فصلنامه علوم محیطی، دوره پانزدهم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۶

۱۳۴-۱۲۳

ارزیابی ترسیب کربن و ارزش اقتصادی آن در جنگل‌های بلوط ایرانی: بررسی موردی در منطقهٔ حفاظت‌شده بیستون

محمد یوسفی[۱*]، محمود خرمی‌وفا[۱]، عبدالمجید مهدوی دامغانی[۲]، غلامرضا محمدی[۱] و علی بهشتی آل‌آقا[۳]

[۱] گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

[۲] گروه کشاورزی اکولوژیک، پژوهشکدهٔ علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

[۳] گروه خاکشناسی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

تاریخ دریافت: ۹۶/۷/۲ تاریخ پذیرش: ۹۶/۸/۱۰

یوسفی، م.، م. خرمی وفا، ع. مهدوی دامغانی، غ. محمدی و ع. بهشتی آل آقا. ۱۳۹۶. ارزیابی ترسیب کربن و ارزش اقتصادی آن در جنگل‌های بلوط ایرانی: بررسی موردی در منطقهٔ حفاظت‌شده بیستون. فصلنامه علوم محیطی. ۱۵(۳): ۱۳۴-۱۲۳.

سابقه و هدف: انتشار گازهای گلخانه‌ای و به دنبال آن پدیده‌های محیط‌زیستی مخرب همچون گرمایش زمین و تغییر اقلیم پیامدهای دست‌ورزی بشر در اکوسیستم‌های طبیعی در قرن حاضر هستند. پیرو این مساله، ترسیب کربن رهیافتی برد برد برای تعدیل اثرات مخرب فعالیت بشر در حل مشکلات افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای است. بر همین اساس پژوهش حاضر به منظور بررسی وضعیت ترسیب کربن در اکوسیستم‌های طبیعی جنگل بلوط و همچنین ارزیابی ارزش اقتصادی آن در استان کرمانشاه در سال ۱۳۹۴-۱۳۹۵ انجام شد.

مواد و روش‌ها: داده‌های لازم برای این پژوهش به روش داده‌برداری مستقیم میدانی و نمونه‌برداری تصادفی در منطقهٔ مورد بررسی جمع‌آوری شد. برای این منظور در منطقهٔ حفاظت‌شده بیستون به‌عنوان منطقهٔ بررسی درختان بلوط از لحاظ تیپ رویشی در دو گروه گونه‌های شاخه‌زاد و تک‌پایه تقسیم بندی شدند و اطلاعات مورد نیاز از آنها برداشت شد. سپس با استفاده از داده‌های برداشت شده و کاربرد رابطه‌های ریاضی مقدار ترسیب کربن و ارزش اقتصادی آن در جنگل‌های فوق محاسبه شد.

نتایج و بحث: بر اساس تجزیه و تحلیل نتایج این پژوهش توان ترسیب کربن توسط زیست‌توده درختان در گونه‌های شاخه‌زاد ۱۶۲۲/۶۷ کیلوگرم در هکتار در سال بود. این مقدار در گونه‌های تک‌پایه ۱۷۸۶/۴۷ کیلوگرم در هکتار در هر سال بود. با توجه به این نتایج مقدار دی‌اکسید کربن ترسیب و ذخیره‌شده در بافت چوبی و همچنین بقایای آلی موجود در زیر اشکوب توسط این دو تیپ درخت بلوط ایرانی به ترتیب ۵۸۴۱۱/۶۱ و ۶۴۳۱/۲۹ کیلوگرم در هکتار در سال بود. از طرفی با توجه به نرخ مالیات اعمال شده برای انتشار هر تن کربن ارزش اقتصادی سالانه هر هکتار از این جنگل‌ها به‌طور میانگین مبلغی بالغ بر ۱۷۸۰۸۵۶ریال برآورد شد.

نتیجه‌گیری: مدیریت صحیح اکوسیستم‌های جنگلی بلوط در این منطقه و به دنبال آن در سطح کشور به منظور کاهش مخاطرات

* Corresponding Author. *E-mail Address*: m.y6126@yahoo.com

محیط‌زیستی از جمله کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و پدیدهٔ تغییر اقلیم اهمیت بسزایی دارد. از طرفی با توجه به اهمیت موضوع تجارت کربن و مسائل بین‌المللی پیرامون آن، می‌توان از این موضوع در راستای احیاء و نگهداری پایدار این اکوسیستم‌های طبیعی بهره‌مند شد.

واژه‌های کلیدی: گازهای گلخانه‌ای- گرمایش زمین- تغییر اقلیم- تجارت کربن.

مقدمه

با افزایش جمعیت بشر و تلاش برای تامین غذا و مکان برای این جوامع در حال رشد استفاده فشرده‌تر از اکوسیستم‌ها و منابع طبیعی روندی افزایشی داشته است. تا جایی که بشر اکوسیستم‌های طبیعی را با توجه به توان تولید دسته‌بندی کرد. اکوسیستم‌های کشاورزی به‌عنوان منبع اصلی تولید غذا بر اکوسیستم‌های طبیعی دیگر مانند جنگل‌ها و مراتع به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم اثر می‌گذارند. فعالیت‌های بشر همواره با پیامدهای مخرب همراه بوده است. در حال حاضر انتشار گازهای گلخانه‌ای و گرمایش کرهٔ زمین و پدیدهٔ تغییر اقلیم مهمترین دستاورد استفاده ناکارآمد و نادرست بشر از منابع طبیعی است که پیامدهای آن متوجه نسل‌های کنونی شده است و آیندگان را نیز با مشکل مواجه خواهد کرد. انتشار گازهای گلخانه‌ای روندی روبه‌رشد به خود گرفته که سالانه بر مقدار انتشار آن و پیامدهای آن افزوده خواهد شد (Yousefi *et al*., 2015).

اهمیت این موضوع منجر به تشکیل هیات بین‌المللی تغییر آب‌وهوا[1] شده که مسئولیت ارائه گزارش جلسه‌های مرتبط به دست‌یابی به راهکارهای ارزشمند برای ارزیابی وضعیت انتشار گازهای گلخانه‌ای[2] و راهکارهای موثر در کاهش مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای را عهده‌دار شده است. گرچه درباره انتشار گازهای گلخانه‌ای از کاربری‌های مختلف زمین به‌عنوان یک پیامد محیط‌زیستی پژوهش شده است (Dalal and Allen, 2008)، اما ارزیابی تلفیقی از وضعیت انتشار در سطح چشم‌انداز و منطقه‌ای ضروری است (Buffam *et al*., 2011). این ارزیابی می‌تواند برای بخش سیاست‌گذاری و اجرای اصول مدیریتی درست در سطح منطقه و چشم‌انداز به‌منظور کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کاربرد موثری داشته باشد. در سال ۲۰۱۰ مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای تقریبا معادل ۴۹×۱۰^{۹} مگاگرم دی‌اکسید کربن[3] گزارش شد (IPCC, 2014) که تقریبا ۲۱/۲ تا ۲۴ درصد آن به اکوسیستم‌های کشاورزی، جنگل‌ها و دیگر تیپ‌های کاربری زمین اختصاص داشت (IPCC, 2014).

مقدار انتشار سالانه دیگر گازهای گلخانه‌ای شامل متان و اکسیدهای نیتروژن از بخش کشاورزی معادل $۵/۸\times۱۰^{۹}$ -۵/۲ مگاگرم دی‌اکسید کربن در سال گزارش شد (FAOSTAT, 2015) که تقریبا $۵/۵\times۱۰^{۹}$ - ۴/۳ مگاگرم از این مقدار مربوط به تغیرات کاربری زمین بود (IPCC, 2014).در این بین بیشترین مقدار انتشار به دی‌اکسید کربن اختصاص دارد. دی‌اکسید کربن اگرچه مهمترین منبع برای فتوسنتز در سیستم غذاسازی گیاهان است، اما بیش‌بود آن منجر به پیامدهای محیط‌زیستی مخرب خواهد شد. گاز دی‌اکسیدکربن به‌عنوان یک عامل مهم مؤثر در گرمایش جهانی و تغییر آب‌وهوا، مسئول۶۰ درصد گرم شدن جهانی یا اثر گلخانه‌ای شناخته شده است (Mehdipour and Landi, 2010). پیرو این مساله یافتن راهکارهای مدیریتی درست برای کاهش پیامدهای انتشار گازهای گلخانه‌ای به ویژه دی‌اکسیدکربن ضرورت پیدا خواهد کرد. در این راستا راهکارهایی چون کاهش مصرف سوخت‌های تجدیدناپذیر فسیلی، جلوگیری از تغییر کاربری اراضی، اصلاح الگوهای خاک‌ورزی و در نهایت موضوع ترسیب کربن یا نهشت‌کربن مطرح شده است. رهیافت ترسیب کربن یکی

از اصول مدیریتی درست در راستای کاهش مخاطرات محیط‌زیستی انتشار گازهای گلخانه‌ای است (Lal, 2004; Yousefi *et al*., 2014) .

ترسیب کربن[۴] یا نهشت کربن عبارت است از هر نوع فعالیتی که به افزایش ذخایر کربن و انتقال آن از اتمسفر به درون زیست‌توده و خاک منجر شود (Lal, 2004; Lal *et al*., 2009) . ترسیب کربن تحت‌تأثیر عوامل مدیریتی، از جمله مقدار ورودی و خروجی کربن ناشی از تولید زیست‌توده و بقایای گیاهی، اصول مدیریتی بقایای محصولات ، عملیات خاک‌ورزی، و در نهایت شرایط اقلیمی است (Khoramdel *et al*., 2013).

به دام انداختن و ذخیره کربن از منابع بی‌ثبات در منابع با ثبات و ماندگار همچون خاک و بافت چوبی درختان در اکوسیستم‌های طبیعی اهمیت ویژه‌ای دارد. بنابراین هدف این پژوهش ارزیابی توان ترسیب کربن در جنگل‌های بلوط ایرانی در اکوسیستم‌های طبیعی استان کرمانشاه و اندازه‌گیری مقدار ترسیب کربن در این اکوسیستم‌ها است. با توجه به مالیات بر انتشار دی‌اکسیدکربن، ارزش‌گذاری اقتصادی این جنگل‌ها نیز انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در جنگل‌های بلوط منطقهٔ حفاظت‌شده بیستون در استان کرمانشاه به‌عنوان بخش مهمی از جنگل‌های زاگرس انجام شد. جنگل‌های زاگرس که با عنوان جنگل‌های نیمه‌خشک طبقه‌بندی شده، با ۶ میلیون هکتار وسعت، ۴۰ درصد کل جنگل‌های ایران را به خود اختصاص داده‌اند (Ahmadi *et al*., 2015). جنگل‌های استان کرمانشاه به عنوان بخش مهمی از این عرصه، سطحی حدود ۵۲۷ هزار هکتار داشته و اغلب گونه‌های درختی این جنگل‌ها، بلوط ایرانی، بنه و زالزالک است. بلوط ایرانی با نام علمی *Quercus brantii Lindl* از خانواده Fagaceae گونهٔ غالب درختی در جنگل‌های استان کرمانشاه است، که همراه سایر گونه‌ها بیشترین تأثیر را در تأمین آب، حفظ خاک، تعدیل آب و هوا و تعادل اقتصادی-اجتماعی کشور دارند. نقش عمده ترسیب کربن نیز با این گونه‌های گیاهی است. زیرا گونه‌های گیاهی غالب در هر منطقه، به دلیل برخورداری از سطح تاج‌پوشش بیشتر و غالبیت اکولوژیک بیشتر، نقش اصلی را در ترسیب کربن رویشگاه ایفا می‌کنند (Hill *et al*., 2008). استان کرمانشاه در مختصات جغرافیایی بین ´۳۶ °۳۳ تا ´۱۵ °۳۵ عرض شمالی و ´۲۴ °۴۵ تا ´۳۰ °۴۸ طول شرقی قرار دارد. پوشش جنگلی این استان از شهرستان بیستون و دامنه‌های پرو تا ارتفاعات شهرستان گیلان‌غرب ادامه دارد. این پژوهش در منطقهٔ حفاظت‌شده بیستون واقع در منطقه بیستون در سال ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۵ انجام شد. این منطقه از لحاظ اقلیمی جزء محدودهٔ اقلیمی مدیترانه‌ای نیمه‌خشک بوده که میانگین ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۰۰ متر و متوسط بارندگی آن ۴۷۸/۸ میلی‌متر در سال است.

در این پژوهش بلوط ایرانی در دو فرم شاخه‌زاد و تک‌پایه بررسی شد. البته با توجه به اینکه هدف اصلی در اندازه‌گیری برآورد مقدار زیست‌توده در واحد سطح در سال بود، در نهایت نتایج بر مبنای واحد سطح گزارش شد. به منظور انتخاب پایه‌های مورد بررسی با توجه به مساحت منطقه و تراکم گونه بلوط، قطعات نمونه آماربرداری به‌صورت یک هکتاری (۱۰۰×۱۰۰ متر) و تصادفی انتخاب شد. سپس از ارتفاع درخت، قطر برابر سینه، تعداد پایه در تیپ‌های شاخه‌زاد، درصد بقایا و مواد آلی موجود در زیر اشکوب جنگل، و نمونهٔ خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک با پلات‌های ۱×۱ متری در قطعات نمونه به‌صورت کاملا تصادفی آماربرداری و نمونه‌گیری شد. پس از آن نمونه‌های بقایا و خاک برای اندازه‌گیری و تعیین وزن و درصد مواد آلی به آزمایشگاه منتقل شدند. تمام اطلاعات مورد نیاز مشخص و برای تجزیه‌وتحلیل و محاسبه شاخص‌های مورد نظر از آنها استفاده شد. برای محاسبه مقدار کربن آلی در مواد و

بقایای آلی از رابطه زیر (Jafarian and Sayedalikhani, 2014) استفاده شد:

(۱) کربن آلی = مقدار مواد آلی × 0.54

به دلیل ماهیت این پژوهش اکولوژیک از روش‌های تخریبی و قطع و توزین درختان خودداری شد و با تکیه به بررسی منابع و با استفاده از رابطه‌های ریاضی ثبت‌شده، و اندازه‌گیری وزن تازه و خشک اندام‌های هوایی و بقایای درخت، همچنین تعیین قطر و ارتفاع درخت، و تخمین سن درخت مقدار کربن تثبیت‌شده با استفاده از رابطه‌های زیر (۲ تا ۵) محاسبه و گزارش شد. برای تعیین مقدار ترسیب کربن به ازای هر درخت در هر سال یا در واحد سطح از روش غیرتخریبی استفاده شد که داری چهار مرحله است (Broward County, 2012):

تعین وزن تر و زیست‌توده هر درخت که با استفاده از داده‌های برداشت شده و معادلهٔ زیر محاسبه می‌شود.

(۲) وزن تر درخت = 0.25(قطر درخت)^2 × ارتفاع درخت

که در این رابطه وزن تر درخت بر مبنای پوند خواهد بود، قطر برابر سینه درخت بر مبنای اینچ، و ارتفاع درخت بر مبنای فوت یا پا خواهد بود. باید توجه کرد که هر پوند معادل ۰/۰۰۱۶ کیلوگرم، ۱ اینچ برابر ۲/۵۴ سانتی متر و هر فوت برابر ۳۰/۴۸ سانتی‌متر خواهد بود. البته باید توجه شود که برای محاسبه کل زیست‌توده هوایی و ریشه درخت باید ۲۰ درصد وزن اندام‌های هوایی را نیز برای ریشه در نظر گرفت و برای وزن کل به وزن اندام‌های هوایی افزود.

محاسبهٔ وزن خشک درخت که برابر است با :

(۳) وزن خشک درخت = 72.5% × وزن تر درخت

محاسبهٔ مقدار تولید کربن موجود در هر درخت که عبارت است از:

(۴) عملکرد کربن = 0.54 × وزن خشک درخت

محاسبه مقدار دی‌اکسید کربن تثبیت‌شده توسط هر درخت:

(۵) دی‌اکسیدکربن تسخیرشده = 3.67 × عملکرد کربن

که در این رابطه عدد ۳/۶۷ نسبت جرم مولکولی کربن به دی‌اکسیدکربن است. در نهایت مقدار کل کربن تثبیت‌شده در هر درخت محاسبه شد و برای تعیین سهم هر سال، مقدار آن به طول عمر درخت تقسیم شد. سن درخت با توجه به قطر برابر سینه درخت و با توجه به میانگین عرضی حلقه‌های سالیانه به‌صورت زیر محاسبه شد:

(۶) سن درخت = قطر برابر سینه /2 × 5

در این رابطه قطر برابر سینه[5] تقسیم بر دو همان شعاع درخت و ۵ تعداد حلقه‌های سالیانه در درخت بلوط در هر اینچ است. به عبارت دیگر ضریب رشد پهنای حلقه‌های سالانه درخت بلوط ۰/۲ اینچ یا ۵ میلی‌متر در سال است. در نهایت برای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

در بخش پایانی این پژوهش برای نشان دادن اهمیت رهیافت ترسیب کربن از موضوع ارزش‌گذاری کربن استفاده شد و با اعمال میانگین نرخ مالیات اعمال‌شده برای انتشار هر تن کربن در مقدار عملکرد کربن در اکوسیتم‌ها این اندازه‌گیری انجام شد. با توجه به اینکه مالیات اعمال‌شده برای انتشار هر تن کربن به‌طور میانگین ۵۰ دلار است مقدار ارزش اقتصادی این جنگل‌ها از لحاظ ترسیب کربن ارزیابی و ارائه شد.

نتایج و بحث

صفات رشدی و تولید زیست‌توده در جنگل‌های بلوط

در منطقهٔ پژوهش، شاخص‌های مورد نیاز برای تعین زیست‌توده در بخش‌های هوایی و زیرزمینی درختان بلوط ایرانی اندازه‌گیری و تجزیه‌وتحلیل شد. نتایج این نمونه‌برداری‌ها و تجزیه‌وتحلیل آنها در جدول ۱ ارائه شده است. دو مولفهٔ اصلی در تعین مقدار

زیست‌توده اندام‌های هوایی و زیرزمینی در روش بدون تخریب شامل میانگین ارتفاع و قطر برابر سینه درختان اندازه‌گیری و گزارش شدند. مقادیر ارتفاع در فرم رویشی شاخه‌زاد معادل ۵/۳۸ متر بود. در حالی‌که این مقدار در فرم تک‌پایه ۶/۹۵ متر بود. به‌طور کلی در این پژوهش میانگین ارتفاع کل درختان بررسی‌شده در هر دو فرم رویشی ۶/۱۶ متر بود. مقدار قطر تنه درخت در ارتفاع برابر سینه در فرم رویشی شاخه‌زاد و تک‌پایه به ترتیب ۰/۱۵۳ و ۰/۲۴۵ متر بود.

با توجه به پارامترهای اندازه‌گیری‌شده و کاربرد روابط ریاضیاتی محاسبه زیست‌توده در حالت غیرتخریبی، مقادیر زیست‌توده تر، زیست‌توده تر به همراه اندام‌های زیرزمینی و زیست‌توده خشک برای فرم رویشی شاخه‌زاد، تک‌پایه و میانگین هر دو فرم رویشی محاسبه شد که نتایج آن در جدول ۲ گزارش شده است. با توجه به نمونه‌گیری میدانی و محاسبات تراکم درختان بلوط در منطقه پژوهش برای حالت میانگین هر دو فرم رویشی ۱۴۵ اصله درخت در هکتار به دست آمد. با توجه به تراکم و سن توده مورد پژوهش مقدار زیست‌توده تولیدشده در سال در هر هکتار از جنگل‌های بلوط در این منطقهٔ به ترتیب ۳۱۰/۷۶، ۶۳۸/۳۶، و ۴۷۴/۵۶ کیلوگرم در هکتار در سال برای فرم رویشی شاخه‌زاد، تک‌پایه و میانگین هر دو فرم رویشی بود. در جنگل‌های بلوط لردگان استان چهارمحال و بختیاری متوسط زیست‌توده روی زمینی در هر درخت بلوط در فرم تک‌پایه و شاخه‌زاد به ترتیب ۳۷۱/۰۴ و ۱۴۶/۳ کیلوگرم به دست آمد که نشان‌دهندهٔ توان تولید زیست‌توده ۲/۵ برابری درختان تک‌پایه نسبت به فرم شاخه‌زاد بود (Iranmanesh *et al.*, 2015).

جدول ۱- مقادیر صفات اندازه‌گیری‌شده در درختان بلوط در استان کرمانشاه

Table 1. Amount of measured characteristics in oak trees in Kermanshah province

صفات characteristics	شاخه‌زادها Coppice	تک‌پایه‌ها Single stem	میانگین Average
ارتفاع (متر) Height of the tree (m)	5.38	6.95	6.16
محیط دور تنه درخت در ارتفاع برابر سینه (متر) Circumference at breast height (m)	0.482	0.768	0.625
قطر برابر سینه (متر) Diameter at breast height (DBH)(m)	0.153	0.245	0.186

از طرف دیگر مقادیر زیست‌توده مواد آلی موجود در کف تاج‌پوشش شامل برگ، میوه و سرشاخه‌های ریخته و موجود در کف تاج‌پوشش که به روش پلات‌اندازی اندازه‌گیری شد، نیز محاسبه شد. از آنجا که در کف تاج‌پوشش تفکیک این مقادیر برای فرم رویشی شاخه‌زاد و تک‌پایه از دقت بالایی برخوردار نبود بنابراین مقدار آن به‌طور میانگین ۲۷۱۷/۲۰ کیلوگرم در سال در هر هکتار از این جنگل‌ها محاسبه و برآورد شد.

ترسیب کربن در زیست‌توده جنگل بلوط

با توجه به اطلاعات و داده‌های حاصل که در جداول ۱ و ۲ گزارش شد مقادیر کربن ترسیب‌شده به ازای زیست‌توده درخت، برگ و بقایای کف کانوپی، کل کربن ترسیب‌شده و به موازات آن دی‌اکسید کربن ترسیب‌شده برآورد و در جدول ۳ گزارش شدند. بر اساس این اطلاعات کربن ترسیب‌شده به ازای زیست‌توده درختان در جنگل‌های مورد پژوهش به‌طور میانگین ۶۱۶ کیلوگرم کربن در هکتار در سال به دست آمد. از طرفی کربن ترسیب‌شده به ازای برگ و بقایای کف‌کانوپی معادل ۱۴۶۷/۲۹ کیلوگرم در هکتار در سال بود. بنابراین کل کربن ترسیب‌شده به ازای زیست‌توده درخت و همچنین برگ و بقایای کف تاج‌پوشش برای هر دو فرم رویشی درختان بلوط در منطقهٔ پژوهش به‌طور میانگین ۱۷۰۴/۵۷ کیلوگرم

در هکتار در سال بود. البته قابل‌ذکر است که مقدار این کربن ترسیب‌شده در فرم رویشی تک‌پایه بیشتر از شاخه‌زاد بود. اندام‌هایی که دارای بافت چوبی هستند، از توانایی بیشتری در ترسیب کربن برخوردار بوده و هرچه نسبت اندام‌های چوبی در گیاه بیشتر باشد، توان آن در ترسیب کربن افزایش می‌یابد (Forouzeh *et al.*, 2008).

جدول ۲- مقادیر محاسبه‌شدهٔ وزن تازه و خشک اندام‌های هوایی و ریشه در درختان بلوط در استان کرمانشاه

Table 2. Estimated fresh and dry weight of aboveground and belowground in oak trees in Kermanshah province

صفات Characteristics	شاخه‌زادها Coppice	تک‌پایه‌ها Single stem	میانگین Average
وزن تر زیست‌توده اندام‌های هوایی درخت (کیلوگرم در هکتار) Fresh weigh of shoot biomass ($kgha^{-1}$)	79.49	254.93	167.21
وزن تر کل درخت شامل اندام‌های هوایی و ریشه (کیلوگرم در هکتار) Fresh weigh of total biomass (shoot & root) ($kgha^{-1}$)	95.38	305.92	200.65
وزن خشک زیست‌توده کل (کیلوگرم در هکتار) Dry weight Biomass ($kgha^{-1}$)	69.15	221.79	145.47
سن درخت بر حسب سال Age of three in year	30	48	39
تراکم درختان (اصله در هکتار) Tree density (per ha)	145	145	145
کل وزن خشک (کیلوگرم در هکتار در سال) Total dry weight ($kgha^{-1}yer^{-1}$)	310.76	638.36	474.56
مقدار مواد آلی (کیلوگرم در هکتار در سال) Amount of organic matter ($kgha^{-1}yer^{-1}$)	2717.20	2717.20	2717.20

در بررسی دیگری در جنگل‌های بلوط لردگان توان ترسیب کربن فرم رویشی تک‌پایه ۲/۵ برابر فرم شاخه‌زاد گزارش شد (Iranmanesh *et al.*, 2015). نتایج پژوهش دیگری در این زمینه نشان داد که کربن ترسیب‌شده تنه درختان بلوط در منطقه شمال ایران در دامنه‌های با شیب ملایم ۴۶/۸۶ تن در هکتار بود (Vahedi and Mattagi, 2014). همچنین در دامنه های پرشیب حداکثر آن ۳۱/۸۲ تن در هکتار بود. این مقدار در ارتفاعات میانی حداکثر تا ۱۶۵/۰۴ تن در هکتار و به‌طور میانگین ۴۷/۶۱ تن در هکتار گزارش شد (Vahedi and Mattagi, 2014).

البته قابل‌ذکر است که در این بررسی توان ترسیب کربن برای تودهٔ جنگلی در واحد سطح ارزیابی شده و مقدار آن به ازای هر سال محاسبه نشده است. مقدار ترسیب کربن در در جنگل‌های بلوط در منطقه حفاظت‌شده بیستون نشان‌دهنده این است که هر هکتار از این جنگل‌ها در هر سال۶۱۳۶/۴۵ کیلوگرم دی‌اکسیدکربن را از اتمسفر از طریق فرایند فتوسنتز به دام انداخته و در زیست‌توده هوایی و زیرزمینی پوشش جنگلی بلوط و بقایای حاصل از آن که در کف تاج پوشش و نهایتا بخش از مواد آلی خاک خواهد شد، ذخیره می‌کند.

جدول ۳- مقادیر کربن و دی‌اکسید کربن ترسیب‌شده (کیلوگرم در هکتار در سال) در جنگل‌های بلوط در استان کرمانشاه

Table 3. The amount of sequestered carbon and carbon dioxide ($kg\ ha^{-1}\ yer^{-1}$) in oak forests in Kermanshah Province

صفات characteristics	شاخه‌زاد ها Coppice	تک‌پایه ها Single stem	میانگین Average
کربن ترسیب‌شده به ازای زیست‌توده درخت Sequestered carbon per tree biomass	538	695	616
کربن ترسیب‌شده به ازای برگ و بقایای کف اشکوب Sequestered carbon per residual	1467.29	1467.29	1467.29
کل کربن ترسیب‌شده Total sequestered carbon	1622.67	1786.47	1704.75
دی‌اکسید کربن تسخیرشده Total captured carbon dioxide	5841.61	6431.29	6136.45

در پایان با توجه به مقدار کربن تولیدی، ارزش‌گذاری اقتصادی هر هکتار از این جنگل‌های مورد پژوهش، محاسبه شد. بررسی‌های گذشته نشان می‌دهد که میانگین نرخ مالیات اعمال‌شده برای انتشار هر تن کربن در سال‌های۱۹۹۷، ۲۰۰۰، ۲۰۰۴ و ۲۰۱۰ به ترتیب ۲۸/۴، ۲۱/۸، ۳۴/۴ و ۴۷/۲ دلار بود (Yazdani and Abasi, 2010). این مقدار با توجه به مالیات اعمال‌شده در سال‌های اخیر تقریبا ۵۰ دلار به ازای هر تن انتشار کربن در نظر گرفته شده است. بنابراین با توجه به مقدار ترسیب کربن در این پژوهش، ارزش اقتصادی هر هکتار از این جنگل‌ها در کاهش انتشار دی‌اکسید کربن ۱۷۸۰۸۵۶ ریال است. این رقم را با توجه به هزینه‌هایی که باید برای کاهش آثار مخرب و محیط‌زیستی انتشار دی‌اکسیدکربن هزینه کرد در نظر گرفته‌اند. بنابراین اگر سطح زیر پوشش جنگل‌های دربردارندهٔ درختان بلوط در استان کرمانشاه را تقریبا ۵۰۰ هزار هکتار در نظر بگیریم، می‌توان گفت که ارزش اقتصادی آن در زمینهٔ کاهش اثرات انتشار گازهای گلخانه‌ای و تغییرات اقلیمی رقمی معادل ۱۵۳ میلیون دلار خواهد بود. بنابراین اهمیت موضوع ترسیب کربن توسط این اکوسیستم‌های طبیعی به‌وضوح قابل‌مشاهده است. ارزش‌گذاری اقتصادی کالاها و خدمات جنگل‌ها، راهکاری برای برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران منابع طبیعی به حساب می‌آید تا با استفاده از این ابزارها برای اتخاذ تصمیماتی در ارتباط با کسب درآمد از این منابع و مدیریت درست در راستای پایداری این منابع گام برداشته شود (Aasgri, 2014) همچنین می‌توان از این پتانسیل برای همکاری‌های بین‌المللی در راستای کاهش مخاطرات زیست‌محیطی و مسائل اقتصادی پیرامون آن بهره‌مند شد.

نتیجه‌گیری

اندازه‌گیری و برآورد زیست‌توده درختان بلوط و ارزیابی پتانسیل آنها در به دام انداختن و نگهداشت کربن اتمسفری، امروزه با توجه به افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌ویژه دی‌اکسید کربن اهمیت بسزایی در فرآیندهای مدیریتی و اقتصادی برای برنامه‌ریزی هدفمند و توسعه‌محور در اکوسیستم‌های طبیعی دارد. روند افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای موجبات افزایش گرمایش کره زمین[۶] و تغییرات اقلیمی[۷] را مهیا کرده است. از آنجا که زیست‌توده جنگلی بخش اعظمی از ذخیره کربن در بوم‌نظام‌های خشکی را به خود اختصاص می‌دهد نباید از اهمیت جنگل و پوشش گیاهی و به‌ویژه پوشش‌های گیاهی طبیعی و خودرو در به دام انداختن کربن اتمسفری غافل بود. این مهم در ارزیابی اقتصادی ترسیب کربن در بوم‌نظام‌های جنگلی به روشنی قابل‌ملاحظه است. جنگل‌های بلوط در استان کرمانشاه به‌عنوان بخش بزرگی از پوشش جنگلی زاگرس نقش مهمی در این بین خواهند داشت. تا آنجا که در این پژوهش مشاهده شد هر هکتار از این جنگل‌ها می‌توانند به‌طور میانگین بیش از ۶ تن از دی‌اکسیدکربن اتمسفری را از طریق فتوسنتز به دام انداخته و در پیکره و زیست‌توده خود به‌عنوان مخزن پایداری از کربن نگهداری کنند. با توجه به سطح زیر پوشش این جنگل‌ها و این مقدار ذخیره دی‌اکسید کربن نقش آنها به وضوح مبین اهمیت این جنگل‌ها خواهد بود.

بنابراین ارزیابی و آنالیز جنگل‌های بلوط یا سایر گونه‌های درختی برای برآورد ارزیابی پتانسیل ترسیب کربن آنها و اهمیت‌شان در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای بسیار مهم خواهد بود. از طرفی تعیین ارزش اقتصادی و محیط‌زیستی این اکوسیستم‌های طبیعی و مراقبت و نگهداری از آنها اهمیت دوچندانی دارد و می‌تواند در زمینهٔ تجارت کربن[۸] مورد توجه قرار گیرد.

سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از تمام کسانی که در انجام این پژوهش یاری‌شان کرده‌اند سپاسگزاری کنند

و کمال قدردانی را از آقایان پرویز مولایی، مهدی مولایی و مهندس امیر عزیزی به جای آورند که در مراحل نمونه‌برداری میدانی زحمات بی‌شماری را متحمل شدند و به کمک ایشان سختی کار برای ما آسان شد. انشاالله در تمام مراحل زندگی‌شان سرافراز و کامیاب باشند.

پی‌نوشت‌ها

[1] International Panel of Change Climate (IPCC)
[2] Greenhouses Gas (GHG)
[3] Mg CO_{2eq}
[4] Carbon sequestration
[5] Diameter at breast height (DBH)
[6] Change Climate
[7] Global Warming Potential (GWP)
[8] Carbon Credit

منابع

Ahmadi, Sh., Zahedi Amiri, Gh. and Marvi Mohajer, M., 2016. Preparation of Iranian oak mapping of Lindl brantii Quercus using geostatistical method in Barm plain of Fars province. Quarterly Journal of Forest and Poplar Research of Iran .3(24), 450-539 (In Persian with English abstract).

Asgari, h., 2014. Economic-accounting valuation of oak forests in Ilam Province. Journal of Natural Resources Economics. 2(2), 77-88 (In Persian with English abstract).

Broward County., 2012. How to calculate the amount of CO2 sequestered in a tree per year. Available online at: http://www.broward.org/NaturalResources/ClimateChange/Documents/Calculating%20CO2%20Sequestration%20by%20Trees.pdf

Buffam, I., Turner, M., Desai, A., Hanson, P., Rusak, J., Lottig, N., Stanley, E. and Carpenter, S., 2011. Integrating aquatic and terrestrial components to construct a complete carbon budget for a north temperate lake district. Global Change Biology.17, 1193–1211.

Dalal, R.C. and Allen, D.E., 2008. Turner Review No. 18. Greenhouse gas fluxes from natural ecosystems. Australian Journal of Botany. 56, 369–407.

Forouzeh, M.R., Heshmati, GH.A., GHanbarian GH.A., and Mesbah, S.H. 2008. Comparing carbon sequestration potential of three shrub species Heliantemum Lippii, Dendrostellera Lessertii and Artemisia Sieberi (Case study; Garehbygon, Fasa). Journal of Environmental Studies. 34(46), 65-72 (In Persian with English abstract).

Hill, M.J., Braaten, R., and McKeon , G.M., 2003. A scenario calculator for effects of grazing land management on carbon stocks in Australian rangelands. Environmental Modeling and Software. 18(7), 627- 644.

IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

Iranmanesh, Y., Talebi, H., Sohrabi, H., Jalali, S.G., and Hosseini, S.M., 2015. Biomass and carbon storage on land in two forms of Iranian oak (Quercus brantii Lindl) in Lordegan forests of Chaharmahal va Bakhtiari province. Iranian Journal of Forest and Poplar Research. 22(4), 749-762 (In Persian with English abstract).

Jafarian, Z., and T. Sayedalikhani, L., 2013. Carbon Sequestration Potential in Cultivated Wheat Field of Kaiser Area. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production. 23 (1), 41-32 (In Persian with English abstract).

Khorramdel S., Koocheki A., Nassiri Mahallati M., Khorasani R., Ghorbani R., 2013. Evaluation of carbon sequestration potential in corn fields with different management systems. Soil & Tillage

Research. 133, 25–31.

Lal, R., 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. Geoderma. 123, 1-22.

Lal, R., 2009. Soil carbon sequestration for climate change mitigation and food security. In: Souvenir, Platinum Jubilee Symposium on Soil Science in Meeting the Challenges to Food Security and Environmental Quality. Indian Society of Soil Science, New Delhi, pp. 39–46.

Mehdi Pour, L., and Landi, A., 2010. Impact of different land uses on greenhouse gas emissions. Agriculture Sciences and Technology, Natural Resources, Water and Soil Science. 52, 14-19 (In Persian with English abstract).

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), 716-727 (In Persian with English abstract).

Yazdani, S., and Abbasi, A., 2010. Estimating the economic value of the environmental benefits of forests (Case Study: The Forest Namkhaneh Kheyrood Noshahr). Journal of Agricultural Economics. 2(3), 132-138.

Yousefi, M., Mahdavi Damghani, A., and Khoramivafa, M., 2014b. Energy consumption, greenhouse gas emissions and assessment of sustainability index in corn agroecosystems of Iran. Science of The Total Environment. 493, 330–335.

Yousefi, M., Mahdavi Damghani, A., and Khoramivafa, M., 2016. Comparison greenhouse gas (GHG) emissions and global warming potential (GWP) effect of energy use in different wheat agroecosystems in Iran. Environmental Science and Pollution Research. 23(8), 7390–7397.

Environmental Sciences Vol.15 / No.3 / Autumn 2017

123-134

Assessment of carbon sequestration and its economic value in Iranian Oak Forests: Case study Bisetoon protected area

Mohammad Yousefi [1*], Mahmoud Khoramivafa [1], Abdolmajid Mahdavi Damghani [2], Gholamreza Mohammadi[1] and Ali Beheshti Alagha[3]

[1] Department of Agronomy and Plant Breeding, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran.
[2] Department of Agroecology, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
[3] Department of Soil Science, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran.

Received: 2017.09.24 **Accepted:** 2017.11.01

Yousefi, M., Khoramivafa, M., Mahdavi Damghani, A., Mohammadi, Gh. and Beheshti Alagha, A., 2017. Assessment of carbon sequestration and its economic value in Iranian Oak Forests: Case study Bisetoon protected area. Environmental Sciences. 15(3): 123-134.

Introduction: Greenhouse gas emissions and destructive environmental crises such as global warming and climate change have been created by human activities in natural ecosystems during this century. Due to this problem, carbon sequestration is a win-win approach with the purpose of reducing of destructive human activities and emissions of greenhouse gases. Accordingly, this study was carried out in order to assess carbon sequestration with economic value in the Quercus brantii Lindi forest in Kermanshah Province in 2015 to 2016.

Materials and methods: Essential data for this research was collected using the on-farm and random sampling methods in two groups, including coppice and single stem forms in an oak forest in Bisetoon Protected Area. Then, the amount of carbon sequestration and its economic value were calculated using the collected data and application of mathematical relations in this forest.

Results and discussion: According to the results of this study, the amount of carbon sequestration by trees biomass was 1622.67kgha-1yer-1 in coppice forms. This amount was 1786.47kgha-1yer-1in a single stem. Therefore, the amount of CO_2 captured and saved in wood tissue and residual organic matter in the bottom tree layer was, respectively, 5841.61 and 6431.29 $kgha^{-1}yer^{-1}$ in coppice and single stem forms. Due to the tax rate applied for every ton of carbon emissions, the annual economic value per hectare of this forest was estimated at 1780856 rials.

* Corresponding Author. *E-mail Address*: m.y6126@yahoo.com

Conclusion: furthermore, suitable management of oak forest ecosystems in this region under investigation and, subsequently, around the country is very important in order to reduce the existing environmental crisis, through such impacts as reducing greenhouse gas emissions and change climate. On the other hand, due to the importance of carbon credits and international issues surrounding them, it has a benefit for the recovery and maintenance of these natural ecosystems.

Keywords: Greenhouse gases, Global warming, Climate change, Carbon credits.