مقاله پژوهشی

نشریه علمی تحقیقات حمایت و حفاظت جنگلها و مراتع ایران شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ijfrpr.2021.351863.1446
جلد ۱۹ شماره ۱، صفحه ۹۳-۷۶ (۱۴۰۰) شناسه دیجیتال (DOR): 20.1001.1.17350859.1400.19.1.6.3

بررسی اثر تخریب جنگل‌های هیرکانی استان گلستان در افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای

حمیدرضا کامیاب [۱*] و زهرا اسدالهی [۲]

۱*- نویسنده مسئول، استادیار، گروه محیط‌زیست، دانشکده شیلات و محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گلستان، ایران
پست الکترونیک: hrkamyab@gau.ac.ir

۲- استادیار، گروه شیلات و محیط‌زیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۶/۲۴ تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۲/۱۲

چکیده

اکوسیستم‌های جنگلی خدمات متنوع اکوسیستمی را فراهم می‌کنند که برای پایداری زیستی و حفظ پیچیدگی اکوسیستم‌ها مهم هستند. یکی از مهمترین خدمات اکوسیستمی جنگل، تعدیل اقلیم است. از یکسو کربن از طریق رشد درختان در منابع جنگلی ذخیره می‌شود و از سوی دیگر فعالیت‌های تغییر کاربری/ پوشش زمین باعث تأثیر بر این ذخایر کربن می‌شود. به‌دلیل اثرهای جنگل‌زدایی هیرکانی، در این مطالعه به بررسی تاثیر تغییر کاربری زمین بر انتشار گازهای گلخانه‌ای در استان گلستان براساس برنامه REDD (Reducing Emissions from Deforestation and Degradation) پرداخته شده است. چهار منبع ذخیره کربن شامل کربن روزمینی، زیرزمینی، لاشبرگ و کربن آلی خاک با مرور ۳۱ مطالعه داخلی و گزارش هیات بین‌الدول تغییر اقلیم استخراج شد. برای پیش‌بینی میزان تخریب جنگل تا سال ۱۴۲۷ در سناریوی پایه REDD، از زنجیره مارکوف استفاده شد. در سناریوی پایه، انتشار گاز دی‌اکسید کربن تا سال ۱۴۲۷ برابر ۴۳۶۵۵۴۲۷ تن برآورد شد. تبدیل جنگل به سایر کاربری‌ها در اثر آتش‌سوزی منبع مهم انتشار گازهای گلخانه‌ای مانند CH_4 وN_2O است. اطلاعات آتش‌سوزی در استان گلستان نشان‌دهنده وقوع ۱۵۱۱ فقره آتش‌سوزی از سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۷ است. نتایج نشان داد که انتشار گازهای گلخانه‌ای در اثر آتش‌سوزی نیز ۱۶۰۸۳/۵۱ تن برابر دی‌اکسیدکربن برآورد شد. به‌طوری‌که بالاترین میزان انتشار گاز دی‌اکسیدکربن برابر ۱۷ میلیون تن در شهرستان مراوه‌تپه بود. نتایج این مطالعه نشان داد که جنگل‌های هیرکانی نقش مهمی در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای دارند.

واژه‌های کلیدی: جنگل‌زدایی، انتشار گازهای گلخانه‌ای، برنامه REDD، آتش‌سوزی.

مقدمه

اقلیم، یکی از اساسی‌ترین عوامل در ساختار سیاره زمین است و بدون شک طبیعت، انسان و کلیه مظاهر حیات در سطح گسترده‌ای متأثر از شرایط اقلیمی هستند. تغییر اقلیم و افزایش گرمای کره زمین، به عقیده بسیاری از محققان ناشی از افزایش غلظت بخار آب، دی‌اکسیدکربن (CO_2)، متان (CH_4)، اکسید ازت (N_2O) و پرتو فراسرخ است (Vahedi & Mattagi, 2013). ازآنجایی‌که این گازها مانع خروج امواج فروسرخ انعکاسی از سطح زمین و درنتیجه افزایش دمای کره زمین می‌شوند، تحت عنوان گازهای گلخانه‌ای شناخته می‌شوند (Haites, 2018). پس از انقلاب صنعتی، مقادیر دی‌اکسیدکربن و دیگر گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر به شدت افزایش یافته است. بوم‌سازگان‌های طبیعی، به‌ویژه جنگل‌ها نقش بسزایی در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای

دارند. اگرچه این عرصه‌های طبیعی می‌توانند دی‌اکسیدکربن اتمسفر را جذب و با تولید اکسیژن موجبات پایداری بیشتر اتمسفر را فراهم نمایند (Badeyan, 2006)، اما به‌دلیل افزایش جمعیت، سطح این اراضی جنگلی روزبه‌روز در حال کاهش بوده و نگرانی در زمینه ازدیاد انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز در حال افزایش است. براساس برآورد هیئت بین‌الدول، تغییر اقلیم مقدار دی‌اکسیدکربن وارد شده به جو زمین را که از فعالیت‌های مرتبط با تغییر کاربری اراضی و تبدیل جنگل‌ها به اراضی کشاورزی ناشی شده است، به حدود ۱/۶ میلیارد متریک تن در سال می‌رسد، درحالی‌که مقدار دی‌اکسیدکربن حاصل از کل سوخت‌های فسیلی در حدود ۶/۳ میلیارد تن در سال برآورد شده است (Hiraishi *et al.*, 2014). بنابراین می‌توان با کنترل روند تخریب پوشش جنگل بر میزان انتشار این گازها تأثیر گذاشت. یکی از این راهکارها، استفاده از برنامه کاهش انتشار از جنگل‌زدایی و تخریب جنگل (REDD) (Reducing Emissions from Deforestation and Degradation) است.

این برنامه، راهکاری برای تعدیل تغییرات اقلیمی و اثرهای آن است که با هدف کاهش شدت جنگل‌زدایی و به‌دنبال آن، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشورهای در حال توسعه استفاده می‌شود. جنگل‌زدایی، به نابودی دائمی جنگل‌ها برای تبدیل به زمین‌هایی با کاربردهای دیگر گفته می‌شود و در حال حاضر یکی از مشکلات بزرگی است که جامعه بشری با آن روبه‌روست. تغییر کاربری اراضی به‌ویژه تبدیل جنگل به کشاورزی، ذخیره کربن خاک را کاهش می‌دهد (Lai, 2005). کاهش انتشار از جنگل‌زدایی (RED) راهکاری برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از طریق حفاظت از منابع ذخیره کربن و در پی آن تعدیل اقلیم در کشورهای در حال توسعه است (Vijge, 2015). در ادامه کار و طی سال‌های بعد، هدف این برنامه گسترده‌تر شد و شامل فعالیت‌های مرتبط با تخریب جنگل (REDD)، همچنین فعالیت‌های تکمیلی (مانند مدیریت پایدار جنگل‌ها و حفاظت از منابع ذخیره کربن) شد که آخرین تحولات در این حوزه منجر به ارائه رهیافت +REDD شد. این رهیافت، در قالب برنامه‌های یکپارچه حفاظت و توسعه به‌ویژه برای مناطق جنگلی است که می‌تواند باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از طریق جلوگیری از جنگل‌زدایی و تخریب جنگل شود (Massarella *et al.*, 2018).

البته تا به امروز کشورهای متعددی به عضویت برنامه REDD درآمده‌اند (جدول ۱). حدود ۴۷ کشور در حال توسعه، این برنامه را در کشورهای خود اجرا کرده‌اند. بخشی از برنامه REDD به بررسی اثر تغییر کاربری بر انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌ویژه گاز CO_2 می‌پردازد. به‌نحوی‌که بررسی اثر تغییر کاربری با استفاده از مدل‌های تغییر کاربری مدل‌سازی می‌شود.

بسیاری از مدل‌های تغییر کاربری اراضی، به‌منظور دستیابی به نیازهای مدیریت زمین، ارزیابی بهتر و پیش‌بینی نقش آینده تغییر کاربری در سیستم کره زمین توسعه یافته‌اند (Veldkamp & Lambin, 2001). به‌عبارت‌دیگر، مدل‌ها ابزارهایی هستند که دانسته‌های ما را در رابطه با سیستم‌های پیچیده کاربری سرزمین آزمایش می‌کنند (Santini & Valentini, 2011). مدل‌های تغییر کاربری اراضی، ابزارهایی برای درک و توضیح دلایل و نتایج پویایی کاربری اراضی هستند (Veldkamp & Verburg, 2004). این مدل‌ها نشان‌دهنده بخشی از پیچیدگی سیستم‌های کاربری اراضی هستند. مدل تغییر کاربری اراضی کمّیت و مکان تغییر کاربری را در آینده، در منطقه مورد مطالعه براساس طبقات مختلف کاربری موجود شبیه‌سازی می‌کند (Prato, 2005). البته برآورد کمیّت تغییرات برای برآورد میزان تغییر کاربری در دوره‌های زمانی متنوع است. نمونه این مدل‌ها، زنجیره مارکوف است که با بررسی روند تغییر از زمان ۱ به زمان ۲، به مدل‌سازی کمیت تغییرات می‌پردازد (Salmanmahiny & Kamyab, 2009). برآوردهای مربوط به میزان انتشار براساس چهارچوب برنامه REDD است. اگرچه برنامه REDD دارای قابلیت‌های متعدد مانند تعریف مناطق پروژه و تراوش برای مدیریت بهتر روند تغییر کاربری اراضی است، اما در این مطالعه، تنها به بخش انتشار گازهای گلخانه‌ای براساس سناریوی پایه توجه می‌شود که در آن میزان انتشار براساس تغییرات تاریخی کاربری زمین و پیش‌بینی روند این تغییرات در آینده است.

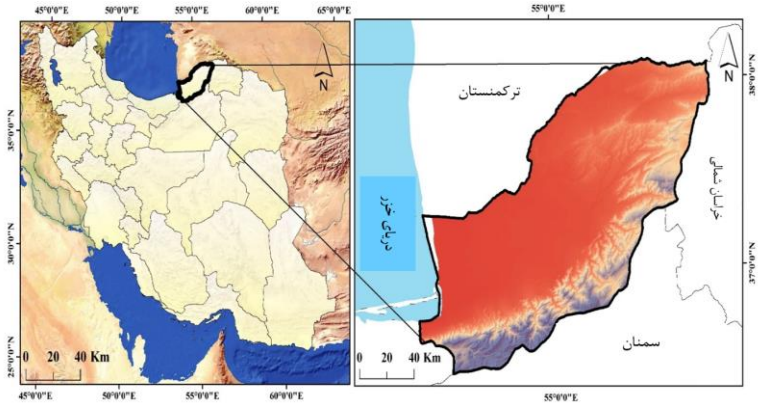
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

جنگل‌های طبیعی شمال ایران، یکی از مهمترین ذخایر ژنتیکی بیوسفر زمین به‌شمار می‌روند و با قدمتی بیش از یک میلیون سال جزو جنگل‌های طبیعی و کهن عرصه‌های جهانی محسوب می‌شوند (Kia-Daliri *et al.*, 2011). این جنگل‌ها جزو ناحیه رویشی اروپ- سیبری با گونه‌های درختی و درختچه‌ای پهن‌برگ خزان‌کننده است. به‌دلیل وجود بخشی از جنگل‌های هیرکانی در استان گلستان، مطالعه فعالیت‌های تغییر کاربری و تخریب جنگل بر انتشار گازهای گلخانه‌ای در این منطقه انجام شده است. استان گلستان با مساحت ۲۰۴۳۰/۹۲ کیلومترمربع در شمال‌شرقی ایران قرار گرفته است. از شمال به کشور ترکمنستان، از جنوب به استان سمنان، از شرق به استان خراسان شمالی و از غرب به دریای خزر و استان مازندران محدود می‌شود (شکل ۱).

جدول ۱- نمونه مطالعات انجام‌شده درباره برنامه REDD

هدف	منطقه مورد مطالعه	نویسندگان
راهکارهایی برای اثرگذاری بیشتر برنامه REDD	اندونزی	Rakatama *et al.*, 2019
ارائه یک مدل ارزیابی ترکیبی برای جبران ذخیره کربن با استفاده از برنامه REDD	برزیل، اندونزی، کنگو، کامرون، گینه نو	Ji & Ranjan, 2017
تأثیر آثار جرم بر قابلیت اجرایی برنامه REDD	بولیوی، پاناما، پاراگوئه، کامبوج، اندونزی، گینه نو، فیلیپین، ویتنام، تانزانیا، زامبیا، کنگو	Sheng *et al.*, 2016
تأثیر برنامه REDD بر امنیت غذایی	جهانی	Tabeau *et al.*, 2017
تأثیر الگوهای مدیریتی جنگل بر قابلیت REDD	اندونزی	Rakatama *et al.*, 2018
برنامه REDD: امیدها و ضعف‌ها	تانزانیا	Massarella *et al.*, 2018
بررسی اثرهای دقت داده بر مدل‌سازی برنامه REDD	تانزانیا، ویتنام، پرو، اندونزی	Bos *et al.*, 2019
محدودیت‌های برنامه REDD در مناطق جنگلی با تخریب کم	برزیل	Guadalupe *et al.*, 2018



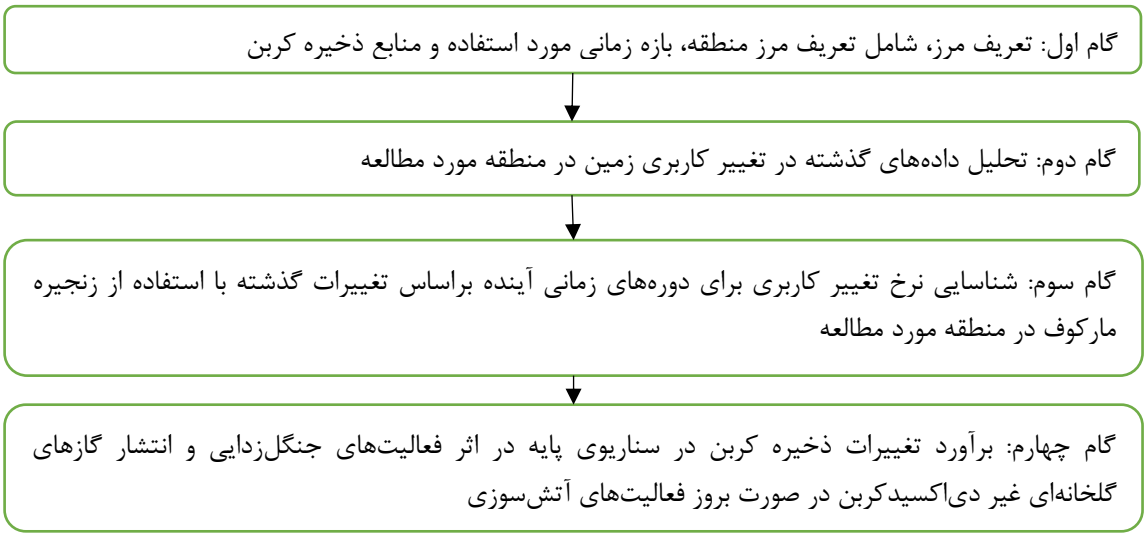
شکل ۱- موقعیت استان گلستان

روش‌شناسی برنامه REDD

برنامه REDD (Fund, 2008) برای بررسی فعالیت‌هایی است که باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شوند. این برنامه در قالب دو سناریو است، سناریوی پایه که در آن روند تغییرات گذشته کاربری (به‌ویژه جنگل‌زدایی) ادامه خواهد داشت و سناریوی پروژه که بخشی از فعالیت‌های تخریبی در آن کنترل و متوقف می‌شود. بررسی وضع موجود نیز در قالب سناریوی پایه بررسی خواهد شد. در هر دو سناریو، مقایسه شرایط آینده با شرایط فعلی، مبنای بررسی تغییرات انتشار گازهای گلخانه‌ای است.

در این مطالعه و در قالب سناریوی پایه، این رویکرد برای بررسی انتشار گازهای گلخانه‌ای (شامل گازهای CO_2، N_2O و CH_4) در سطح استان گلستان، براساس روند تغییرات گذشته بررسی شد.

روش استفاده‌شده برای دستیابی به خروجی قابل اطمینان در محاسبات این برنامه دارای ۹ مرحله است که در این مطالعه، انتشار گازهای گل‌خانه‌ای (شامل گازهای CO_2، N_2O و CH_4) براساس سناریوی پایه (تاریخی) این رویکرد انجام شده است. شکل ۲ مراحل بررسی انتشار گازهای گلخانه‌ای را در اثر تخریب جنگل نشان می‌دهد.



شکل ۲- نمودار جریانی مراحل انجام برنامه REDD (برگرفته از Fund, 2008، با انجام اصلاحات)

در گام اول، مرز استان گلستان به‌عنوان مرز منطقه هدف انتخاب شد. با توجه به اینکه برنامه REDD معمولاً در یک دوره ۳۰ ساله اجرا می‌شود (Eastman, 2015)، بنابراین مبنای پیش‌بینی انتشار گازهای گلخانه‌ای از سال ۱۳۹۸ تا ۱۴۲۷ بوده است. قبل از محاسبات مربوط به انتشار گازهای گلخانه‌ای، لازم است میزان ذخیره کربن مربوط به هر یک از طبقات کاربری زمین در منطقه که در فرایند مدل‌سازی مشارکت داده شده‌اند، برآورد شود.

شش منبع ذخیره کربن به‌صورت بالقوه در روش استفاده شده در برنامه REDD قابل استفاده است (جدول ۲).

تحلیل داده‌های موجود و استفاده از داده‌های جدید از رویکردهای موجود برای دستیابی به این اطلاعات است. در روش‌شناسی برنامه REDD، منابع مختلفی برای دستیابی به ذخیره کربن طبقات کاربری وجود دارد که برخی از روش‌های پیشنهادی عبارتند از (Fund, 2008): استفاده از داده‌های موجود، جمع‌آوری داده برای مناطق دارای نقص اطلاعاتی، نمونه‌برداری میدانی و برآوردهای مبتنی بر نمونه کارهای مشابه.

جدول ۲- منابع ذخیره کربن در روش‌شناسی REDD (منبع: Fund, 2008)

منبع ذخیره کربن	استفاده در روش‌شناسی REDD	توضیحات
کربن روزمینی	الزامی	تغییر در این منبع همیشه معنادار است.
کربن زیرزمینی	اختیاری/ با تأکید زیاد بر استفاده	۳۰-۱۵ درصد ذخیره کربن روزمینی
محصولات چوبی برداشت‌شده	عدم استفاده	در روش‌شناسی REDD تغییرات این منبع معنادار نیست.
چوب مرده	اختیاری	
کربن آلی خاک	اختیاری	
لاشبرگ	اختیاری	

در روش‌شناسی REDD، استفاده از برآوردهای مربوط به ذخیره کربن در اکوسیستم‌های مشابه براساس مطالعات قبلی، همچنین اطلاعات موجود در گزارش IPCC مجاز شمرده شده است. با توجه به محدودیت‌های نمونه‌برداری و نظر به تأیید استفاده از مقادیر مطالعات مشابه برای برآورد ذخیره کربن، با بررسی نمونه کارهای انجام شده در داخل کشور، همچنین مقایسه با نتایج مطالعات IPCC مقادیر مربوط به ذخایر کربن در منابع مختلف ارائه می‌شود. یادآوری می‌شود که این مقادیر براساس نتایج ۳۱ مطالعه در داخل کشور از اقلیم‌های مختلف، همچنین نتایج IPCC و با وزن‌دهی بیشتر به اقلیم و اکوسیستم‌های مشابه با اقلیم استان گلستان به‌دست آمده است (جدول ۳).

برای برآورد میزان ذخیره کربن در منبع زیرزمینی علاوه بر اطلاعات موجود در جدول ۳ از رابطه Cairns نیز استفاده شد. براساس این رابطه، میزان ذخیره کربن در منبع زیرزمینی براساس کربن روزمینی و رابطه ۱ قابل برآورد است (Cairns *et al.*, 1997).

$$Below - Ground\ Crabon\ Density = \exp(-1.0850 + 0.9256(\ln(Below - Ground\ Crabon\ Density)))$$

در گام دوم و پس از تهیه لایه کاربری زمین، تغییرات طبقات مختلف کاربری به هم بررسی و برای استفاده در گام سوم آماده شد. البته بررسی تغییر طبقات نسبت به هم و پیش‌بینی کمّیت تغییرات در آینده لازم است. الگوریتم‌های مختلفی برای طبقه‌بندی وجود دارد که یکی از متداول‌ترین آنها، الگوریتم حداکثر احتمال است. در این مطالعه از داده‌های کاربری زمین طرح آمایش استان گلستان (Golestan Province Land use Planning Report, 2013) با انجام اصلاحاتی استفاده شده است. یکی از بخش‌های مهم در ایجاد لایه کاربری زمین، تأیید خروجی آن و برآورد برازش نکویی خروجی با سیستم دنیای واقعی است. یک راه برازش نکویی، از طریق ارزیابی دقت است. ارزیابی دقت مکانی به‌طورکلی از طریق ایجاد یک ماتریس خطا انجام می شود. این رویکرد معمولاً برای بیان دقت طبقه‌بندی پوشش زمین برای داده‌های سنجش از دور استفاده می‌شود (Johnson, 2013). این ماتریس، داده‌ها را از دو منبع مختلف می‌گیرد (یکی از داده‌های مرجع که واقعیت زمینی را نشان می‌دهد و دیگری از داده‌های تصویر طبقه‌بندی‌شده) و ارتباط بین این دو به‌صورت مکان به مکان مقایسه می‌شود. هر ماتریس خطا یک جدول با ستون‌ها و ردیف‌هایی است که تعداد طبقات مورد ارزیابی را نشان می‌دهد. نمونه دیگر ارزیابی خطا استفاده از ضریب کاپاست. تحلیل کاپا دارای یک ضریب khat است که تفاوت بین توافق مشاهده شده دو نقشه و توافق تصادفی را محاسبه می‌کند. انجام تحلیل مربوط به کاربری زمین در نرم‌افزار Envi انجام شده است.

جدول ۳- مطالعات مربوط به ذخیره کربن در داخل کشور (واحد: تن در هکتار)

ردیف	نویسندگان	نوع کاربری/پوشش	منطقه مورد مطالعه	کربن روزمینی	کربن زیرزمینی	لاشبرگ	کربن آلی خاک
۱	Abbas Nejad & Khajedin, 2014	جنگل	اصفهان				۸۷/۵۹
۲	Abbas Nejad & Khajedin, 2014	مرتع	اصفهان				۱۹/۵۳
۳	Pilehvar *et al*., 2015	جنگل	لرستان				۴۲-۷۷
۴	Roosta *et al*., 2013	جنگل	فارس				۱۲/۷۸
۵	Bordbar & Mortazavi Jahromi, 2006	جنگل	فارس				۱/۱-۷/۸
۶	Mirzaei *et al*., 2016	جنگل	ایلام				۹۳-۱۴۵
۷	Tahmoures *et al*., 2018	آبخیزداری	قزوین	۰/۴۱۲		۰/۰۹۷	۲۰۱-۲۸۷
۸	Hojjat Narimani *et al*., 2015	جنگل	اصفهان	۱۰-۲۷	۲-۴		۱۱/۳-۳۰/۹۹
۹	Varamesh *et al*., 2010	جنگل	تهران				۵۷-۷۸/۱۹
۱۰	Varamesh *et al*., 2010	بایر	تهران				۱۰/۸
۱۱	Mahmoudi *et al*., 2007	جنگل	مازندران			۱/۴-۲/۵	۱۴۰-۲۲۰
۱۲	Dianatitilaki *et al*., 2006	مرتع	خراسان شمالی	۰/۲۸-۰/۳۴	۰/۴۰-۰/۶۴	۰/۱۰-۰/۱۵	۲۷/۳۷-۳۷/۵۷
۱۳	Abdi *et al*., 2008	مرتع	مرکزی				۳۲-۹۵
		مرتع	لرستان	۰/۷-۱/۹۴			۴۰/۰۲-۵۸/۳
		مرتع	کردستان	۱/۶۸-۳/۴۳			۴۰/۸-۵۴/۸
		مرتع	کرمانشاه	۰-۳/۴۳			۴۴/۴-۷۸/۴۵
		مرتع	فارس	۰/۱۷-۰/۳۹			۱۷/۲۴-۲۹/۵۴
۱۴	Parvizi *et al*., 2016	مرتع	مازندران	۰/۰۶-۳/۰۶			۳-۱۵
		مرتع	خراسان رضوی	۰/۱۱-۰/۸۳			۴/۷-۵/۵۲
		مرتع	مرکزی	۱/۹۱			۰/۳۸-۶/۵۱
		مرتع	کرمان	۱/۶۳			۶/۵۱
		مرتع	اصفهان	۰/۰۱-۰/۴۴			۰-۲/۰۳

ردیف	نویسندگان	نوع کاربری/پوشش	منطقه مورد مطالعه	کربن روزمینی	کربن زیرزمینی	لاشبرگ	کربن آلی خاک
۱۵	Asgharnezhad *et al*., 2013	مرتع	گلستان				۱۲/۸۷–۲۱/۹۷
۱۶	Gholami *et al*., 2012	مرتع	قزوین	۷/۱	۴/۶		۳۴
۱۷	Amani & Madah, 2003	مرتع	کشور	۵			
۱۸	Abdi *et al*., 2008	مرتع	مرکزی	۲/۸۷	۰/۶۲	۰/۶۴۱	
۱۹	Gholami *et al*., 2014	مرتع	قزوین	۰/۵۸–۳/۳	۰/۳۷۸–۲/۰۲		۳۱/۵–۳۶/۲
۲۰	Naghipour Borj& Farokhnia, 2017	مرتع	اصفهان	۰/۱۶–۲	۰/۱۱–۱/۴	۰/۰۳–۰/۳	۳۰/۵–۳۵/۷
۲۱	Naghipour Borj, 2017	جنگل	اصفهان	۳۰/۶۵	۶/۱۳	۳/۸۲	۷۵/۵
۲۲	Vahedi & Mattagi, 2014	جنگل	مازندران	۲/۱۸–۴۷/۶۱			
۲۳	Badehiyan *et al*., 2016	جنگل	مازندران				۷۸–۸۹
۲۴	Badehiyan & Mansouri, 2017	جنگل	مازندران	۴/۳–۶/۴	۰/۸۷–۱/۳	۰/۱۶۷–۰/۱۸۱	
۲۵	Haghdoust *et al*., 2012	جنگل	مازندران				۱۵۵/۰۴–۱۰۰/۰۸
۲۶	Jafarian & Alikhani, 2013	کشاورزی	مازندران	۱/۷	۰/۱۸		۱۶/۳۲
۲۷	Khorramdel *et al*., 2016	کشاورزی	خراسان رضوی	۰/۰۸۷۵	۰/۰۲۲۹		۳/۴۶
۲۸	Tamartash *et al*., 2012	مرتع	مازندران				۲–۱۲/۵
۲۹	Nassiri Mahallati & Kochaki, 2014	کشاورزی	مرطوب خزری	۰/۹–۵/۲	۰/۴–۳/۱		
			گرم و خشک	۰/۶۷–۷/۱	۰/۳–۲/۲		
			سرد و کوهستانی	۰/۵–۴/۷	۰/۲–۱/۱		
			گرم و مرطوب	۱/۱–۶/۱	۰/۴–۱/۸		
۳۰	Yali *et al*., 2016	بایر	مازندران				۱۰/۰۹
۳۱	Ahmadi *et al*., 2014	بایر	اصفهان				۹/۲
		جنگل		۸۴/۶	۰/۲۴	۲/۸	
۳۲	Eggleston *et al*., 2006: IPCC (2006)	مرتع		۴			
		کشاورزی		۴			

گام بعدی فرایند پیش‌بینی تغییرات، برآورد کمّیت (نرخ) تغییرات است. در این مطالعه، برای بررسی کمّیت تغییرات کاربری در دوره‌های زمانی متعدد از زنجیره مارکوف استفاده می‌شود. تحلیل زنجیره مارکوف ابزاری مناسب برای مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین در مکان‌هایی است که توصیف تغییرات و فرایندهای سیمای سرزمین مشکل است. البته هر فرایند مارکوف در جایی استفاده می‌شود که بتوان وضعیت آینده یک سیستم را به‌طورکلی براساس وضعیت قبل از آن مدل‌سازی کرد. تحلیل زنجیره مارکوف تغییرات کاربری زمین از یک دوره به دوره دیگر را بیان کرده و از آن به‌عنوان پایه‌ای برای نقشه‌سازی تغییرات آینده استفاده می‌کند. این کار با استفاده از توسعه یک ماتریس و با احتمال انتقال تغییرات کاربری زمین از زمان ۱ به زمـان ۲ انجام می‌شود که به‌عنوان پایه‌ای برای نقشه‌سازی دوره‌های زمانی آینده استفاده خواهد شد. برای این منظور، تحلیل یک جفت از نقشه‌های کاربری زمین با استفاده از رویه مارکوف انجام می‌شود و پس از آن یک ماتریس احتمال انتقال و ماتریس مساحت انتقال‌یافته ایجاد می‌شود (Salmanmahiny & Kamyab, 2009).

هدف گام چهارم که گام نهایی تعریف‌شده در این مطالعه است، برآورد احتمالی تغییر ذخیره کربن و تغییر انتشار گازهای گلخانه‌ای غیر از دی‌اکسیدکربن است. انتشار گاز دی‌اکسیدکربن براساس تغییر در منابع ذخیره کربن در دوره زمانی مورد مطالعه است. تبدیل جنگل به غیرجنگل در اثر آتش‌سوزی منبع مهم انتشار گازهای گلخانه‌ای غیر از دی‌اکسیدکربن (مانند CH_4 و N_2O) است. اگر اطلاعات مناسبی درباره آتش‌سوزی در مناطق جنگلی در بازه تاریخی مورد نظر در مطالعه موجود باشد، می‌توان از این اطلاعات برای بررسی انتشار گازهای گلخانه‌ای استفاده کرد. تأثیر آتش‌سوزی بر ذخیره کربن در زمان برآورد تغییرات ذخیره کربن دیده می‌شود، بنابراین نیازی به برآورد مجزا برای انتشار CO_2 در اثر آتش‌سوزی نیست. براساس روش‌شناسی استفاده‌شده در برنامه REDD، انتشار گازهای گلخانه‌ای غیر از دی‌اکسیدکربن در اثر آتش‌سوزی را می‌توان براساس رابطه رویه زیر بررسی کرد (Fund, 2008).

$$GHG_{BiomassBurn} = E_{BiomassBurn,N2O} + E_{BiomassBurn,CH4}$$

در این رابطه:

$GHG_{BiomassBurn}$: مقدار کل انتشار گازهای گلخانه‌های از آتش‌سوزی (tco_2e)

$GHG_{BiomassBurn,N2O}$: مقدار انتشار گاز N_2O از آتش‌سوزی (tco_2e)

$GHG_{BiomassBurn,CH4}$: مقدار انتشار گاز CH_4 از آتش‌سوزی (tco_2e)

$$E_{BiomassBurn,N2O} = E_{BiomassBurn,CO2} \cdot \frac{12}{44} \cdot \left(\frac{N}{C}\right) . ER_{N2O} \cdot \frac{44}{28} . GWP_{N2O}$$

$$E_{BiomassBurn,CH4} = E_{BiomassBurn,CO2} . 12/44 . ER_{CH4} . 16/12 . GWP_{CH4}$$

در این رابطه:

$E_{BiomassBurn,CO2}$: مقدار انتشار گاز CO_2 از آتش‌سوزی در هر هکتار (tco_2e)

$E_{BiomassBurn,N2O}$: مقدار انتشار گاز N_2O از آتش‌سوزی در هر هکتار (tco_2e)

$E_{BiomassBurn,CH4}$: مقدار انتشار گاز CH_4 از آتش‌سوزی در هر هکتار (tco_2e)

N/C: نسبت کربن به نیتروژن، بدون بُعد

ER_{N2O}: نسبت انتشار گاز N_2O (مقدار پیش‌فرض IPCC= ۰/۰۰۷)
ER_{CH4}: نسبت انتشار گاز CH_4 (مقدار پیش‌فرض IPCC= ۰/۰۱۲)
GWP_{N2O}: گرمایش جهانی گاز N_2O (مقدار پیش‌فرض IPCC= ۳۱۰)
GWP_{CH4}: پتانسیل گرمایش جهانی گاز CH_4 (مقدار پیش‌فرض IPCC= ۲۱)

$$E_{BiomassBurn,CO2} = F_{i,burnt} * (C_{i,p}) * P_{burned,i,p} * CEL_{i,p}$$

در این رابطه:
$E_{BiomassBurn,CO2}$: مقدار انتشار گاز CO_2 از آتش‌سوزی در هر هکتار (tco_2e)
$F_{i,burnt}$: نسبت مساحت (درصد) حریق مناطق جنگلی در سناریوی تاریخی
$C_{i,p}$: میانگین کربن در هر هکتار از هر منبع ذخیره کربن در طبقه جنگلی
$P_{burned,i,p}$: میانگین درصد مساحت توده آتش‌گرفته از هر منبع ذخیره کربن در هر منطقه جنگلی
$CEL_{i,p}$: میانگین بازده احتراق منبع ذخیره کربن طبقه جنگلی
p: منبع ذخیره کربن (کربن روزمینی، زیرزمینی و لاشبرگ)
i: طبقه جنگلی در لایه کاربری زمین

برای دستیابی به اطلاعات حریق در جنگل‌های استان گلستان از داده‌های اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان استفاده شده است. جدول ۴ اطلاعات مربوط به آتش‌سوزی در استان را طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۷ نشان می‌دهد (Statistical Yearbook of Golestan Province, 2019).

جدول ۴- آمار آتش‌سوزی در جنگل‌های استان گلستان (Statistical Yearbook of Golestan Province, 2019)

سال	تعداد آتش‌سوزی (فقره)	مساحت آتش‌سوزی (هکتار)
۱۳۹۰	۱۱۰	۹۷
۱۳۹۱	۹۲	۶۶
۱۳۹۲۰	۹۸	۷۳
۱۳۹۳	۳۰۶	۱۷۳
۱۳۹۴	۲۹۳	۱۴۸
۱۳۹۵	۴۱۱	۶۴۶
۱۳۹۶	۸۳۴	۸۵۳
۱۳۹۷	۵۵۸	۴۱۳

اجرای مراحل مختلف برنامه REDD بوسیله نرم‌افزار TerrSet انجام شده است.

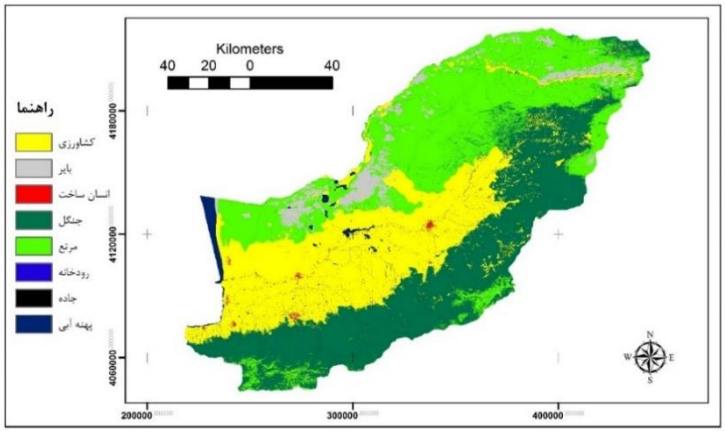
نتایج

گام اول: با تعریف استان گلستان به‌عنوان منطقه هدف، همچنین تعریف بازه ۳۰ ساله برای پیش‌بینی تغییرات، منابع ذخیره کربن برای طبقات اصلی کاربری در منطقه برآورد شد. با توجه به محدودیت‌های نمونه‌برداری و نیز تأیید استفاده از مقادیر مطالعات مشابه برای برآورد ذخیره کربن، با بررسی نمونه کارهای انجام شده در داخل کشور، همچنین مقایسه با نتایج مطالعات IPCC، مقادیر مربوط به ذخایر کربن در منابع مختلف به‌شرح جدول ۵ ارائه می‌شود.

جدول ۵- ذخیره کربن در طبقات مختلف کاربری

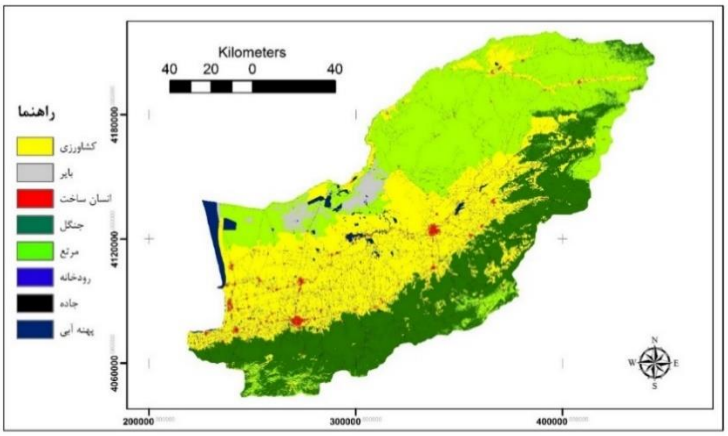
طبقه کاربری	ذخیره کربن (تن در هکتار)			
	کربن روزمینی	کربن زیرزمینی	لاشبرگ	کربن آلی خاک
جنگل	۵۶/۸	۲/۴۲	۱/۸	۹۱/۵
مرتع	۱/۹۶	۰/۶	۰/۲۴	۲۵/۵
کشاورزی	۳/۲	۰/۹۸	۰	۹/۸

گام دوم: با توجه به هدف مطالعه پیش‌رو که بررسی انتشار گازهای گلخانه‌ای مبتنی بر تغییرات کاربری است، لایه کاربری اراضی استان گلستان برای سال‌های ۱۳۶۳ و ۱۳۹۷ تهیه شد. طبقه‌بندی داده‌های متنوع سنجش از دور، استفاده از داده‌های مربوط به طرح آمایش استان گلستان (Golestan Province Land use Planning Report, 2013) و تلفیق نتایج آنها منجر به ایجاد دو لایه کاربری زمین برای استان گلستان در دو دوره زمانی سال‌های ۱۳۶۳ و ۱۳۹۷ شد که شکل‌های ۳ و ۴ این لایه‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۳- لایه کاربری زمین سال ۱۳۶۳ (منبع: Golestan Province Land use Planning Report, 2013 با اصلاحات)

یکی از بخش‌های مهم پس از ایجاد لایه کاربری زمین، تأیید خروجی آن و برآورد برازش نکویی خروجی با سیستم دنیای واقعی است. یک راه برازش نکویی، از طریق ارزیابی دقت است. در این رویکرد، داده کاربری زمین با داده‌های واقعیت زمینی مقایسه می‌شود. جدول ۶ میزان ضریب کاپا و صحت کلی را برای دو لایه کاربری زمین نشان می‌دهد.



شکل ۴- لایه کاربری زمین سال ۱۳۹۷ (منبع: Golestan Province Land use Planning Report, 2013 با اصلاحات)

جدول ۶- دقت نقشه کاربری زمین

لایه کاربری زمین	ارزیابی دقت	
	ضریب کاپا	صحت کلی
لایه کاربری زمین سال ۱۳۶۳	۰/۸۰	۰/۷۵
لایه کاربری زمین سال ۱۳۹۷	۰/۸۸	۰/۸۵

جدول ۷- تغییرات طبقات کاربری زمین نسبت به هم بین سال‌های ۱۳۶۳ تا ۱۳۹۷

	مساحت سال ۱۳۶۳ (هکتار)	مساحت سال ۱۳۹۷ (هکتار)	تغییر (هکتار)
مناطق انسان‌ساخت	۵۵۴۳	۲۳۷۷۰	۱۸۲۲۷
جنگل	۶۳۹۴۱۹	۵۳۸۲۵۱	-۱۰۱۱۶۸
مرتع	۶۵۴۶۶۶	۶۷۰۱۶۲	۱۵۴۹۶
کشاورزی	۶۰۶۶۴۷	۶۸۸۷۸۷	۸۲۱۴۰
پهنه آبی	۲۴۹۳۷	۳۴۴۸۶	۹۵۴۹
بایر	۹۳۱۶۵	۴۱۱۰۲	-۵۲۰۶۳

جدول ۷، نتیجه تحلیل تغییرات کاربری‌های موجود را در منطقه بین سال‌های ۱۳۶۳ تا ۱۳۹۷ نشان می‌دهد.

نتایج تغییرات کاربری زمین در استان گلستان نشان داد که در دوره زمانی بین سال‌های ۱۳۶۳ تا ۱۳۹۷ بیش از ۱۸ هزار هکتار به مساحت مناطق انسان‌ساخت در استان افزوده شده است. بیشترین تغییر کاربری مربوط به طبقه جنگل است که در آن بیش از ۱۰۰ هزار هکتار از مساحت پهنه‌های جنگلی کاسته شده است. در بین طبقات موجود در تحلیل، طبقات جنگل و بایر روند کاهشی و طبقات انسان‌ساخت، مرتع، پهنه آبی و کشاورزی روند افزایشی داشته‌اند.

گام سوم: برای دستیابی به کمّیت تغییرات در آینده از تحلیل زنجیره مارکوف استفاده شده است. جدول ۸ ماتریس احتمال تغییرات کاربری به هم را در دوره زمانی ۱۳۹۷–۱۳۶۳ نشان می‌دهد. این ماتریس که براساس لایه‌های کاربری زمین در سال‌های ۱۳۶۳ و ۱۳۹۷ استخراج شده است، احتمال تغییر کاربری‌ها را به هم نشان می‌دهد. این ماتریس پایه‌ای برای پیش‌بینی کمّیت هر یک از طبقات کاربری در سال ۱۴۲۷ است.

جدول ۸– ماتریس احتمال تبدیل تغییرات کاربری

	مناطق انسان‌ساخت	جنگل	مرتع	کشاورزی	پهنه آبی	بایر
مناطق انسان‌ساخت	۱	۰	۰	۰	۰	۰
جنگل	۰/۰۰۲	۰/۹۶۰	۰/۰۱۴	۰/۰۲۲	۰/۰۰۲	۰
مرتع	۰	۰	۰/۹۸۰	۰/۰۱۷	۰/۰۰۳	۰
کشاورزی	۰/۰۰۹	۰	۰/۰۰۴	۰/۹۸۴	۰	۰/۰۰۳
پهنه آبی	۰	۰	۰/۰۱۵	۰/۰۳۵	۰/۹۵۰	۰
بایر	۰/۰۰۱	۰	۰/۰۰۱	۰/۰۱۰	۰/۰۰۱	۰/۹۸۷

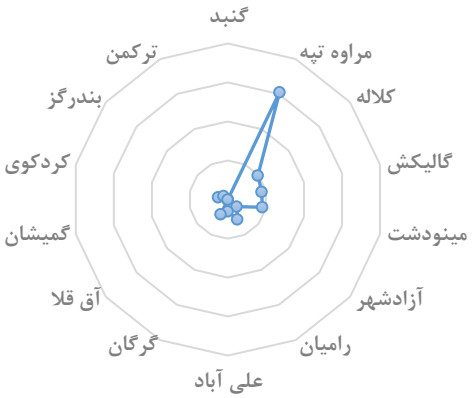
گام چهارم: نتایج اولیه بررسی تخریب مناطق جنگلی در این منطقه نشان داد که در دوره ۳۰ ساله تا سال ۱۴۲۷ درمجموع ۴۳،۶۵۵،۴۷۲ تن دی‌اکسیدکربن از کل منطقه انتشار می‌یابد. این میزان انتشار می‌تواند نقش مهم این جنگل‌ها را در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و در ادامه آن تعدیل اقلیمی نشان دهد.

البته تغییر طبقه جنگل به سایر کاربری‌ها منجر به ترسیب بخشی از کربن توسط کاربری‌های جایگزین می‌شود. پس از کسر کردن مقدار کربن ترسیب‌شده توسط کاربری‌های جایگزین جنگل در منطقه، درمجموع طی دوره ۳۰ ساله ۳۸،۲۵۲،۹۶۸ تن دی‌اکسیدکربن خالص انتشار خواهد یافت. کاهش انتشار به‌دلیل اثر ترسیب کربنی است که توسط کاربری‌های مرتع و کشاورزی در مناطق تخریب‌شده جنگلی انجام شده است. سهم مرتع در ترسیب کربن در دوره ۳۰ ساله ۲،۸۳۴،۲۵۶ تن دی‌اکسید کربن و سهم زمین‌های کشاورزی نیز ۲،۵۶۸،۲۴۸ تن دی‌اکسیدکربن است.

این میزان انتشار گاز دی‌اکسیدکربن، به‌دلیل بروز فعالیت‌های تخریب پوشش جنگلی در دوره زمانی مورد مطالعه در استان گلستان است. البته این تحلیل را می‌توان به تفکیک شهرستان نیز بررسی کرد. در این روش، مساحت تغییرات طبقه جنگل به تفکیک هر شهرستان به صورت مستقل تحلیل و نتایج انتشار گازها استخراج شد. شکل ۵ میزان تخریب پوشش جنگلی برآوردشده براساس مدل زنجیره مارکوف را برای سال ۱۴۲۷ و به تفکیک هر شهرستان نشان می‌دهد.

شهرستان مراوه‌تپه احتمالاً دارای بالاترین میزان تخریب پوشش جنگل بین سال‌های ۱۴۲۷–۱۳۹۸ خواهد بود. این میزان تخریب حدود ۳۰۰۰۰ هکتار برآورد می‌شود. بعد از این شهرستان، شهرستان‌های کلاله و مینودشت با مساحت تخریبی حدود ۱۰۰۰۰ هکتار برای هر یک، در رتبه‌های بعدی تخریب پوشش جنگلی در استان گلستان قرار دارند. شهرستان‌های گمیشان، ترکمن و آق‌قلا دارای پایین‌ترین میزان تخریب هستند. شاید دلیل اصلی پایین بودن میزان تخریب در این شهرستان‌ها، عدم وجود مناطق با پوشش جنگلی وسیع در محدوده سیاسی این شهرستان‌ها باشد.

تخریب پوشش گیاهی، عامل اصلی انتشار گازهای گلخانه‌ای در برنامه REDD است. نتایج تخریب بالا در شهرستان‌های مراوه‌تپه، کلاله و مینودشت در انتشار گاز CO_2 کاملاً مشهود است (شکل ۶).



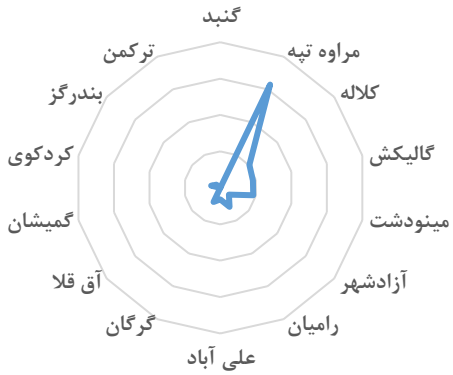
شکل ۵- تحلیل شهرستانی تخریب پوشش جنگل

شکل ۶- انتشار گاز CO_2 به تفکیک شهرستان در سناریوی پایه

میزان انتشار گاز دی‌اکسیدکربن تا سال ۱۴۲۷ در شهرستان مراوه‌تپه حدود ۱۷ میلیون تن برآورد می‌شود. شهرستان‌های کلاله و مینودشت نیز با ۵/۵ و ۵ میلیون تن در رتبه‌های بعدی انتشار قرار دارند.

انتشار گازهای گلخانه‌ای CO_2 و N_2O حاصل از آتش‌سوزی حدود ۱۰ درصدی در منطقه نیز قابل توجه است. انتشار گازهای غیر از CO_2 نیز در منطقه تا سال ۱۴۲۷ به ۱۶۰۸۳/۵۱ تن برابر دی‌اکسیدکربن (tco2e) خواهد رسید.

میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای CO_2 و N_2O تا سال ۱۴۲۷ در شهرستان مراوه‌تپه حدود ۶،۲۹۵ تن برابر دی‌اکسیدکربن برآورد می‌شود. شهرستان‌های کلاله و مینودشت نیز با ۲،۰۳۱ و ۱،۸۵۸ تن برابر دی‌اکسیدکربن در رتبه‌های بعدی انتشار قرار دارند (شکل ۷).



شکل ۷- انتشار گازهای غیر از CO_2 به تفکیک شهرستان

بحث

مدل‌سازی کاربری زمین، ابزاری برای بررسی و پیش‌بینی تغییرات محتمل در منطقه است. در این پژوهش، برای شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی از مدل زنجیره مارکوف استفاده شد و براساس سیر تاریخی گذشته منطقه و لحاظ کردن محدودیت‌های محیط‌زیستی در اجرای مدل، شبیه‌سازی تغییرات تا سال ۱۴۲۷ انجام شد. براساس نتایج تحلیل، مساحت مناطق جنگلی موجود در منطقه که تا سال ۱۴۲۷ به‌دلیل فعالیت‌های تخریبی نابود می‌شوند، ۷۷۹۹۱ هکتار است.

کمّی کردن کاهش یا افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای در اثر تخریب جنگل، همچنین کاربری‌های جایگزین از ویژگی‌های روش استفاده شده در این مطالعه است. این مطالعه در مناطق جنگلی استان گلستان انجام شده است. نتایج بررسی تخریب مناطق جنگلی در این منطقه نشان داد که در دوره ۳۰ ساله تا سال ۱۴۲۷ درمجموع ۴۳۶۵۵۴۷۲ تن دی‌اکسیدکربن از کل منطقه انتشار می‌یابد. در حقیقت، به‌طور میانگین در هر سال حدود ۱۴۵۵۱۸۴ تن دی‌اکسید کربن در اثر تخریب پوشش جنگلی در منطقه انتشار خواهد یافت. این میزان انتشار می‌تواند نقش مهم این جنگل‌ها را در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و در ادامه آن، تعدیل اقلیمی نشان دهد. این نکته در نتایج مطالعه Falahatkar (۲۰۱۸) که وجود ارتباط معنادار بین تراکم پوشش گیاهی و گازهای دی‌اکسیدکربن و متان را نشان می‌داد، مشهود است.

تنها نمونه مطالعه انجام‌شده در ایران بر مبنای برنامه REDD که در شهرستان‌های نور و نوشهر استان مازندران انجام شده است (Parsamehr & Gholamalifard, 2016) نشان داده که روند تخریب جنگل در یک بازه ۳۰ ساله باعث انتشار ۸۲۷۵۹۱/۵ تن دی‌اکسیدکربن خواهد شد. گرچه بخشی از اثرهای تبدیل کاربری جنگل به سایر کاربری‌ها در استان گلستان توسط ترسیب کربن و کاربری‌های جایگزین خنثی می‌شود، اما توان ترسیبی مراتع و زمین‌های کشاورزی در مقایسه با انتشار تخریبی جنگل قابل مقایسه نیست. این نکته را می‌توان در میزان ترسیب کربن توسط کاربری جنگل و مرتع مشاهده کرد. مراتع به طور میانگین حدود ۹۴۵۰۰ تن دی‌اکسیدکربن و مناطق کشاورزی نیز حدود ۸۵۵۰۰ تن دی‌اکسیدکربن را ترسیب می‌کنند. نتیجه این تفاوت، انتشار خالص ۱۲۷۵۰۹۵ تن دی اکسیدکربن به ازای هر سال است.

نکته مثبت دیگر در این مطالعه را می‌توان در دخالت دادن فرایندهای تخریبی مرتبط با آتش‌سوزی دانست. البته ارتباط بین آتش‌سوزی و ترسیب کربن در مناطق مختلف بررسی و تأثیر آن نیز مشخص شده است. به‌عنوان‌مثال، در مطالعه Naghipour borj و Farokhnia (۲۰۱۷) میزان کاهش توان ترسیب کربن در مراتع زاگرس مرکزی در اثر آتش‌سوزی ۸/۵ تن در هکتار برآورد شده است. با توجه

به اطلاعات موجود در زمینه وقوع آتش‌سوزی‌ها در جنگل‌های استان گلستان، از سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۷ تعداد ۲۷۰۲ فقره آتش‌سوزی در استان به وقوع پیوسته است که در اثر آن حدود ۲۴۷۰ هکتار از جنگل‌های استان در آتش‌سوزی از بین رفته است. نتایج این مطالعه نشان داد، در اثر آتش‌سوزی در منطقه تا سال ۱۴۲۷ میزان ۱۶۰۸۳/۵۱ tco2e گاز گلخانه‌ای CH_4 و N_2O منتشر خواهد شد. یکی از عوامل اصلی انتشار را بعد از آتش‌سوزی، می‌توان به کاهش درصد کربن آلی و نیتروژن موجود در خاک پس از آتش‌سوزی نسبت داد که مطالعه Nazari و همکاران (۲۰۱۲) نیز تأییدکننده این موضوع است. شایان ذکر است که بیشتر مطالعات در زمینه تأثیر آتش‌سوزی مبتنی بر توان ترسیب کربن بعد از آتش بوده است و میزان انتشار سایر گازهای گلخانه‌ای در اثر آتش‌سوزی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. به‌عنوان‌مثال، مطالعه Taheri Abkenar و همکاران (۲۰۱۸) بیان‌کننده میزان انتشار کربن ۱۰/۴۹۵ تن در هکتار بعد از آتش‌سوزی در جنگل‌های استان گیلان است. اگرچه داشتن اطلاعات دقیق‌تر در بازه‌های زمانی بیشتر در این زمینه می‌تواند باعث بهبود کیفیت مدل و اطلاعات مستخرج از آن شود. به‌دلیل عدم دسترسی به اطلاعات دقیق مکانی از موقعیت آتش‌سوزی در سطح استان گلستان، در مدل استفاده شده در این مطالعه فرض شده است که درصد ثابت ۱۰ درصد آتش‌سوزی در سطح استان برای هر شهرستان نیز به‌صورت ثابت اتفاق افتاده است. در صورت وجود اطلاعات دقیق مکانی امکان تحلیل مجزا برای هر شهرستان نیز وجود دارد.

مهمترین کاربرد نتایج این مطالعه را می‌توان در ایجاد برنامه‌های انگیزشی در حفاظت از منابع جنگلی دانست. همانگونه که نتایج مطالعه نشان داد، تخریب پوشش جنگلی باعث انتشار قابل ملاحظه گازهای گلخانه‌ای می‌شود. در صورت حفاظت از عرصه‌های جنگلی، بخش قابل توجهی از انتشار گازهای گلخانه‌ای کاسته خواهد شد. از قابلیت‌های برنامه REDD امکان تعریف تفکیک مناطق جنگلی به دو منطقه پروژه و تراوش است (Fund, 2008). در حقیقت، این برنامه با بررسی تأثیر ایجاد مناطق حفاظتی به‌عنوان منطقه پروژه، همچنین مناطق بافر در اطراف منطقه پروژه با نام منطقه تراوش روی کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای سبب ایجاد انگیزش‌های مثبتی برای مدیریت صحیح منابع جنگلی می‌شود. اگرچه در این مطالعه از این قابلیت برنامه REDD استفاده نشده است، اما با انجام این تحلیل می‌توان انتشار گازهای گلخانه‌ای را به تفکیک این مناطق نیز بررسی کرد.

سپاسگزاری

این مقاله حاصل بخشی از طرح تحقیقاتی مصوب صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور در سال ۱۳۹۸ با شماره ۹۷۰۱۳۱۰۳ است. بنابراین از دست‌اندرکاران و حمایت‌کنندگان طرح قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

-Abbas Nejad, B. and Khajedin, J., 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.
-Abdi, N.A., Madah, A.H. and Zahedi, A.G., 2008. Estimation of carbon sequestration in Astragalus rangelands of Markazi province (Case study: Malmir rangeland in Shazand region). Iranian Journal of Range and Desert Research, 15(2): 269-282.
-Amani, M., Madah Arefi, H. 2003. Investigatin of the carbon sequestration potential in haloxylon land and feature strategy. The First National Conference on Haloxylon, Kerman, Iran (In Persian).
-Asgharnezhad, L., Akbarlou, M. and Karkaj, E.S., 2013. Influences of grazing and enclosure on carbon sequestration *Puccenilia distans* (Jacq.) Parl. and soil carbon sequestration (case study: Gomishan wetlands). International Journal of Agronomy and Plant Production, 4(8): 1936-1941.
-Badeyan, Z., 2006. Relationship between Carbon sequestration and pH of soil in mixed Fagus orientalis forest. MSc thesis, Department of Forestry and Forest Economics, Tehran University, 111p.
-Badehian, Z. and Mansouri, M., 2017. Determine the amount of carbon sequestration in rangeland species (case study: Atriplex canescens). Human and Environment, 15(4): 1-10.
-Badehiyan, Z., Mansoori, M., Foshat, M. Fakhari., M.

Varamesh, S., 2012. Effects of substitution of degraded natural forests with plantations on soil Carbon sequestration and fertility in north of Iran. Journal of Environmental Studies, 38(3): 135-146.

-Haites, E., 2018. Carbon taxes and greenhouse gas emissions trading systems: what have we learned?. Climate Policy, 18(8): 955-966.

-Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M. and Troxler, T.G., 2014. 2013 supplement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Wetlands. IPCC, Switzerland, 51p.

-Hojjat Narimani, M., IranNezhad Parizi, N., Kiani, B. and Ghorbali, R., 2015. Effects of plantation with conifers on Carbon sequestration (Case study: Zob-e-Ahan company, Isfahan). Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 23(1): 53-63.

-Jafarian, Z. and Tayefeh Seyyed Alikhani, L., 2013. Carbon sequestration potential in dry farmed wheat in Kiasar region. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 23(1): 31-41.

-Ji, Y. and Ranjan, R., 2019. A global climate-economy model including the REDD option. Journal of Environmental Management, 247: 342-355.

-Johnson, J.H., 2013. Urban geography: an introductory analysis: Elsevier, 2nd Edition, 202p.

-Kia-Daliri, H., Akhavan, R. and 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.

-Khorramdel, S., Rezvanimoghadam, P. and Jafari, L., 2016. Evaluating the potential of Carbon sequestration for canola fields under Khorasan Razavi province. Journal of Crop Production, 9(3): 22-43.

-Lai, R., 2005. Forest soils and carbon sequestration. Forest Ecology and Management, 220: 242-258.

-Mahmoudi Taleghani, E., Zahedi Amiri, G., Adeli, E. and Sagheb-Talebi, K., 2007. Assessment of Carbon sequestration in soil layers of managed forest. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 15(3): 252-241.

-Massarella, K., Sallu, S.M., Ensor, J.E. and Marchant, R., 2018. REDD+, hype, hope and disappointment: The dynamics of expectations in conservation and development pilot projects. World Development, 109: 375-385.

-Mirzaei, J., Moradi, M. and Seyedi F., 2016. Carbon sequestration in the leaf, litter and soil of *Eucalyptus camaldulensis*, *Prosopis juliflora* and *Ziziphus spina-christi* species. Ecopersia. 4(3):1481-1491.

-Naghipour Borj, A., 2017. The effect of land use changes on soil Carbon sequestration and biomass plant in the central Zagros forests. Journal of Forest Resources Planning, 1(2): 64.

-Naghipour Borj, A. and Farokhnia, S., 2017. The effect and Hosseini, M., 2016. Investigation on the soil carbon sequestration in natural forest and different plantation types (case study: Chamestan forest, Mazandaran). Forest and Wood Products, 69(3): 523-534.

-Bordbar, S.K. and Mortazavi Jahromi, S.M., 2006. Carbon sequestration potential of *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. and *Acacia salicina* Lindl. plantation in western areas of Fars province. Pajouhesh and Sazandegi, 19(1): 95-103.

-Bos, A.B., De Sy, V., Duchelle, A.E., Herold, M., Martius, C. and 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.

-Cairns, M.A., Brown, S., Helmer, E.H. and Baumgardner, G.A., 1997. Root biomass allocation in the world's upland forests. Oecologia, 111(1): 1-11.

-Eastman, J.R., 2015. TerrSet manual. Worcester, Massachusetts, US: Clark University, 390p.

-Eggleston, H. S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T. and Tanabe, K., 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

-Falahatkar, S., 2018. Concentration in changes of CO_2 and CH_4 greenhouse gases relation to environmental variable in Iran. Iranian Journal of Applied Ecology, 6(22): 65-79.

-Fund, B., 2008. Methodology for estimating reductions of GHG emissions from mosaic deforestation. RED-NM-001, version, 1, Washington, DC, 69p.

-Gholami, H., Azarnivand, H. and Biniaz, M., 2014. Study and comparison of the carbon sequestration by *Atriplex canescens* and *Hulthemia persica* in Nowdahak Range Research Station, Qazvin province. Quarterly Journal of Environmental Erosion Research, 4(2): 40-52 (In Persian).

-Gholami, H., Azarnivand, H. Madah-E-Arefi, H. and Rahbaralam, M., 2012. Estimation of carbon sequestration capacity in the planted region with *Atriplex canescens* (Case Study: Noudahak Range Research Station, Qazvin province). Whatershed Management Research, 65: 23-35.

-Golestan Province Land use Planning Report., 2013. Published by Gorgan University of Agriculture and Natural Resources, edited by Abdolrassoul Salmanmahiny. Gorgan City, Iran, 302p.

-Guadalupe, V., Sotta, E.D., Santos, V.F., Aguiar, L.J.G., Vieira, M., de Oliveira, C.P. and 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.

-Haghdoust, N., Akbarinia, M., Hoseini, S. and

Effects of corruption on performance: Evidence from the UN-REDD Programme. Land Use Policy, 59: 344-350.
-Statistical Yearbook of Golestan Province, 2019. Available at: http://simabar.golestanmporg.ir.
-Tabeau, A., van Meijl, H., Overmars, K.P. and Stehfest, E., 2017. REDD policy impacts on the agri-food sector and food security. Food Policy, 66: 73-87.
-Taheri Abkenar, K., Heidari Safari Kouchi, A., Dehghanzad, S., Mostahsanpour, S. and Moradianfard, F., 2018. Estimation of Carbon emissions from loblolly pine (*Pinus taeda* L.) forest plantations using Allometric equations. Forest and Range Protection Research, 16(1): 88-101.
-Tahmoures, M., Jafari, M., Ahmadi, H., Azarnivand, H. and Nazari Samani, A., 2018. Quantitative evaluation of the effects of watershed management operations on carbon sequestration and storage in order to reduce climate change (Case study: Parood Watershed- One of the sub basins of Shahrood Basin). Iranian Journal of Ecohydrology, 5(1): 161-172.
-Tamartash, R., Tatian, M. and Yousefian, M., 2012. The ability of different vegetative forms to Carbon sequestration in plain rangeland of Miankaleh. Journal of Environmental Studies, 38(2): 45-54.
-Vahedi, A. and Mattagi, A., 2014. Amount of carbon sequestration distribution associated with oak tree's (*Quercus castaneifolia* C.A. May) bole in relation to physiographical units of Hyrcanian natural forests of Iran. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 21(4): 716-728.
-Varamesh, S., Hosseini, S.M., Abdi, N. and Akbarinia, M., 2010. Increment of soil Carbon sequestration due to forestation and its relation with some physical and chemical factors of soil. Iranian Journal of Forest, 2(1): 25-35.
-Veldkamp, A. and Lambin, F., 2001. Predicting land-use change. Agriculture, Ecosystem and Environment, 85: 1-6.
-Veldkamp, A. and Verburg, P., 2004. Modelling land use change and environmental impact. Journal of Environmental Management, 72: 1-3.
-Vijge, M.J., 2015. Competing discourses on REDD+ Global debates versus the first Indian REDD+ project. Forest Policy and Economics, 56: 38-47.
-Yali, Z.P., Zarrinkafsh, M. and Moeini, A., 2016. Quantitative estimation of soil Carbon sequestration in three land use types (orchard, paddy rice and forest) in a part of Ramsar Lands, Northern Iran. Journal of Water and Soil, 30(3): 758-768.
of fire on Carbon sequestration of soil and plant biomass in Semi-Steppe rangelands of Central Zagros region, Iran. Journal of Plant Ecosystem Conservation, 5(1): 39-51.
-Nassiri Mahallati, M. and Kochaki. A., 2014. Simulating the potential yield and yield gaps of sugar beet due to water and Nitrogen limitations in Khorasan province using SUCROS model. Journal of Agroecology, 7(3): 315-330.
-Nazari, F., Hosseini, V. and Shabanian, N., 2012. Effect of fire severity on organic Carbon, total Nitrogen and available Phosphorus of forest soils (case study: Marivan). Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 20(1): 25-37.
-Parsamehr, K. and Gholamalifard, M., 2016. Applied introduction of modeling of REDD projects: A strategy for reduce the impacts of climate change. Environmental Researches, 7(13): 189-202.
-Parvizi, Y., Ghafori, A., NIikkami, D., Roghani, M., Mahdian, M., Farahpoor, M. and Noori, A. 2016. Comparison and Study the Carbon sequestration potential of different watershed management mechanical operation and terracing in different climatic regions of Iran. Iran-Watershed ManagementScience and Engineering, 10(34): 63-72.
-Pilehvar, B., Jafari Sarabi, H. and Mirazadi, Z., 2015. Soil Carbon sequestration compression in plantations with different species in Makhmalkooh forest park. khoramabad-Lorestan. Journal of Plant Research, 29(4): 706-716.
-Prato, T., 2005. Modeling ecological impacts of landscape change. Environmental Modeling and Software, 20: 1359-1363.
-Rakatama, A., Pandit, R., Iftekhar, S. and Ma, C., 2018. Heterogeneous public preference for REDD+ projects under different forest management regimes. Land Use Policy, 78: 266-277.
-Rakatama, A., Iftekhar, M.S. and Pandit, R., 2019. Perceived benefits and costs of REDD+ projects under different forest management regimes in Indonesia. Climate and Development, 1-13.
-Roosta, T., Fallah, A. and Amirnejad. H., 2013. Estimation of Carbon storage for *Pistachio atlantica* Desf. (Case study: Firuzabad *Pistachio* and *Amygdalus* forest research, Fars province). Iranian Journal of Forest, 5(2): 131-139.
-Salmanmahiny, A. and Kamyab, H., 2009. Applied remote sensing and GIS with Idrisi. Mehr Mahdis Publication, Tehran, 582p.
-Santini, M. and Valentini, R., 2011. Predicting hot-spots of land use change in Italy by ensemble forecasting. Reg Environ Change, 11: 483-502.
-Sheng, J., Han, X., Zhou, H. and Miao, Z., 2016.

A study on the effects of Hyrcanian deforestation on greenhouse gases emission in Golestan province

H. Kamyab[1*] and Z. Asadolahi[2]

1*- Corresponding author, Department of Environmental Science, Faculty of Fisheries and Environmental science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Golestan, Iran, E-mail: hrkamyab@gau.ac.ir

2- Department of Environment and Fisheries, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Khorram Abad, Iran.

Received: 14.09.2020 Accepted: 02.03.2021

Abstract

Forest ecosystems provide a wide range of multiple ecosystem services (ESs) that are important for sustaining life on earth and maintaining the integrity of the ecosystems. One of the most important forest ESs is climate regulation. On one hand, carbon accumulates through growth of trees into the forest resources and on the other hand, land use/land cover (LULC) change activities impact on carbon reserves. Due to the ongoing Hyrcanian deforestation, in this study, we focused on how different LU change affect greenhouse gases (GHGs) emissions in Golestan province based on REDD (Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation) project. Four carbon pools include above-ground, below-ground, litter and soil organic carbon provided based on the results of reviewing 31 internal studies and IPCC reports. For predict the rate of deforestation by 2047 year under the baseline scenario, the Markov Chain was used. With the implementation of the base scenario, the CO_2 emission was estimated at 43655472 tons by 2047. The conversion of forests to other LULC types because of the fire is an important source of other GHGs emissions such as CH_4 and N_2O. Forest fire information of Golestan province indicates that since the year 2011 to 2018, 1511 fires have occurred. The results showed that fire would emit 16083.51 tCO2e of GHGs (CH_4 and N_2O) by the year 2047. So that the highest emission rates of CO2 was 17 million tons occurred in Marave-Tappeh township. The results of this study showed that Hyrcanian forests have an important role in reducing GHGs emissions.

Key words: Deforestation, GHGs emission, REDD, fire.