل‌زدایی‌های پیاپی سبب کاهش چشمگیر ظرفیت ذخیره کربن آلی خاک به میزان سالانه ۲۱۲ میلیون تن کربن شده است (Abbas Nejad & Khajedin, 2014). در ۱۵۰ سال اخیر مقدار CO₂ موجود در اتمسفر در اثر فعالیت‌های انسانی افزایش یافته است و میزان آن از ۲۸۸ ppm در سال ۱۸۵۰ قبل از انقلاب صنعتی به ۳۳۰ ppm در سال ۲۰۰۰ رسیده است و پیش‌بینی می‌گردد که غلظت CO₂ در اتمسفر در قرن ۲۱ به ۶۰۰ ppm افزایش یابد که این امر باعث افزایش دمای متوسط سالانه زمین به اندازه یک تا ۴/۵ درجه سانتی‌گراد می‌شود (Anastasi et al., 1990; Korner, 2003). در همین رابطه در چند سال اخیر، پروژه کاهش انتشار از جنگل‌زدایی و تخریب جنگل (REDD)، به‌عنوان راهکاری برای تعدیل تغییرات اقلیمی و اثرات آن در کشورهای در حال توسعه توجهات جهانی بسیاری را به‌سوی خود جلب کرده‌اند. در حقیقت، پروژه REDD شامل ارائه رویکردهای

تشویقی جهت مدیریت بهینه تغییرات کاربری اراضی به خصوص پوشش جنگلی است. ارائه الگوهای جدید برای جلوگیری از جنگل‌زدایی و تخریب جنگل و مهار انتشار گازهای گلخانه‌ای (GHGs) بویژه CO₂ از اهداف این پروژه است. REDD، یک فرصت منحصر به فرد برای دستیابی به کاهش تولید و انتشار GHGs در مقیاس وسیع با هزینه‌های معقول از طریق مدیریت صحیح تغییرات کاربری زمین است (Phelps et al., 2012). در مراحل آغازین ایجاد پروژه REDD و در راستای طرح اقدام بالی، مصوبه-ای در سیزدهمین دوره کنفرانس اعضای سران به کنوانسیون تغییرات اقلیمی سازمان ملل متحد^۲ (UNFCCC) اعلام شد که بیان داشت یک رویکرد جامع برای تعدیل اثرات تغییر اقلیمی باید شامل اقدام‌های سیاسی و همچنین ایجاد انگیزش‌های مثبت 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). هدف پروژه-های REDD، افزایش ترسیب کربن در مناطقی با تغییرات شدید کاربری‌های اراضی و فعالیت‌های جنگل‌زدایی می‌باشد (Parsamehr & Gholamalifard, 2016). این پروژه با بررسی تاثیر ایجاد مناطق حفاظتی بعنوان منطقه پروژه و همچنین مناطق بافر در اطراف منطقه پروژه با نام منطقه تراوش بر روی کاهش انتشار GHGs سبب ایجاد انگیزش‌های مثبت در جهت مدیریت صحیح منابع جنگلی می‌شود. تاکنون بسیاری از کشورهای

2- United Nations Framework Convention on Climate Change

1- Landscape

GHGs در مقیاس وسیع با هزینه‌های معقول از طریق مدیریت صحیح تغییرات کاربری زمین و جلوگیری از جنگل‌زدایی و تخریب جنگل محسوب می‌شود. از مطالعات انجام شده در ایران می‌توان به Parsamehr و Gholamalifard (۲۰۱۶) اشاره نمود که با توجه به تغییرات پوشش جنگل در محدوده شهرستان‌های نوشهر و نور واقع در استان مازندران، به اجرای پروژه REDD در این منطقه پرداختند. جنگل‌زدایی طی سال‌های ۱۳۶۳-۱۳۹۳ بررسی شد و مدل‌سازی تغییرات تا سال ۱۴۲۳ صورت گرفت. نتایج نشان داد که با اجرای موفقیت آمیز پروژه REDD می‌توان از انتشار $5840.56/38$ تن گاز CO_2 جلوگیری نمود. همچنین Parsamehr و همکاران (۲۰۱۹) با هدف شناسایی مناطق با جنگل‌زدایی بالا برای انتخاب سایت پروژه‌های REDD در استان مازندران چندین رویه مدل‌سازی در زمینه تولید نقشه‌های پتانسیل انتقال شامل شبکه عصبی پرسپترون چند لایه^۱ (MLP)، رگرسیون لجستیک و یادگیری بر مبنای نمونه وزنی مشابهت را مورد مقایسه قرار دادند. لازم به ذکر است که مدل‌سازی پتانسیل انتقال بعنوان ابزاری برای شبیه‌سازی جنگل‌زدایی استفاده می‌شود. نتایج نشان داد که جنگل‌های هیرکانی مرکزی طی سال‌های ۱۳۹۷-۱۳۶۳ حدود 1886.07 هکتار کاهش یافته است و مدل MLP بهترین دقت را بدست آورد. با نگاهی به مطالعات انجام شده، نقص مطالعه جامعی در ارتباط با نقش حفاظت از اکوسیستم‌های جنگلی در کاهش انتشار گاز دی‌اکسید کربن به عنوان یکی از مهمترین گازهای گلخانه‌ای احساس می‌شود. هدف مطالعه حاضر نشان دادن و همچنین کمی نمودن

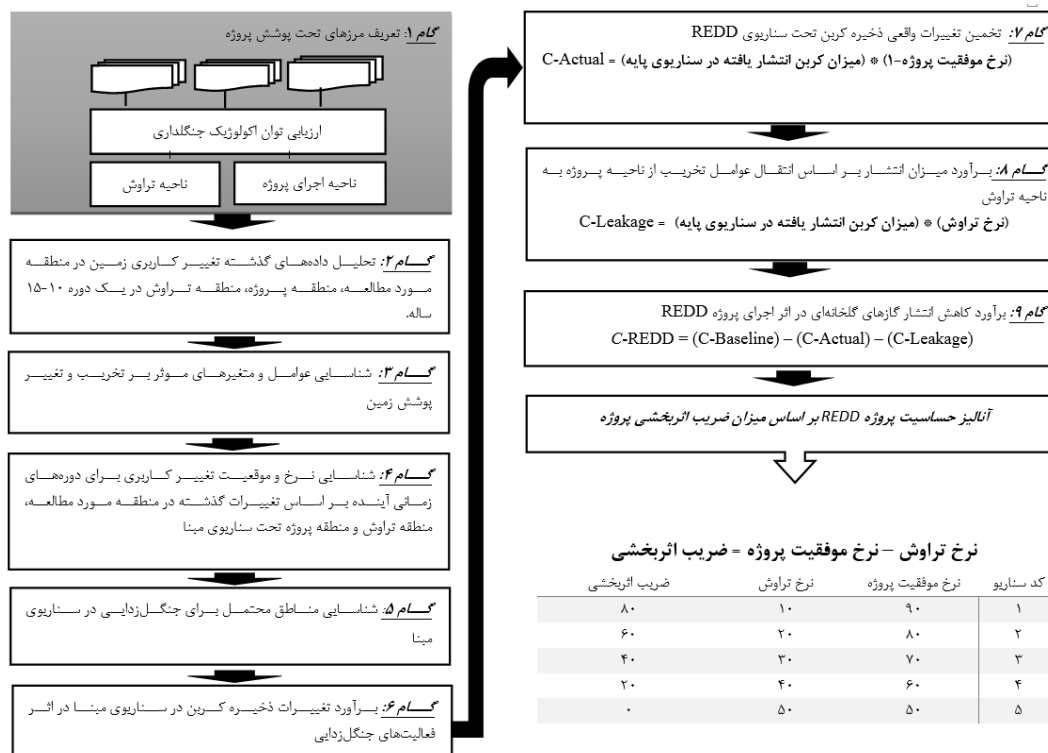
در حال توسعه شامل اندونزی، فیلیپین، هند، گینه نو، پرو، ویتنام، کامبوج، تانزانیا، زامبیا، کنگو، بولیوی، پاناما و پاراگوئه به برنامه REDD پیوسته و آنرا به اجرا درآورده‌اند (Rakatama *et al.*, 2020; Ji & Ranjan, 2019; Bos *et al.*, 2019; Massarella *et al.*, 2018; Guadalupe *et al.*, 2018; Sheng *et al.*, 2016). در چهار دهه گذشته تغییر کاربری اراضی در ایران با سرعت فزاینده به وقوع پیوسته است و باعث تشدید روند تخریب منابع محیطی گردیده است (Arekhi *et al.*, 2011) که جنگل‌های هیرکانی در شمال ایران نیز از این امر مستثنی نبوده‌اند. جنگل‌های هیرکانی بعنوان یکی از مهمترین ذخایر ژنتیکی بیوسفر زمین و با قدمتی بیش از یک میلیون سال جزء جنگل‌های طبیعی و کهن عرصه‌های جهانی محسوب می‌شوند (Kia-Daliri *et al.*, 2011). جنگل‌های مذکور با مساحت حدود $1/2$ میلیون هکتار (Zahedi & Zargham, 2014) سهم عمده‌ای را در ترسیب کربن اتمسفری بر عهده دارند. بر اساس آمار ارائه شده از سوی فائو، در حدود ۲۳۴ پتاگرم کربن در بالای سطح زمین در جنگل‌ها، ۶۲ پتاگرم کربن در زیرزمین، ۴۱ پتاگرم کربن در چوب مرده، ۲۳ پتاگرم کربن در لاشبرگ و ۳۹۸ پتاگرم کربن در خاک‌های جنگلی انبار شده است (Kindermann *et al.*, 2008). انتشار جهانی گاز CO_2 با رشد $1/4$ درصدی در سال ۲۰۱۷ به رقم $32/5$ گیگاتن رسیده است. سهم ایران در این میزان انتشار چیزی حدود $650-750$ مگاتن در سال است و از این لحاظ ایران جزو ۱۵ کشور اول در زمینه انتشار GHGs است (International Energy Agency, 2017). با توجه به سهم قابل توجه ایران در انتشار GHGs، اجرای پروژه REDD، یک فرصت منحصر به فرد برای دستیابی به کاهش تولید و انتشار

کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای استفاده شده است. روش‌شناسی پروژه REDD که توسط بنگاه سرمایه‌گذاری کربن زیستی (Bio Carbon Fund) در سال ۲۰۰۸ ارائه شده است (Fund, 2008)، در نه گام و در قالب دو سناریوی مبنا و پروژه اجرا شد (شکل ۱). اصلی‌ترین داده‌های مورد استفاده در این روش عبارتند از لایه‌های کاربری زمین منطقه، اطلاعات مربوط به ذخیره کربن برای هر طبقه کاربری و مرزبندی و انتخاب مناطق جنگلی مناسب برای حفاظت.

نقش جنگل‌ها در کاهش انتشار گاز CO₂ است. با جمع‌بندی موارد اشاره شده می‌توان این سوالات را مطرح نمود که: حفاظت از جنگل‌های هیرکانی در استان گلستان تا چه اندازه در کاهش انتشار CO₂ موثر است؟ میزان حساسیت مدل به تغییرات مدیریتی ایجاد شده در بخش حفاظت به چه میزانی است؟

۲. مواد و روش‌ها

این مطالعه با هدف بررسی و کمی‌سازی روند انتشار گاز دی‌اکسید کربن در جنگل‌های هیرکانی استان گلستان انجام شده است. برای دستیابی به هدف مطالعه حاضر، از روش‌شناسی پروژه REDD در



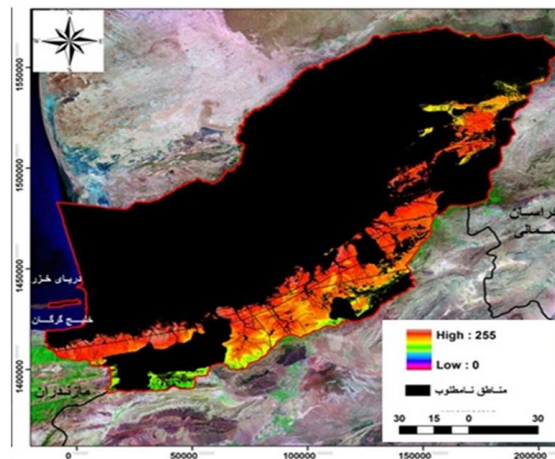
شکل ۱- نمودار جریان مراحل انجام پروژه REDD (Fund, 2008)

در گام اول سه مرز مکانی شامل منطقه مرجع، منطقه پروژه و منطقه تراوش تعریف شد (Fund, 2008). در پژوهش حاضر، مرز سیاسی استان گلستان بعنوان منطقه مرجع انتخاب شد. در منطقه پروژه شرایط برای اجرای فعالیت‌های پروژه REDD و

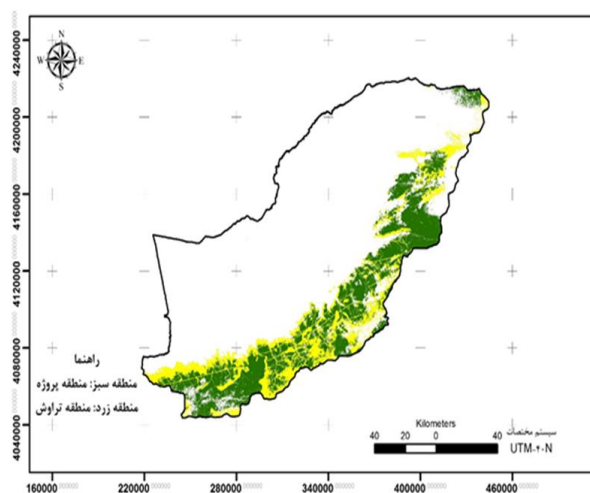
۱-۲. تعریف مرز شامل تعریف مرز منطقه، مرز منطقه پروژه، مرز منطقه تراوش، بازه زمانی مورد استفاده و منابع ذخیره کربن

فعالیت‌های پروژه و تراوش و مرزبندی آن‌ها بر اساس این لایه اطلاعاتی انجام گرفته است (شکل ۳). از آنجا که استفاده از برآورد کربن از گزارش‌های IPCC و مطالعات قبلی در اکوسیستم‌های مشابه در روش‌شناسی REDD مجاز است، میزان کربن پنج منبع ذخیره کربن شامل کربن روزمینی، زیرزمینی، چوب مرده، بستر و کربن آلی خاک با نتیجه بررسی ۳۱ مطالعه داخلی و گزارش IPCC (جدول ۳) ارائه شده است.

کنترل جنگل‌زدایی مهیا شد. منطقه اطراف منطقه پروژه، منطقه تراوش در نظر گرفته شد که احتمال انتقال فعالیت‌های تخریبی از منطقه پروژه به این مناطق وجود داشت. جهت استخراج مرز مناطق مربوط به پروژه و تراوش از سند آمایش سرزمین استان گلستان و ارزیابی توان اکولوژیک جنگل‌داری استفاده شد (Golestan Province land use planning report, 2013). شکل ۲ لایه نهایی ایجاد شده مربوط به ارزیابی توان جنگل‌داری را بر اساس سند آمایش سرزمین در استان گلستان نشان می‌دهد. استخراج مناطق پیشنهادی برای اجرای



شکل ۲- لایه نهایی ایجاد شده مربوط به ارزیابی توان جنگل‌داری (Salman mahiny, 2013)



شکل ۳- مرزبندی منطقه پروژه و تراوش

Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper (TM)،
Landsat OLI / Mapper Plus (ETM +)
TIRS با اندازه پیکسل ۳۰ متر تهیه شدند. پس از
تصحیح اتمسفری و رادیومتریک تصاویر مذکور و
زمین مرجع سازی آنها، طبقات کاربری اراضی شامل
مناطق انسان ساخت، جنگل، کشاورزی، مرتع، آب و
بایر با روش طبقه بندی حداکثر احتمال استخراج
شدند.

۲-۲. تحلیل داده های گذشته تغییر کاربری
اراضی در منطقه مرجع، منطقه پروژه و کمربند
تراوش
در گام دوم تغییرات کاربری اراضی در بازه زمانی
۱۳۶۳-۱۳۹۷ بررسی شد. به این منظور نقشه های
کاربری اراضی سال های ۱۳۶۳، ۱۳۸۷ و ۱۳۹۷
بترتیب از تصاویر Landsat 5 Thematic Mapper

جدول ۳- ذخیره کربن در طبقات مختلف کاربری (منبع: نگارندگان)

طبقه کاربری	ذخیره کربن (تن در هکتار)		
	کربن آلی خاک	لاشبرگ	کربن زیرزمینی
جنگل	۹۱/۵	۱/۸	۲/۴۲
مرتع	۲۵/۵	۰/۲۴	۰/۶
کشاورزی	۹/۸	۰	۰/۹۸
بایر	۱۰/۰۳	۰	۰

گذشته در منطقه مرجع، منطقه تراوش و منطقه
پروژه تحت سناریوی مبنا

پس از آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی در بازه
زمانی ۱۳۶۳-۱۳۹۷ (گام دوم) و تعیین متغیرهای
هدایت گر تغییر (گام سوم)، در این گام با استفاده از
نقشه های کاربری سال های ۱۳۶۳ و ۱۳۸۷ و زنجیره
مارکوف، ماتریس احتمال انتقال تولید شد و پتانسیل
انتقال از یک طبقه کاربری به طبقه کاربری دیگر با
توجه به متغیرهای تاثیرگذار بر تغییرات کاربری مدل
شد و مجموعه ای از تصاویر احتمال انتقال با استفاده
از مدل MLP مدل سازی شد. خروجی مرحله
مدل سازی پتانسیل انتقال به عنوان ورودی مرحله
پیش بینی تغییرات کاربری اراضی بکار رفت. به این
ترتیب لایه های کاربری اراضی ۱۳۶۳ و ۱۳۸۷ بعنوان
داده مشاهده ای برای کالیبراسیون مدل MLP عمل
کردند و لایه کاربری اراضی سال ۱۳۹۷ برای تایید

۳-۲. شناسایی عوامل و متغیرهای موثر بر تغییر
و تخریب کاربری اراضی

در گام سوم متغیرهای تاثیرگذار بر تغییرات کاربری
اراضی با مرور سایر مطالعات در این زمینه انتخاب
شدند. متغیرهای مورد استفاده در این پژوهش
عبارتند از: (۱) ارتفاع؛ (۲) شیب؛ (۳) بارش؛ (۴) فاصله از
جاده ها؛ (۵) فاصله از مرز جنگل؛ (۶) فاصله از مناطق
مسکونی؛ (۷) فاصله از کشاورزی؛ (۸) فاصله از مراتع و
(۹) فاصله از منابع آب. انتخاب نهایی متغیرهای
تاثیرگذار بر تغییرات کاربری اراضی با استفاده از
ضریب همبستگی کرامر^۱ تعیین شد (Eastman, 2015).

۴-۲. شناسایی نرخ و موقعیت تغییر کاربری
برای دوره های زمانی آینده بر اساس تغییرات

1-Crammer's V

نقشه شبیه‌سازی شده سال ۱۳۹۷ استفاده شد. عملکرد مدل طی فرایند کالیبراسیون با استفاده از شاخص کاپا انجام شد. تأیید خروجی مدل، شرایط اجرای گام پنجم را فراهم ساخت.

۲-۵. شناسایی مناطق محتمل برای جنگل‌زدایی

در سناریوی مبنا

در این گام تغییرات کاربری اراضی آبی تحت سناریوی مبنا در بازه زمانی ۱۳۹۷-۱۴۲۷ پیش‌بینی شد و نقشه‌های کاربری اراضی در دوره‌های پنج ساله شامل ۱۴۰۲، ۱۴۰۷، ۱۴۱۲، ۱۴۱۷، ۱۴۲۲ و ۱۴۲۷ تهیه شدند.

۲-۶. برآورد تغییرات ذخیره کربن در سناریوی

مبنا در اثر فعالیت‌های جنگل‌زدایی

در این گام تغییرات احتمالی ذخیره کربن و انتشار گاز CO₂ در سناریوی پایه (عدم اجرای پروژه) برآورد شد.

۲-۷. برآورد احتمالی تغییرات واقعی ذخیره

کربن در زمان اجرای فعالیت‌های پروژه

در این گام تغییرات انتشار گاز CO₂ در زمان اجرای فعالیت‌های پروژه بر اساس نرخ موفقیت پروژه برآورد شد (رابطه ۱). نرخ موفقیت پروژه نشان‌دهنده میزان و درصدی از فعالیت‌های جنگل‌زدایی در منطقه پروژه است که از آنها جلوگیری می‌شود (Fund, 2008). خروجی این گام با عنوان میزان واقعی کربن انتشار یافته (C-Actual) بیان شد.

رابطه (۱) (نرخ موفقیت پروژه) * (میزان کربن

انتشار یافته در سناریوی مبنا) = C-Actual

۲-۸. برآورد احتمالی میزان انتشار بر اساس

انتقال عوامل تخریب از ناحیه پروژه به ناحیه

تراوش

در این گام میزان کاهش انتشار گاز CO₂ با جابجایی بخشی از فعالیت‌های تخریبی از منطقه پروژه به کمربند تراوش برآورد شد. نرخ تراوش نشان‌دهنده میزان و درصدی از فعالیت‌های جنگل‌زدایی است که به دلیل اقدامات حفاظتی در منطقه پروژه به منطقه تراوش منتقل می‌شود (Fund, 2008). خروجی این گام با عنوان میزان کربن انتشاریافته در اثر تراوش (C-Leakage) بیان شد (رابطه ۲).

(نرخ تراوش) * (میزان کربن انتشار یافته در

سناریوی پایه) = C-Leakage

۲-۹. برآورد احتمالی کاهش انتشار گازهای

گلخانه‌ای در اثر اجرای پروژه REDD

در این گام، میزان نهایی کاهش انتشار گاز CO₂ در اثر اجرای پروژه REDD در منطقه برآورد شد. میزان نهایی کاهش انتشار (C-REDD)، از اختلاف بین میزان انتشار در سناریو پایه و انتشار کاهش یافته در اثر اجرای پروژه حاصل می‌شود (رابطه ۳).

C-REDD = (C-Baseline) - (C-Actual) -

(C-Leakage)

۲-۱۰. آنالیز حساسیت پروژه REDD

آنالیز حساسیت عبارت است از پایش اثر تغییرات مقادیر ورودی بر خروجی مدل. آنالیز حساسیت عمدتاً بکار گرفته می‌شود تا مشخص شود کدام پارامتر ورودی برای دستیابی به مقادیر دقیق خروجی مهم‌تر یا حساس‌تر است (Frey et al., 2004). در این پژوهش از شاخص ضریب اثربخشی بمنظور آنالیز حساسیت پروژه REDD استفاده شد (رابطه ۴). با

توجه به اهمیت نرخ موفقیت پروژه و نرخ تراوش در انتشار انتشار گاز CO₂، ضریب اثربخشی بر اساس نرخ تراوش و نرخ موفقیت پروژه در هر دوره پنج ساله اجرای پروژه REDD محاسبه شد (جدول ۵).

جدول ۵- ضرایب پروژه REDD در سناریوهای مختلف

کد سناریو	نرخ موفقیت پروژه	نرخ تراوش	ضریب اثربخشی
۱	۹۰	۱۰	۸۰
۲	۸۰	۲۰	۶۰
۳	۷۰	۳۰	۴۰
۴	۶۰	۴۰	۲۰
۵	۵۰	۵۰	۰

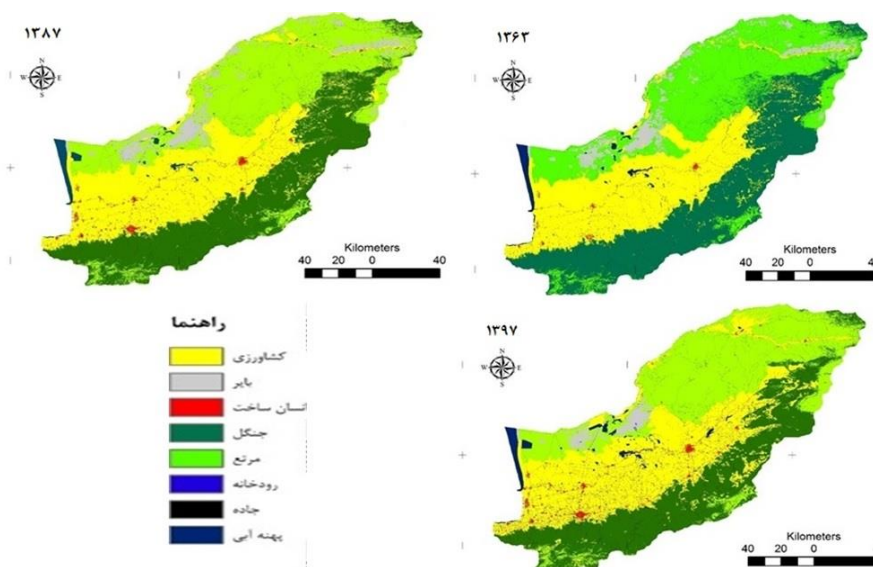
به وجود آمده است. با مقایسه دو زیر دوره (۱۳۸۷-۱۳۶۳ و ۱۳۹۷-۱۳۸۷)، تغییرات جنگل روند کاهشی مشابهی را دنبال کرد. اگرچه میزان جنگل زدایی در دوره دوم تا حدی کندتر بود. نتایج نشان داد که در طول دوره دوم (۱۳۹۷-۱۳۸۷)، جنگل زدایی نه تنها به هزینه کشاورزی اتفاق افتاد، بلکه سایر طبقات کاربری اراضی نیز رشد داشتند.

۳. نتایج

۳-۱. تهیه نقشه‌های کاربری اراضی و بارزسازی

تغییرات

نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۱۳۶۳، ۱۳۸۷ و ۱۳۹۷ با ضریب کاپای بترتیب ۰/۸، ۰/۸۲ و ۰/۸۸ تهیه شدند (شکل ۴). با مقایسه سال‌های مورد بررسی، بارزترین تغییر در طبقات جنگل و کشاورزی



شکل ۴- لایه کاربری اراضی سال‌های ۱۳۶۳، ۱۳۸۷ و ۱۳۹۷

۲-۳. شناسایی عوامل و متغیرهای موثر بر تخریب و تغییر کاربری اراضی و شناسایی

مناطق محتمل جنگل‌زدایی در سناریوی مبنا

جدول ۷ آزمون ۷ کرامر را برای متغیرهای اولیه مدل‌سازی تغییرات کاربری نشان می‌دهد. با توجه به نتایج آزمون ۷ کرامر، متغیرهای جهت و فاصله از پهنه‌های آبی به دلیل قدرت پیش‌بینی‌کنندگی پایین از لیست متغیرهای وارد شده به مدل حذف شدند. حساسیت‌سنجی مدل به متغیرهای مورد استفاده با ثابت نگه داشتن یک متغیر و تغییر متغیرهای دیگر انجام شد. میزان تغییر در دقت مدل شبکه عصبی در

زمان ثابت شدن یک متغیر نشان دهنده درجه اهمیت متغیر است. جدول ۸ نتایج بررسی حساسیت مدل به حذف متغیرهای مورد استفاده در مدل را نشان می‌دهد. نتایج جدول ۸ که نشان‌دهنده اهمیت متغیرها در تغییرات کاربری زمین بین سال‌های ۱۳۸۷-۱۳۶۳ است نشان می‌دهد که فعالیت‌های مرتعی، کشاورزی و توسعه شهری اصلی‌ترین عوامل اثرگذار بر تخریب پوشش جنگلی در منطقه هستند. بررسی لایه کاربری اراضی سال ۱۳۹۷ نشان می‌دهد که حدود ۶۷ درصد مساحت استان از سه طبقه کاربری نامبرده تشکیل شده است.

جدول ۷- آزمون ۷ کرامر برای برآورد اولیه متغیرها

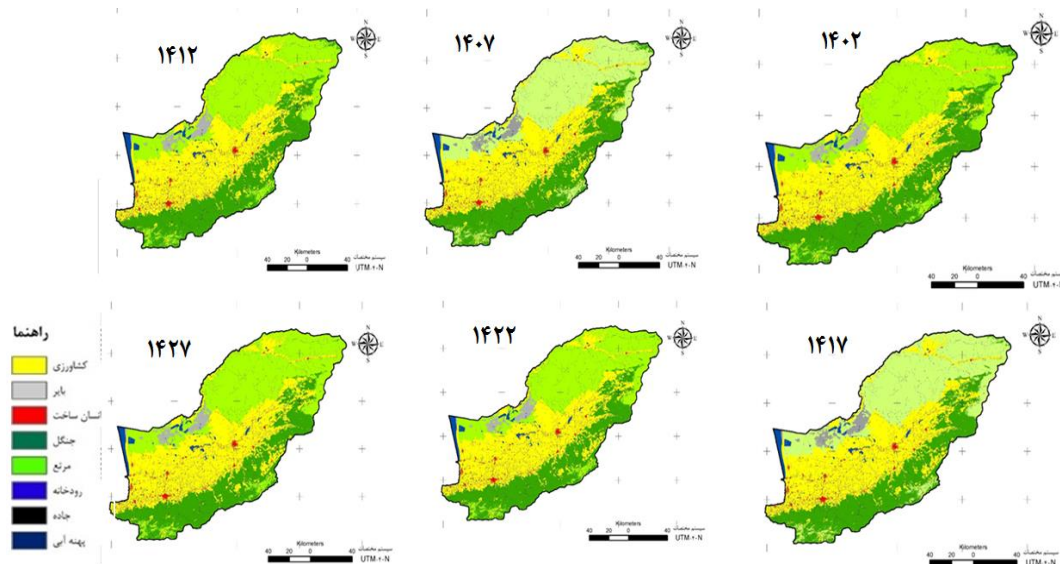
متغیر	۷ کرامر
شیب	۰/۳۱
فاصله از مناطق مسکونی	۰/۲۵
فاصله از جاده	۰/۱۹
فاصله از مرز پهنه‌های جنگلی	۰/۲۲
ارتفاع	۰/۳۱
تعداد طبقات جنگلی	۰/۳۳
فاصله از پهنه‌های آبی	۰/۱۴
جهت	۰/۰۸
فاصله از مراتع	۰/۳۱
فاصله از زمین‌های کشاورزی	۰/۲۸

جدول ۸- دقت مدل شبکه عصبی مصنوعی با روش حذف متغیر

مدل	دقت مدل	اولویت متغیر
تمام متغیرها	۸۴/۴۹	-
متغیر ثابت: ارتفاع	۸۱/۹۳	۴
متغیر ثابت: فاصله از مناطق مسکونی	۶۳/۲۸	۲
متغیر ثابت: فاصله از مرز جنگل	۸۴/۴۹	۶
متغیر ثابت: فاصله از جاده	۸۴/۷۷	۸
متغیر ثابت: تعداد همسایه طبقه جنگلی	۸۴/۵۹	۷
متغیر ثابت: فاصله از مناطق کشاورزی	۷۴/۳۶	۳
متغیر ثابت: فاصله از مناطق مرتعی	۶۱/۴۳	۱
متغیر ثابت: شیب	۸۳/۹۵	۵

شکل ۵ نقشه کاربری اراضی سال‌های ۱۴۰۲، ۱۴۰۷، ۱۴۱۲ و ۱۴۲۲ را نشان می‌دهد.

پس از اجرای مدل شبکه عصبی مصنوعی با متغیرهای انتخابی، نقشه‌های پیش‌بینی برای شش دوره زمانی سال‌های ۱۳۹۸-۱۴۲۷ استخراج گردید.



شکل ۵- نقشه‌های کاربری اراضی پیش‌بینی شده سال‌های ۱۴۰۲ تا ۱۴۲۷

با اجرای پروژه REDD در مناطق جنگلی استان گلستان و با اجرای حالت اول (نرخ موفقیت و نرخ تراوش بترتیب ۹۰ و ۱۰ درصد)، میزان انتشار گاز CO₂ در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۴۲۷ در منطقه پروژه بترتیب برابر با ۵۷۳۹۶/۸۲ و ۶۶۲۶۵/۵۹ تن برآورد گردید. در حالت دوم، نرخ موفقیت پروژه از ۹۰ به ۸۰ درصد کاهش یافت. بر این اساس، میزان انتشار گاز CO₂ در سال ۱۳۹۸ در منطقه پروژه برابر با ۱۱۴۷۹۳/۶ تن برآورد گردید. این میزان انتشار در سال ۱۴۲۷ به ۱۳۲۵۳/۱/۲ تن رسید. بر اساس حالت سوم میزان انتشار گاز CO₂ در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۴۲۷ در منطقه پروژه برابر با ۱۷۲۱۹۰/۵ و ۱۹۸۷۹۶/۸ تن برآورد گردید. لازم به ذکر است که کاهش نرخ موفقیت پروژه، ضریب اثربخشی پروژه را تحت تاثیر قرار داد. این ضریب در حالت‌های اول، دوم و سوم به ترتیب ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد بوده است. در حالت چهارم این ضریب به مقدار ۲۰ درصد رسید.

۳-۳. برآورد تغییرات ذخیره کربن در اثر

جنگل‌زدایی در سناریوی پایه

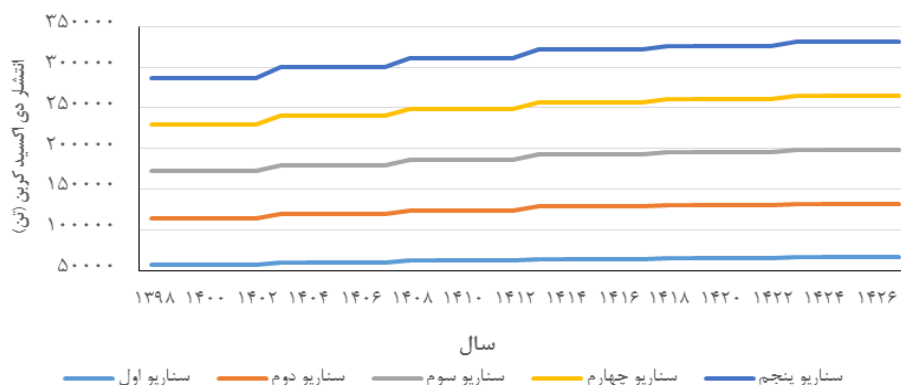
میزان تخریب پوشش جنگلی بر اساس مرزهای منطقه پروژه و تراوش در بازه‌های زمانی پنج ساله تا سال ۱۴۲۷ استخراج شد. بیشترین جنگل‌زدایی در منطقه اجرای پروژه مربوط به پنج سال آخر با میزان ۱۳۵۲ هکتار و بیشترین تخریب در منطقه تراوش در پنج سال اول با میزان ۱۴۳۵ هکتار اتفاق افتاد. با توجه به اینکه بیشترین مقدار تخریب در منطقه پروژه در سناریوی مبنا در پنج سال آخر اتفاق افتاده است، بیشترین میزان انتشار گاز CO₂ نیز با مقدار ۷۵۷۱۱۹/۱ تن در سال در این دوره زمانی رخ داده است.

۳-۴. برآورد احتمالی تغییرات واقعی ذخیره

کربن در زمان اجرای سناریوی پروژه REDD

تن و در سال ۱۴۲۷ معادل ۳۳۱۳۲۷/۹ تن برآورد شد. نرخ تراوش در سناریوهای اول تا پنجم به ترتیب برابر با ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد است. برآورد میزان انتشار گاز CO₂ در منطقه تراوش در حالت پنجم که دارای بالاترین نرخ تراوش است بیش از سایر سناریوها است. حداکثر انتشار گاز CO₂ در سال ۱۴۲۷ مربوط به حالت پنجم است. مقدار انتشار در این سال معادل ۳۳۱۳۲۷/۹ تن است (شکل ۶).

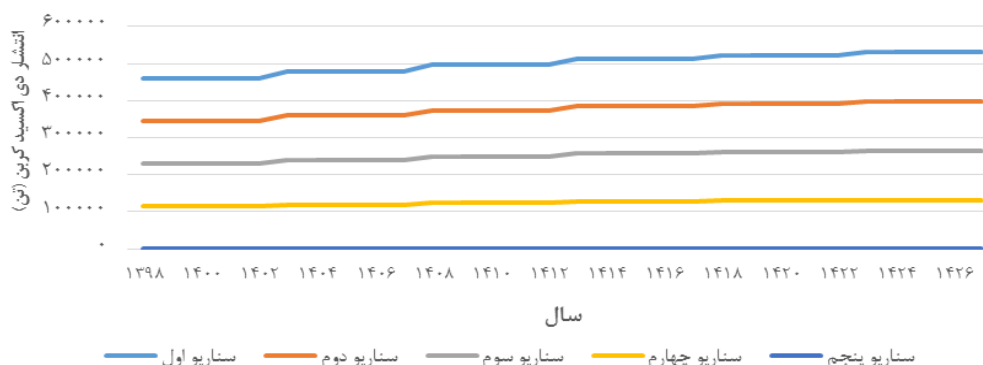
کاهش ضریب اثربخشی به مقدار ۲۰ درصد، عملاً انتشار گازهای گلخانه‌ای را به سناریوی مبنا نزدیک کرد و میزان انتشار گاز CO₂ در منطقه پروژه در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۴۲۷ به ترتیب ۲۲۹۵۸۷/۳ و ۲۶۵۰۶۲/۳ تن برآورد گردید. حالت پنجم با کمترین میزان ضریب اثربخشی (ضریب اثربخشی برابر صفر) نزدیک‌ترین حالت به سناریوی پایه است. میزان انتشار گاز CO₂ در سال ۱۳۹۸ حدود ۲۸۶۹۸۴/۱



شکل ۶- میزان انتشار گاز CO₂ در اثر جابجایی فعالیت‌های تخریبی به ناحیه تراوش در پروژه REDD

اطلاعات خروجی مدل، بیشترین میزان کاهش انتشار در حالت اول با نرخ موفقیت ۹۰ درصد و کمترین کاهش انتشار نیز در حالت پنجم با ضریب اثربخشی صفر درصد مشاهده شد (شکل ۷).

میزان نهایی کاهش انتشار (C-REDD)، از اختلاف بین میزان انتشار در سناریو پایه و انتشار کاهش یافته در اثر اجرای پروژه حاصل شد. برای هر سناریو و هر ضریب اثرپذیری، میزان کاهش انتشار گاز CO₂ در پایان هر دوره پروژه REDD برآورد شد. براساس



شکل ۷- میزان کاهش انتشار گاز CO₂ پس از اجرای پروژه REDD

۴. بحث و نتیجه گیری

در این پژوهش بررسی تغییرات کاربری اراضی در دوره زمانی ۱۳۶۳ تا ۱۳۹۷ در استان گلستان، روند کاهشی تغییرات جنگل را نشان داد. Shooshtari و همکاران (۲۰۲۰) کاهش ۱۲ درصدی مساحت جنگل در حوضه آبخیز قره سو در استان گلستان در بازه زمانی سال‌های ۱۹۸۸ تا ۲۰۰۸ را برآورد نمودند. طبق مطالعات انجام شده فعالیت‌های کشاورزی یکی از مهم‌ترین عوامل تخریب جنگل‌ها در شمال ایران بوده است (Shooshtari & Gholamalifard, 2015; Nasiri et al., 2018). در این پژوهش بمنظور پیش‌بینی تغییرات آتی کاربری اراضی در سناریوی مبنا از مدل مارکوف و شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. در اکثر مطالعات مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی، متغیرهای اقتصادی اجتماعی موثر بر تخریب پوشش زمین در کنار متغیرهای اکولوژیک مورد بررسی قرار گرفته است. برای مثال Shooshtari و Gholamalifard (۲۰۱۵) نقشه‌های فاصله از جاده، اراضی کشاورزی و مناطق مسکونی را به عنوان متغیر اقتصادی و اجتماعی در مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی در حوضه آبخیز نکا بررسی نمودند. در مطالعه حاضر فعالیت‌های کشاورزی و توسعه شهری اصلی‌ترین عوامل اثرگذار بر تخریب پوشش جنگلی در منطقه بررسی شدند. نمونه‌ای از سناریوسازی و برنامه‌ریزی جهت دستیابی به توسعه پایدار در راستای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در این مطالعه انجام شد. در سناریوی مبنا روند تغییرات گذشته کاربری (به ویژه تخریب جنگل) ادامه یافت در حالیکه سناریوی پروژه بخشی از فعالیت‌های تخریبی کنترل و متوقف شد. بمنظور بررسی حالت‌های مختلف مدیریتی در منطقه در دوره زمانی مورد

مطالعه، نرخ موفقیت پروژه و نرخ تراوش تغییر یافتند. براساس نتایج در بهترین حالت (نرخ موفقیت ۹۰ درصد و نرخ تراوش ۱۰ درصد)، میزان انتشار گاز CO₂ در منطقه پروژه از میزان ۵۷۳۹۶۸/۳ تن در سناریوی مبنا در سال ۱۳۹۸ به ۶۶۲۶۵/۵ تن در سال ۱۴۲۷ رسید. در بدترین حالت طراحی شده نیز (نرخ موفقیت و نرخ تراوش ۵۰ درصد) نسبت به سناریوی مبنا کاهش انتشار دیده شد. این در حالی است که اگر هیچ رویکرد مدیریتی جهت حفاظت پهنه‌های جنگلی در استان گلستان اجرا نگردد در سناریوی مبنا میزان انتشار گاز CO₂ در انتهای سال ۱۴۲۷ به میزان ۶۶۲۶۵۵/۹ تن می‌رسد. به این نکته باید توجه داشت که مبانی پروژه REDD بر نقش حفاظت از اکوسیستم‌های جنگلی استوار است. بنابراین هر گونه کاهش در انتشار گاز CO₂ در این پروژه تنها مبتنی بر حفاظت از این اکوسیستم‌ها است. از سوی دیگر، برآوردهای انتشار این گاز در سناریوی پایه که با فرض ادامه روند تخریبی موجود است نیز بر اساس پوشش‌های عمده و اصلی کاربری زمین در منطقه است و نقش فناوری‌ها و صنایع در این برآوردها دیده نمی‌شود. این نتایج نشان‌دهنده اهمیت حفاظت در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای است. Zarandian و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه خود با هدف مدل‌سازی سناریوهای مدیریت اراضی با نرم‌افزار InVEST و ارزیابی اثرات آن بر ذخیره و ترسیب کربن در جنگل‌های دوهزار و سه هزار استان مازنداران به نتایج مشابهی دست یافتند. بطوریکه سناریوی ادامه روند وضع موجود^۱ (BAU) منجر به کاهش قابل توجهی در ترسیب کربن و تحمیل هزینه اجتماعی بواسطه از دست‌دهی کربن ذخیره در

۱۴۲۷ در سناریوی مبنا با انتشار این گاز برای همان سال در بدترین حالت طراحی شده (نرخ موفقیت و نرخ تراوش ۵۰ درصد)، کاهش ۳۳۱۳۲۸ تنی را برای منطقه اجرای پروژه نشان می‌دهد. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که حتی در بدترین رویکردهای مدیریتی در حفاظت نیز میزانی از کاهش انتشار در منطقه پروژه رخ خواهد داد. رویکرد کلی پروژه REDD می‌تواند روند بسیاری از تغییرات در هر منطقه را به صورت کمی بررسی نماید و بسیاری از رخدادهای ممکن انسانی را مورد پیش‌بینی قرار دهد. همانگونه که در این مطالعه هم مشاهده شد اعمال مدیریت حفاظتی در مناطق و پهنه‌های جنگلی، حتی اگر کوچک باشد، می‌تواند اثرات ملموسی داشته باشد.

Reference

- Abbas Nejad, B, & Khajedin, S. 2014. Effect of urban reforestation on carbon sequestration in arid soils using remote sensing technology. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*. 5(2): 75-88. (In Persian)
- Anastasi, C., Hudson, R. & Simpson, V.J., 1990. Effects of future fossil fuel use on CO₂ levels in the atmosphere. *Energy Policy*. 18(10): 936-944.
- Arekhi, S., Niazi, Y. & Arzani, H. 2011. Comparing Various Techniques for Land Use/Cover Change Detection Using RS & GIS (Case Study: Daresher Catchment, Ilam Province). *Environmental Sciences*. 8(3): 81-96. (In Persian).
- Bos, A.B., De Sy, V., Duchelle, A.E., Herold, M., Martius, C. & Tsendbazar, N.E. 2019. Global data and tools for local forest cover loss and REDD+ performance assessment: Accuracy, uncertainty, complementarity and impact. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 80: 295-311.
- Eastman, J. R. 2015. TerrSet manual. Worcester, Massachusetts, US: Clark University.

منطقه و انتشار آن در اتمسفر شد. همچنین بررسی تغییرات پوشش جنگل و اجرای پروژه REDD در محدوده‌ای از بخش‌های کجور و مرزن آباد در استان مازندران توسط Parsamehr و همکاران (۲۰۱۹)، نشان داد که تحت سناریو مبنا، ۷۰۵۳۳۶ تن گاز CO₂ طی ۳۰ سال آینده به اتمسفر انتشار خواهد یافت که با اجرای پروژه REDD می‌توان از انتشار ۴۹۱۶۹۷/۹ تن گاز CO₂ جلوگیری نمود. یافته‌های تحقیق Parsamehr و Gholamalifard (۲۰۱۶) نشان داد که با استفاده از روش‌شناسی REDD می‌توان میزان تغییرات کاربری اراضی، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و همچنین تاثیر اجرای پروژه‌های REDD در کاهش انتشار را برآورد و پیش‌بینی کرد. مقایسه انتشار گاز CO₂ در سال

Ebrahimnia, V., Rasouli, M. & Zandieh, S. 2009. Land Use Allocation Methods and Models. *Armanshahr Architecture & Urban Development*. 2(2): 9-22. (In Persian)

Fund, B. 2008. Methodology for Estimating Reductions of GHG emissions from Mosaic Deforestation. *RED-NM-001, version, 1*.

Frey, H. C., Mokhtari, A. & Zheng, J., 2004. Recommended practice regarding selection, application, and interpretation of sensitivity analysis methods applied to food safety process risk models. *US Department of Agriculture, Washington, DC*.

Salman mahiny, A. 2013. Golestan Province Land use Planning Report. Published by Gorgan University of Agriculture and Natural Resources, edited by Abdolrassoul Salmanmahiny. Gorgan City, Iran.

Guadalupe, V., Sotta, E. D., Santos, V. F., Aguiar, L. J. G., Vieira, M., de Oliveira, C. P. & Siqueira, J. V. N. 2018. REDD+ implementation in a high forest low deforestation area: Constraints on monitoring forest carbon emissions. *Land Use Policy*. 76:414-421.

- International Energy Agency. 2017. Global Energy & CO2 Status Report. <https://www.iea.org/>, (Visited: November 2018).
- Ji, Y. & Ranjan, R. 2019. A global climate-economy model including the REDD option. *Journal of environmental management*. 247: 342-355.
- Kia-Daliri, H., Akhavan, R. & Anissi, I. 2011. Timber marking and its impact on forest stand (Case study: Shourab district of Golband region). *Iranian Journal of Forest*. 3: 49 -59. (In Persian)
- Kindermann, G., McCallum, I., Fritz, S. & Obersteiner, M., 2008. A global forest growing stock, biomass and carbon map based on FAO statistics. *Silva Fennica*. 42(3):387-396.
- Korner, C., 2003. Carbon limitation in trees. *Journal of Ecology*. 91: 4-17.
- Massarella, K., Sallu, S. M., Ensor, J. E. & Marchant, R., 2018. REDD+, hype, hope and disappointment: The dynamics of expectations in conservation and development pilot projects. *World Development*, 109:375-385.
- Nasiri, V., Darvishsefat, A. A., Rafiee, R., Shirvany, A. & Hemat, M. A. 2019. Land use change modeling through an integrated multi-layer perceptron neural network and Markov chain analysis (case study: Arasbaran region, Iran). *Journal of Forestry Research*, 30(3): 943-957.
- Parsamehr, K. & Gholamalifard, M. 2016. Applied Introduction of Modeling of REDD Projects: A Strategy for Reduce the Impacts of Climate Change. *Environmental Research*. 7(13): 183-202. (In Persian)
- Parsamehr, K., Gholamalifard, M. & Kooch, Y., 2019. Comparing three transition potential modeling for identifying suitable sites for REDD+ projects. *Spatial Information Research*, pp.1-13.
- Parsamehr, K., Gholamalifard, M. & Kooch Y. 2019. Transition Potential Modeling of Land-Cover based on Similarity Weighted Instance-based Learning Procedure and Its Implication in the REDD Project Design Document. *Engineering*
- Journal of Geospatial Information Technology*. 7 (1):121-144. (In Persian)
- Phelps, J., Friess, D. A. & Webb, E. L. 2012. Win-win REDD+ approaches belie carbon-biodiversity trade-offs. *Biological Conservation*. 154, 53-60.
- Rakatama, A., Iftekhar, M.S. & Pandit, R. 2020. Perceived benefits and costs of REDD+ projects under different forest management regimes in Indonesia. *Climate and Development*. 12(5): 481-493.
- Sheng, J., Han, X., Zhou, H. and Miao, Z. 2016. Effects of corruption on performance: Evidence from the UN-REDD Program. *Land Use Policy*. 59: 344-350.
- Shooshtari, S. J., Silva, T., Namin, B. R. & Shayesteh, K. 2020. Land Use and Cover Change Assessment and Dynamic Spatial Modeling in the Ghara-su Basin, Northeastern Iran. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*. 48(1): 81-95.
- Shooshtari, S. J. & Gholamalifard, M. 2015. Scenario-based land cover change modeling and its implications for landscape pattern analysis in the Neka Watershed, Iran. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 1: 1-19.
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). 2008. Report of the Conference of the Parties, on its thirteen session held in Bali, from 3 to 15 December 2007.
- Zahedi, Q. & Zargham, N. 2014. Carbon sequestration in terrestrial ecosystems. University of Tehran Press.
- Zarandian, A., Badamfirouz, J., Musazadeh, R., Rahmati, A. & Azimi, S. B. 2018. Scenario modeling for spatial-temporal change detection of carbon storage and sequestration in a forested landscape in Northern Iran. *Environmental monitoring and assessment*, 190(8):.474.