



دانشگاه گنبد کاووس

نشریه "حفاظت زیست بوم گیاهان"

دوره دهم، شماره بیستم

<http://pec.gonbad.ac.ir>

علمی-پژوهشی

ارزش گذاری اقتصادی میزان ترسیب کربن در جنگل های بلوط زاگرس (مطالعه موردی: رویشگاه جنگلی پهنوس، استان چهارمحال و بختیاری)

سیده سمیرا سلیمانی پور^۱، کامران عادلی^{۲*}، داود مافی غلامی^۳، حامد نقوی^۴

^۱دانشجوی دکتری جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم آباد

^۲استادیار گروه جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم آباد

^۳دانشیار گروه علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۰۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۰۲

چکیده

بررسی ارزش اقتصادی ترسیب کربن در جنگل ها برای مقابله با خطر تغییر اقلیم جهانی که چالش عمیقی در جوامع بین المللی ایجاد کرده است، مهم است. از این رو مطالعه حاضر به بررسی میزان ترسیب کربن و ارزش اقتصادی آن در جنگل های بلوط (*Quercus brantii* Lindle) رویشگاه جنگلی پهنوس در استان چهارمحال و بختیاری در غرب ایران با مساحت ۹۹۰ هکتار، می پردازد. بدین منظور نمونه برداری با روش منظم تصادفی انجام گرفت و فاکتورهای مورد نیاز از جمله قطر برابر سینه، ارتفاع درخت و قطر تاج تمامی درختان موجود در ۱۰۰ قطعه نمونه با ابعاد ۶۰×۶۰ متر برداشت شد. مقدار زی توده در اندام های هوایی و زیرزمینی درختان با استفاده از دو روش (معادلات آلومتریک و روش چگالی) برآورد شد، سپس مقدار کربن ذخیره ای و کربن ترسیب شده با استفاده از فرمول های تجربی از روی زی توده خشک درختان محاسبه گردید و به منظور ارزش گذاری کارکرد ترسیب کربن از نرخ مالیات بر کربن استفاده شد. نتایج نشان داد مقدار ترسیب کربن در هر هکتار از این جنگل ها با استفاده از معادلات آلومتریک و روش چگالی به ترتیب برابر با ۰/۸۳ و ۰/۷۴ تن در هکتار در سال است که با در نظر گرفتن ۶۰ دلار به عنوان مالیات اعمال شده برای هر تن کربن، ارزش اقتصادی ترسیب کربن در هر روش به ترتیب معادل ۵۰/۰۵ و ۴۴/۴۷ دلار در هکتار برای سال ۱۳۹۹ برآورد شد. به طور

*نویسنده مسئول: adeli.k@lu.ac.ir

کلی نتایج این مطالعه نشان‌دهنده توان زیاد ترسیب کربن رویشگاه جنگلی پهنوس است، بنابراین حفاظت و مدیریت صحیح این جنگل‌ها می‌تواند منجر به ذخیره مقدار قابل توجهی کربن اتمسفری شود.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، رویشگاه جنگلی پهنوس، زی توده، معادلات آلومتريک، نرخ مالیات بر کربن

مقدمه

امروزه تغییر اقلیم به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مشکلات زیست‌محیطی جهانی، نگرانی‌های عمومی در مورد وضعیت آینده اکوسیستم‌ها به‌وجود آورده است و عامل اصلی آن، گرمایش جهانی ناشی از افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای، به‌ویژه دی‌اکسیدکربن اتمسفری است (Nair et al., 2018). افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن اتمسفر دارای اثرگذاری بالقوه بر الگوی اقلیم جهانی است؛ چرا که تغییرات غلظت دی‌اکسیدکربن عامل حدود ۶۰ درصد از گرم شدن کره زمین است (Xu et al., 2009; Fu et al., 2015; Marcos-Martinez et al., 2022). به‌دلیل این اثر فزاینده دی‌اکسیدکربن اتمسفر بر روند گرمایش جهانی و تغییر اقلیم، مدیریت کربن از طریق کاهش انتشار کربن و افزایش ترسیب کربن به‌عنوان کارآمدترین اقدام مقابله با تغییرات اقلیم مورد توجه نهادهای بین‌المللی قرار گرفته است (Dai et al., 2013; Fu et al., 2015; Wani et al., 2015). در این میان، اکوسیستم‌های جنگلی به‌عنوان یکی از مقرون به صرفه‌ترین و کارآمدترین مخازن حذف دی‌اکسیدکربن اتمسفر معرفی شده‌اند (Fu et al., 2015; Torres et al., 2015; Hall et al., 2022).

به‌منظور برآورد قابل اعتماد از میزان ذخیره کربن، ارائه تصویر دقیق‌تر از نقش اکوسیستم‌های جنگلی در چرخه جهانی کربن و نیز فراهم آوردن اطلاعات حیاتی برای تهیه برنامه‌های سازگاری با تغییر اقلیم، برآورد زی‌توده جنگل‌ها در دو بخش روی زمین و زیر زمین ضروری است (Koala et al., 2017). در این راستا، برآورد مقادیر زی‌توده اکوسیستم‌های جنگلی در مناطق گوناگون و در مقیاس‌های جغرافیایی مختلف امری ضروری است و در کانون توجه محققان حوزه مطالعات تغییر اقلیم قرار گرفته است (Du et al., 2010; Wang et al., 2022; Yadav et al., 2022). به‌طور کلی، اندازه‌گیری زی‌توده جنگلی با استفاده از دو روش تخریبی و غیرتخریبی انجام می‌شود (Henry et al., 2010). هر چند که اجرای روش تخریبی به‌دلیل قطع و توزین درختان به‌عنوان دقیق‌ترین و بهترین روش اندازه‌گیری زی‌توده محاسبه ترسیب کربن درختان شناخته شده است (واحدی و متاجی، ۱۳۹۴؛ Ketterings et al., 2001)، اما علاوه بر تخریب پوشش گیاهی، اجرای آن در مقیاس‌های بزرگ نیازمند صرف زمان و هزینه عملیاتی فراوان است (Shrestha and Wynne, 2012). بر این اساس، اجرای روش‌های غیرمخرب و با حداکثر حدود اعتماد توسط روابط آلومتريک به‌عنوان یکی از بهترین و رایج‌ترین روش‌های برآورد زی‌توده اکوسیستم‌های جنگلی مورد توجه قرار گرفته است.

(Rubio et al., 2011; Singh et al., 2011). معادلات آلومتریک زی توده از نمونه برداری تجربی و روش های رگرسیون خطی و غیرخطی استفاده می کنند و ابزار مهمی برای کمی کردن زی توده و ذخیره کربن در اکوسیستم ها هستند (Mugasha et al., 2013). از دیگر روش های غیر مخرب برای برآورد مقادیر زی توده می توان به روابط اشاره نمود که در آن ها متغیرهایی مانند ارتفاع درخت، قطر برابر سینه و چگالی بحرانی چوب برای برآورد زی توده درخت مورد استفاده قرار می گیرد (Subedi et al., 2010; Nowak et al., 2013). اقتصاددانان منابع طبیعی معتقدند انجام ارزش گذاری اقتصادی برای خدمات و منافع بازاری و غیربازاری زیست محیطی امری ضروری است (Pache et al., 2020; عسگری، ۱۳۹۲). ارزش جذب دی اکسید کربن را می توان از طریق استفاده از روش های هزینه مبنا (نظیر روش هزینه جایگزینی^۲، روش هزینه پیشگیری^۳ و روش هزینه خسارت اجتناب شده^۴) و هزینه جنگل کاری و یا از طریق روش مالیات بر کربن برآورد کرد (ریزوندی و همکاران، ۱۳۹۶؛ مبرقی و همکاران، ۱۳۸۸؛ Xue and Tisdell, 2001). تحقیقات بسیاری به منظور برآورد ارزش اقتصادی ترسیب کربن اکوسیستم های جنگلی انجام شده است که بر پایه برآورد ارزش منافع حاصل از کنترل گرمایش جهانی توسط اکوسیستم استوار هستند (مبرقی و همکاران، ۱۳۸۸). دنگ و همکاران (Deng et al., 2011) با به کار گرفتن نرخ مالیات بر کربن معادل ۱۰۲۵ یوان در هر تن، ارزش اقتصادی ترسیب کربن گیاهی و کربن ذخیره ای گیاهی و کربن ذخیره ای در خاک در شهرستان تیانتای استان ژجیانگ در جنوب شرقی چین را به ترتیب تقریباً ۸۹۵/۲۶ میلیون یوان، ۱۳۶۹/۴۰ میلیون یوان و ۹۳۰۳/۲۱ میلیون یوان برآورد کردند. در مطالعه نواک و همکاران (Nowak et al., 2013) میزان ذخیره کربن کل در جنگل های شهری آمریکا ۶۴۳ میلیون تن و ارزش آن ۵۰/۵ میلیارد دلار برآورد شد. همچنین میزان ترسیب کربن سالانه این جنگل ها ۲۵/۶ میلیون تن تخمین زده شد و ارزش آن دو میلیارد دلار برآورد شد. نتایج مطالعه استرادا و همکاران (Estrada et al., 2015) در اکوسیستم های مانگرو در جنوب شرقی برزیل نشان داد که خدمت ترسیب کربن ممکن است تا ۴۵۵۸۲۷ دلار آمریکا در سال ارزش اقتصادی داشته باشد. در تحقیق دیگری توسط هایها و همکاران (Hayha et al., 2015) در جنگل های آلپ در شمال ایتالیا ارزش اقتصادی کل تمام خدمات اکوسیستمی مورد بررسی حدود ۳۳ میلیون یورو در سال، معادل ۸۲۰ یورو در هکتار در سال برآورد شد. همچنین در تحقیق زاپ فک و همکاران (Zapfack et al., 2016) در پارک ملی لوبکه در جنوب شرقی کامرون، ارزش اقتصادی خدمت اکوسیستمی ترسیب کربن حدود ۱۴۳۴۷۶۹۰۱۵/۶۸ دلار

² Replacement Cost Method

³ Preventive Expenditures Method

⁴ Damage Cost Avoided Method

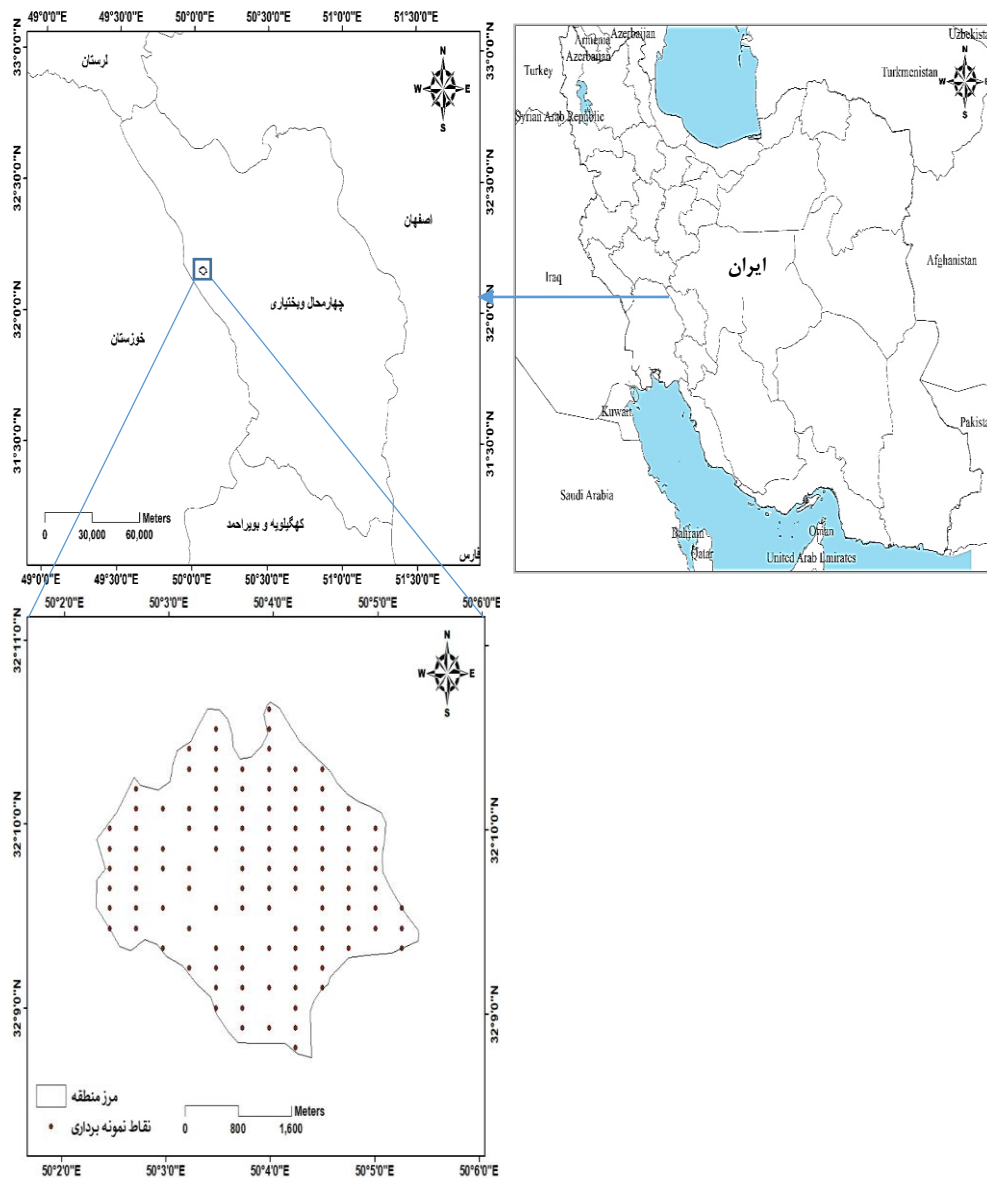
آمریکا ارزیابی شد. در مطالعه باده‌یان و همکاران (۱۳۹۳) با هدف برآورد ارزش اقتصادی کارکرد ترسیب کربن در دو توده خالص و آمیخته راش در بخش گرازین جنگل خیرود مشخص شد که توده خالص راش در جنگل‌های شمال ایران از ارزش اقتصادی معادل ۸۶۶/۶۳ دلار (هکتار/سال) و توده آمیخته راش از ارزشی معادل ۷۵۷/۱۶ دلار (هکتار/سال) از لحاظ کارکرد ترسیب کربن برخوردار هستند. در مطالعه دیگر یوسفی و همکاران (۱۳۹۶) با توجه به نرخ مالیات اعمال شده برای انتشار هر تن کربن ارزش اقتصادی سالانه هر هکتار از جنگل‌های بلوط استان کرمانشاه در غرب ایران را به‌طور میانگین مبلغی بالغ بر ۵۶/۷۳ دلار برآورد کردند. باده‌یان و منصوری (۱۳۹۷) با به‌کارگیری روش هزینه جایگزین، ارزش اقتصادی ذخیره کربن گونه بلوط ایرانی در منطقه حفاظت‌شده زاوولی واقع در استان کردستان ایران را با سه روش برآورد کردند. نتایج این مطالعه نشان داد ارزش هر هکتار از این جنگل‌ها از بعد کارکرد ذخیره کربن در روش اول ۲۷۰/۷۹ دلار، در روش دوم ۲۹۳/۰۹ دلار و در روش سوم ۷۶۱/۴۱ دلار است. نتایج مطالعه دیگری از باده‌یان و منصوری (۱۳۹۸) درباره‌گونه صنوبر جنگل‌کاری شده در شهر خرم‌آباد ایران نشان داد که ارزش اقتصادی کارکرد تنظیم گاز در این منطقه معادل ۲۴۰۰/۸۱ دلار در هر هکتار در سال برآورد شد. در مطالعه ترنیان و همکاران (۱۳۹۸) ارزش اقتصادی ترسیب کربن هر هکتار جنگل در مخزن سدهای چومان، کانی‌گویژان و سامانه انتقال آب آن‌ها در استان کردستان ایران، به‌ترتیب معادل ۴۴/۳۹، ۴۸/۸۸ و ۵۸/۳ دلار در هکتار برای سال ۱۳۹۴ برآورد شد. نتایج مطالعه مقصودلونژاد و همکاران (۱۳۹۸) در رویشگاه چهار باغ گرگان در شمال ایران نشان داد که در هر هکتار از توده جنگلی ارس ۴/۴۲ تن کربن توسط این گونه ذخیره می‌شود و ارزش اقتصادی حاصل از ذخیره کربن توسط گونه ارس در هر هکتار ۵۹۶/۰۶ دلار محاسبه شد. در مطالعه عاشورنژاد و همکاران (Ashournejad et al., 2019) هم ارزش اقتصادی خدمات اکوسیستمی جنگل‌های مانگرو در جنوب ایران در سال‌های ۱۹۸۶، ۱۹۹۸، ۲۰۰۳، ۲۰۱۵ و ۲۰۱۸ به‌ترتیب در حدود ۳/۳، ۳/۸، ۶/۷، ۶/۵ و ۵/۵ میلیون دلار در سال تخمین زده شد.

مطالعات موجود نشان داده است که یکی از عوامل اصلی تخریب، ضعف فیزیولوژیک و افت کیفی رویشگاه‌های زاگرس در غرب ایران، کاهش مقادیر بارندگی و وقوع خشکسالی ناشی از تغییر اقلیم، در سالیان اخیر است (گل‌محمدی و همکاران، ۱۳۹۶؛ Safari and Sohrabi, 2019; Henareh Khalyani et al., 2013). بر این اساس، وقوع خشکسالی در دهه‌های گذشته می‌تواند سبب افت زی‌توده و توان ترسیب کربن در این رویشگاه‌ها شده باشد. با توجه به این که یکی از کارکردهای اصلی رویشگاه‌های جنگلی، جذب و ترسیب دی‌اکسیدکربن است، اندازه‌گیری و برآورد زی‌توده درختان بلوط و ارزیابی ظرفیت آن‌ها در ذخیره‌سازی کربن اتمسفری، اهمیت به‌سزایی دارد. لذا هدف از مطالعه حاضر ارزیابی ترسیب کربن و ارزش اقتصادی آن در رویشگاه جنگلی پهنوس در غرب ایران است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

رویشگاه جنگلی پهنوس با وسعتی در حدود ۹۹۰ هکتار مساحت، در شهرستان کوه‌رنگ و در فاصله ۱۷۵ کیلومتری از مرکز استان چهارمحال و بختیاری در جنگل‌های غرب ایران و در ارتفاع ۱۸۰۰ متری از سطح دریا قرار دارد. حداقل و حداکثر دمای منطقه به ترتیب ۲ و ۳۴/۷ درجه سانتی‌گراد و میزان متوسط بارندگی سالانه نیز ۵۹۵ میلی‌متر است (IRIMO, 2020). بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindle) گونه درختی اصلی رویشگاه جنگلی پهنوس است (با قریب به ۹۰ درصد پوشش) و از گونه‌های شاخص دیگر منطقه می‌توان به زبان‌گنجشک (*Fraxinus rotundifolia*) و نارون (*Ulmus glabra*) اشاره نمود که به‌طور عمده در توده‌های انبوه پایین‌دست و نزدیک به رودخانه و اغلب در خاک‌های قهوه‌ای عمیق پراکنده شده‌اند. همچنین، از سایر گونه‌های درختی و درختچه‌ای همراه با گونه بلوط می‌توان از زالزالک (*Crataegus szovitsii* A. Pojark.)، محلب (*Cerasus*)، گز (*Tamarix ramosissima* Ledeb.)، بید (*Salix acmophylla*)، کیکم (*Acer monspessulanum* L.)، بنه (*Pistacia atlantica* var. *Mutica*) و انجیر (*Ficus carica* L. subsp. *rupestris*) نام برد (طرح ذخیره‌گاه جنگلی نازی، ۱۳۸۴).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در ایران و در استان چهارمحال و بختیاری

روش نمونه برداری

برای برآورد مقادیر زی توده روی زمینی درختان در سطح رویشگاه جنگلی پهنوس، از تعداد ۱۰۰ قطعه نمونه مربعی شکل ۳۶ آری با ابعاد ۶۰×۶۰ متر استفاده شد که بر اساس شبکه آماربرداری منظم تصادفی با ابعاد شبکه ۴۰۰×۲۰۰ متر در سطح منطقه گسترده شده بود. در محل هر یک از قطعات-نمونه، متغیرهای مورد نیاز برای برآورد زی توده درختان از قبیل قطر برابر سینه، ارتفاع درخت و قطر تاج تمامی درختان موجود در قطعات نمونه در تابستان ۱۳۹۹ اندازه گیری شد. در این مطالعه به منظور برآورد مقدار زی توده از دو روش استفاده شد. روش اول برآورد مقدار زی توده با استفاده از معادلات آلومتریک توسعه یافته توسط ایرانمنش (۱۳۹۲) بود (Safari and Sohrabi, 2019); صفری و همکاران، ۱۳۹۶) و روش دوم استفاده از معادله تبدیل حجم به زی توده روی زمینی (Brown, 1997)، است (مرادی و همکاران، ۱۳۹۷؛ ورامش و همکاران، ۱۳۸۹). پس از برآورد مقادیر زی توده برای هر یک از درختان در قطعات نمونه، میزان کربن ذخیره ای و کربن ترسیب شده هر درخت با استفاده از روابط موجود (رابطه ۵ و ۶) از روی زی توده خشک درختان برآورد گردید و در نهایت نتایج حاصل از دو روش با هم مقایسه شد.

برآورد میزان زی توده ی روی زمینی با استفاده از روابط آلومتریک

مطالعات مختلف نشان داده است که معادلات توانی تک متغیره، یکی از پرکاربردترین روابط آلومتریک موجود برای برآورد زی توده کل درخت و اجزاء مختلف آن است. در این معادلات، مقدار زی توده (وزن خشک) به عنوان متغیر وابسته و مشخصه هایی مانند قطر برابر سینه، قطر متوسط تاج و یا ارتفاع درخت که امکان اندازه گیری آن ها در عرصه وجود دارد، به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته می شوند (Pajtik et al., 2008; Suchomel et al., 2012). در این مطالعه نیز از روابط آلومتریک ارائه شده توسط ایرانمنش (۱۳۹۲) که برای گونه بلوط ایرانی موجود در رویشگاه های جنگلی استان چهارمحال و بختیاری توسعه یافته است، استفاده شد. در این مطالعه روابط توانی تک متغیره بهترین برازش را برای برآورد زی توده ارائه دادند و از بین متغیرهای مستقل استفاده شده، قطر متوسط تاج به عنوان بهترین متغیر در برآورد زی توده روی زمینی درختان تک پایه و جست گروه ها مطرح شد. بنابراین در این تحقیق، مقادیر زی توده روی زمینی هر درخت در جست گروه ها با استفاده از رابطه (۱) و مقادیر زی توده روی زمینی درختان تک پایه با استفاده از رابطه (۲) برآورد شد.

$$Y = 2.534 \times X^{2.383} \quad \text{رابطه ۱}$$

$$Y = 0.881 \times X^{3.228} \quad \text{رابطه ۲}$$

(Y: مقدار زی توده روی زمینی بر حسب کیلوگرم، X: متغیر مستقل (قطر متوسط تاج بر حسب متر)

برآورد میزان زی توده روی زمینی با استفاده رابطه تبدیل حجم به زی توده روی زمینی (روش چگالی)

در این روش پس از اندازه گیری ارتفاع درخت (H)، قطر برابر سینه (DBH) و سطح مقطع (g) درختان در قطعات نمونه، حجم درختان سرپا با استفاده از رابطه (۳) محاسبه شد (باده یان و منصوری، ۱۳۹۷؛ زبیری، ۱۳۸۴). سپس با استفاده از رابطه تبدیل حجم به زی توده روی زمینی (Brown, 1997)، مقدار زی توده درخت محاسبه شد (رابطه ۴).

$$V = g \times H \times f \quad \text{رابطه ۳}$$

$$AGB = V \times WD \quad \text{رابطه ۴}$$

که در این رابطه؛ V: حجم درخت بر حسب مترمکعب، g: سطح مقطع درخت بر حسب مترمربع، H: ارتفاع درخت بر حسب متر، f: ضریب شکل درخت است که ۰/۵ در نظر گرفته شد (نمیرانیان، ۱۳۸۶؛ زبیری، ۱۳۸۴): زی توده روی زمینی درخت بر حسب کیلوگرم، WD: چگالی بحرانی بر حسب گرم بر سانتی متر مکعب است. چگالی بحرانی گونه بلوط ایرانی در منطقه مورد مطالعه برابر با ۰/۹ گرم بر سانتی متر مکعب در نظر گرفته شد (سعیدی و همکاران، ۱۳۹۶).

برآورد زی توده کل درخت، کربن ذخیره شده و کربن ترسیب شده

مطالعات موجود نشان می دهد که میزان زی توده اندام های زیر زمینی درخت برابر با یک پنجم زی توده اندام های هوایی آن است (MacDicken, 1997; Subedi et al., 2010; Kebede and Soromessa, 2018). لذا در این مطالعه نیز پس از برآورد زی توده روی زمینی درختان، ۲۰ درصد آن به عنوان زی توده زیر زمینی (BGB) در نظر گرفته شد و در نهایت از جمع زی توده روی زمینی و زیر زمینی، مقدار زی توده کل درخت برآورد گردید. با توجه به این که اغلب ۵۰ درصد زی توده خشک گیاهان به عنوان مقدار کربن ذخیره ای آن ها در نظر گرفته می شود (Brown, 1997; Pearson et al., 2005; Suryawanshi et al., 2014; Rana et al., 2020; Fan et al., 2020)، لذا در این مطالعه نیز برای محاسبه مقدار کربن ذخیره ای موجود در زی توده درخت، از ضریب ۵۰ درصد برای تبدیل زی توده خشک درخت به میزان کربن ذخیره ای هر درخت استفاده شد (رابطه ۵).

$$\text{رابطه ۵} \quad ۰/۵ \times \text{میزان زی توده خشک} = \text{کربن ذخیره ای}$$

از آنجایی که هر تن کربن ذخیره شده در درختان، حاصل حذف ۳/۶۷ تن دی اکسید کربن از اتمسفر است (Vishnu and Patil, 2016; Flora et al., 2018)، بنابراین با استفاده از رابطه (۶) میزان دی اکسید کربن ترسیب شده در هر درخت نیز محاسبه شد.

رابطه ۶ $\text{کربن ذخیره‌ای} = \text{دی اکسید کربن ترسیب شده} \times ۳/۶۷$

در نهایت برای برآورد مقادیر ترسیب کربن سالانه در هر درخت، مقدار کل دی اکسید کربن ترسیب شده به طول عمر درخت تقسیم شد. به منظور محاسبه سن درخت، تعداد ۹ پلات با کمترین تغییرات قطری (بیشترین هم‌سنی) طوری انتخاب شدند تا از تمام اندازه‌های میانگین طبقات قطری به دست آمده، نماینده‌ای در آن‌ها یافت شود. با استفاده از یک مته سال سنج ۲۰ سانتی‌متری، سن قطورترین جست پایه در آن پلات در محل ارتفاع برابر سینه اندازه‌گیری شد. شمارش حلقه‌ها از محل پوست تا مجاورت مغز تنه انجام و یک مدل لگاریتمی از نقاط قطر-سن به دست آمده برازش شد. سپس با استفاده از مدل به دست آمده متوسط سن هر پلات با استفاده از متوسط اندازه قطر برابر سینه (DBH) جست‌های آن پلات به دست آمد (Loewenstein et al., 2000; Von Gadow and Hui, 2001).

ارزش‌گذاری اقتصادی کارکرد ترسیب کربن

مرور مطالعات انجام شده بر روی ارزش‌گذاری کارکرد ترسیب کربن نشان می‌دهد که مقدار عددی یکسان و مورد توافقی در رابطه با نرخ مالیات بر کربن وجود ندارد و متغیرهایی همانند نوع رویشگاه، روش مدل‌سازی، فرضیات تحقیق و روش‌های گوناگون ارزش‌گذاری سبب ارائه اعداد متفاوت در این زمینه می‌شود (Thorsen et al., 2014; Ramstein et al., 2019; Wang et al., 2019). در این رابطه تورسن و همکاران (Thorsen et al., 2014)، در یک مطالعه مروری نتایج حاصل از ۴۷ تحقیق را با به کارگیری روش‌های متفاوتی برای برآورد هزینه اجتماعی کربن (SCC)^۵ به کار گرفتند؛ براساس نتایج این مطالعه این ارزش بسیار متفاوت بود که میانگین آن ۴۹ یورو برای هر تن گاز دی اکسید کربن گزارش شد. پاری و همکاران (Parry et al., 2014)، نیز میانگین قیمت کربن برای ۲۰ کشور که بیشترین سهم را در انتشار گاز دی اکسید کربن داشتند (از جمله ایران) را با استفاده از داده‌ها و فرمول‌های مختلف، ۵۷/۵ دلار به ازای هر تن دی اکسید کربن (برای سال ۲۰۱۰) به دست آوردند. نتایج این مطالعه نیز نشان داد که این عدد (قیمت دی اکسید کربن) در بین این ۲۰ کشور دامنه‌ای بسیار متغیر دارد. براساس مطالعه رامستین و همکاران (Ramstein et al., 2019)، قیمت کربن به طور قابل توجهی متفاوت است و بین ۱ تا ۱۲۷ دلار آمریکا به ازای هر تن دی اکسید کربن متغیر است.

⁵ social cost of carbon

آن‌ها همچنین بیان کردند حداقل قیمت کربن تا سال ۲۰۲۰ به‌طور میانگین ۶۰ دلار و تا سال ۲۰۳۰ به‌طور میانگین ۷۵ دلار لازم است. همچنین به‌منظور تحقق هدف جلوگیری از افزایش دما زمین بیش از ۲ درجه سانتی‌گراد (توافق‌نامه پاریس) به‌طوری‌که رشد اقتصادی نیز پایدار بماند گروهی از اقتصاددانان به رهبری استرن و استیگلیتز نیز پیشنهاد کردند که قیمت کربن بین ۴۰ تا ۸۰ (به‌طور میانگین ۶۰) دلار به ازای هر تن دی‌اکسیدکربن تا سال ۲۰۲۰ و بین ۵۰ تا ۱۰۰ (به‌طور میانگین ۷۵) دلار به ازای هر تن دی‌اکسیدکربن تا سال ۲۰۳۰ باشد (Postic and Clement, 2019). ونگ و همکاران (Wang et al., 2019)، نیز یک مطالعه مروری با استفاده از روش متا آنالیز، به‌منظور برآورد هزینه اجتماعی کربن انجام دادند. در این مطالعه ۵۷۸ تخمین SCC از ۵۸ مطالعه بررسی شد. نتایج نشان داد دامنه SCC تخمین زده شده برای هر تن دی‌اکسیدکربن بسیار متغیر است و میانگین آن ۵۴/۷ دلار برای هر تن دی‌اکسیدکربن بود. با توجه به مرور منابع انجام شده، در این مطالعه مالیات اعمال شده برای هر تن کربن برابر با مقدار میانگین ۶۰ دلار در نظر گرفته شد (Ramstein et al., 2019; Postic and Clement, 2019) و با ضرب این عدد در مقدار دی‌اکسیدکربن ترسیب‌شده، ارزش اقتصادی ترسیب کربن رویشگاه جنگلی پهنوس برای سال ۲۰۲۰ برآورد گردید. در پایان برای بررسی تفاوت میان مقادیر زی‌توده، کربن ذخیره‌ای، کربن ترسیب‌شده و ارزش اقتصادی محاسبه شده با استفاده از روش‌های آلومتریک و چگالی، از آزمون t (ت جفتی) استفاده شد و تفاوت احتمالی میان مقادیر میانگین‌ها در کل قطعات نمونه بررسی شد (باده‌یان و منصوری، ۱۳۹۷).

نتایج

بر اساس مطالعات موجود (Safari and Sohrabi, 2019؛ صفری و همکاران، ۱۳۹۶؛ عسگری، ۱۳۹۵؛ ایرانمنش، ۱۳۹۲)، اندازه‌گیری قطر متوسط تاج می‌تواند به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص جهت برآورد زی‌توده‌ها استفاده از معادلات آلومتریک رویشگاه‌های زاگرس در غرب ایران مورد استفاده قرار گیرد. نتایج این مطالعه نیز نشان داد که متوسط قطر تاج مهم‌ترین متغیر برای برآورد زی‌توده‌ها استفاده از روش آلومتریک بود و ارتفاع کل و قطر برابر سینه نیز مهم‌ترین متغیرهای برآورد زی‌توده‌ها استفاده از روش چگالی بودند که محققان مختلف برای برآورد زی‌توده‌مورد استفاده قرار داده‌اند (Subedi et al., 2010; Nowak et al., 2013). همان‌طور که جدول (۱) نشان می‌دهد، میانگین متوسط قطر تاج، ارتفاع کل و قطر برابر سینه درختان در قطعات نمونه به‌ترتیب برابر با ۵/۸۲ متر، ۶/۱۹ متر و ۲۴/۷ سانتی‌متر و تراکم درختان بلوط در منطقه مورد مطالعه نیز ۱۲۱ اصله درخت در هکتار بود.

جدول ۱- خلاصه وضعیت مشخصه‌های کمی بلوط ایرانی در منطقه مورد مطالعه

مشخصه‌های کمی	حداقل	حداکثر	میانگین
تعداد در هکتار	۳۹	۲۲۵	۱۲۱
متوسط قطر تاج (متر)	۴/۵۵	۹/۳۱	۵/۸۲
ارتفاع کل (متر)	۴/۸۵	۱۰/۹۱	۶/۱۹
قطر برابر سینه (سانتی‌متر)	۱۵/۴۱	۳۴/۸۸	۲۴/۷

نتایج محاسبه سن درخت با استفاده از مدل لگاریتمی به‌دست‌آمده (رابطه ۷) نشان داد که متوسط سن پلات‌ها در این مطالعه ۶۶/۲ سال است که دامنه آن از ۴۸ سال برای جوان‌ترین تا ۸۰/۳ برای مسن‌ترین پلات‌ها متغیر بود.

$$\text{رابطه ۷} \quad \text{Age} = 39.556 \times \ln(\text{DBH}) - 60.209$$

نتایج همچنین نشان داد که میانگین مقدار زی‌توده، کربن ذخیره‌ای، کربن ترسیب شده و ارزش اقتصادی برآورد شده رویشگاه جنگلی پهنوس در روش آلومتریک بیشتر از روش چگالی است (جدول ۲). میانگین مقادیر زی‌توده در روش آلومتریک برابر با ۳۰/۰۹ تن در هکتار و در روش چگالی برابر با ۲۶/۷۴ تن در هکتار برآورد گردید. همچنین، میانگین مقادیر کربن ذخیره‌ای نیز در روش آلومتریک و چگالی به‌ترتیب برابر با ۱۵/۰۵ و ۱۳/۳۷ تن در هکتار برآورد شد. میانگین مقدار کربن ترسیب شده در سال در روش آلومتریک برابر با ۰/۸۳ تن در هکتار در سال برآورد گردید و ارزش اقتصادی آن برابر با ۵۰/۰۵ دلار در هکتار برای سال ۲۰۲۰ به‌دست آمد. اجرای روش چگالی نشان داد که میانگین مقدار کربن ترسیب‌شده برابر با ۰/۷۴ تن در هکتار در سال بود و مقدار ارزش اقتصادی آن در سال ۱۳۹۹ برابر با ۴۴/۴۷ دلار در هکتار در سال محاسبه شد. در نهایت، ارزش اقتصادی ترسیب کربن کل رویشگاه جنگلی پهنوس نیز در روش‌های آلومتریک و چگالی به‌ترتیب برابر با ۴۹۵۴۷/۴ دلار و ۴۴۰۲۸/۶ دلار در سال ۱۳۹۹ برآورد شد.

جدول ۲- نتایج زی توده، کربن ذخیره ای، ترسیب کربن و ارزش گذاری ترسیب کربن در منطقه مورد مطالعه (میانگین \pm اشتباه معیار)

فاکتور بررسی شده	روش آلومتريک	روش چگالی
زی توده (تن در هکتار)	۳۰/۰۹ \pm ۱/۳	۲۶/۷۴ \pm ۱/۶
زی توده کل عرصه (تن)	۲۹۷۹۱/۴۱	۲۶۴۷۳/۲۶
کربن ذخیره ای (تن در هکتار)	۱۵/۰۵ \pm ۰/۶	۱۳/۳۷ \pm ۰/۸
کربن ذخیره ای کل عرصه (تن)	۱۴۸۹۵/۷۱	۱۳۲۳۶/۶۳
ترسیب کربن (تن در هکتار در سال)	۰/۸۳ \pm ۰/۰۳	۰/۷۴ \pm ۰/۰۴
ترسیب کربن کل (تن در سال)	۸۲۵/۷۹	۷۳۳/۸۱
ارزش گذاری ترسیب کربن (برحسب دلار در هکتار برای سال ۱۳۹۹)	۵۰/۰۵ \pm ۲/۲۲	۴۴/۴۷ \pm ۲/۶۶
ارزش گذاری ترسیب کربن کل (برحسب دلار برای سال ۱۳۹۹)	۴۹۵۴۷/۴	۴۴۰۲۸/۶

نتایج بررسی تفاوت میان مقادیر میانگین زی توده، کربن ذخیره ای، کربن ترسیب شده و ارزش اقتصادی (در هکتار) محاسبه شده در دو روش آلومتريک و چگالی در کل قطعات نمونه (۱۰۰) با استفاده از آزمون t نشان داد که اختلاف معنی داری در سطح آماری یک درصد میان نتایج این دو روش وجود دارد ($p \leq 0.01$)، نتایج این آزمون در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین زی توده، کربن ذخیره ای، کربن ترسیب شده و ارزش اقتصادی (در هکتار) محاسبه شده در دو روش آلومتريک و چگالی با استفاده از آزمون t

فاکتور بررسی شده	T	درجه آزادی	P-value
زی توده	۳/۹۴	۹۹	۰/۰۰۱
کربن ذخیره ای	۳/۴۹	۹۹	۰/۰۰۱
کربن ترسیب شده	۳/۵۰	۹۹	۰/۰۰۱
ارزش اقتصادی	۳/۴۹	۹۹	۰/۰۰۱

بحث و نتیجه گیری

ذخیره و ترسیب کربن به عنوان یکی از مهم ترین خدمات ارائه شده توسط اکوسیستم های جنگلی، قدرتمندترین ابزار برای سازگاری و کاهش تغییرات آب و هوایی است. مدیریت پایدار جنگل از طریق ذخیره کربن، یکی از مقرون به صرفه ترین و کم هزینه ترین راه حل های کاهش تغییرات آب و هوایی با مجموعه ای از مزایای مشترک زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی است (Change, 2014; Pache et al., 2020). برآورد مقدار ترسیب کربن و ارزش گذاری این کارکرد اکوسیستمی در رویشگاه های

جنگلی نقش مهمی در فراهم آوردن اطلاعات حیاتی جهت توسعه برنامه‌های سازگاری با تغییر اقلیم و نیز توسعه راهبردهای مدیریتی مقابله با گرمایش جهانی بر عهده دارد (Deng et al., 2011; Liu et al., 2017). لذا در این مطالعه نیز اقدام به برآورد مقدار ترسیب کربن و ارزش‌گذاری آن در رویشگاه جنگلی پهنوس استان چهارمحال و بختیاری شد. نتایج این مطالعه با اجرای دو روش آلومتریک و چگالی نشان داد که مقدار ذخیره کربن رویشگاه جنگلی پهنوس برابر با $14/21$ تن در هکتار (میانگین دو روش) بود. باده‌یان و منصوری (۱۳۹۷)، در مطالعه‌ای برای تعیین ارزش اقتصادی ذخیره کربن گونه بلوط ایرانی در منطقه حفاظت‌شده زاولی در استان کردستان در غرب ایران، میزان زی‌توده‌های ذخیره کربن را با سه روش محاسبه کردند و مقدار میانگین ذخیره کربن برابر با $8/2$ تن در هکتار برآورد گردید که این مقدار کمتر از مقدار برآوردی در مطالعه حاضر است. البته با توجه به این‌که در هر دوی این مطالعات نوع گونه یکسان بود (بلوط ایرانی)، این اختلاف می‌تواند ناشی از اندازه درخت، سلامت درخت، شرایط رویشگاهی، وضعیت تاج، پوشش بهتر و میزان تراکم بیشتر در منطقه مورد مطالعه باشد. به‌طور کلی مقایسه نتایج این دو مطالعه، نشان‌دهنده توان بالای ذخیره کربن در رویشگاه جنگلی پهنوس استان چهارمحال و بختیاری در مقایسه با رویشگاه‌های جنگلی مشابه در سطح کشور ایران است. در مطالعه صفری و سهرابی (Safari and Sohrabi, 2019) نیز ذخیره کربن روی زمینی جنگل‌های بلوط استان کرمانشاه در غرب ایران $8/07$ تن در هکتار برآورد شد که این مقدار در مقایسه با مطالعه حاضر کمتر است و این اختلاف می‌تواند به این دلیل باشد که در مطالعه صفری و سهرابی (Safari and Sohrabi, 2019) فقط ذخیره کربن روی زمینی محاسبه شده است، همچنین در یکی از مناطق مطالعاتی شدت دست‌خوردگی و دخالت انسانی شدید بود. در مطالعه مقصودلونژاد و همکاران (۱۳۹۸) نیز میزان ذخیره کربن هر هکتار از توده جنگلی ارس در رویشگاه چهار باغ گرگان در شمال ایران $4/42$ تن برآورد شد که در مقایسه با ذخیره کربن برآورده شده در مطالعه حاضر، خیلی کمتر است. این مقایسه نشان‌دهنده توان بالای ذخیره کربن گونه بلوط ایرانی نسبت به گونه‌های دیگر نظیر ارس است. با توجه به این‌که ارس یک گونه سوزنی‌برگ است و بلوط یک گونه پهن‌برگ، این مورد می‌تواند یکی از دلایل اختلاف در میزان ذخیره کربن دو گونه باشد. زیرا میزان خالص جذب دی‌اکسید کربن توسط درختان پهن‌برگ معمولاً بیشتر از درختان سوزنی‌برگ است (Malmshiemer et al., 2008). البته عوامل مختلفی از جمله عوامل اقلیمی، توپوگرافی، ویژگی‌های خاک، ترکیب جامعه گیاهی و اعمال مدیریتی مختلف در دو منطقه می‌تواند بر میزان ذخیره کربن گونه‌های مختلف تاثیر گذار باشد. به‌طور کلی مقدار ترسیب کربن در گونه‌های مختلف متفاوت است و این مقدار به نوع گونه و میزان محصول بستگی دارد. احتمالاً ویژگی‌های بیولوژیکی متفاوت این دو گونه نیز می‌تواند دلیل موجهی برای اختلاف مشاهده شده در ذخیره کربن آن‌ها باشد (ورامش و همکاران، ۱۳۹۰). در

این راستا جعفری سرابی و همکاران، ۱۴۰۰ نیز در مطالعه‌ای تغییرات ترسیب کربن و برخی از ویژگی‌های خاک را در تیپ‌های جنگلی بلوط ایرانی، دارمازو و گلابی وحشی را در جنگل‌های زاگرس میانی (جنگل‌های استان لرستان) بررسی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که تغییرات ترسیب کربن و عناصر غذایی خاک در تیپ‌های جنگلی مورد مطالعه بیشتر تحت تأثیر نوع تیپ جنگلی و ارتفاع تاج پوشش قرار می‌گیرد. میزان ترسیب کربن در مطالعه حاضر ۰/۷۹ تن در هکتار در سال (میانگین دو روش) برآورد شد که این مقدار در مقایسه با مطالعه ترینان و همکاران (۱۳۹۸) بیشتر است. ترینان و همکاران، میزان ترسیب کربن در هر هکتار جنگل‌های استان کردستان در غرب ایران را به ترتیب ۰/۳۳، ۰/۳۷ و ۰/۴۴ تن در هکتار در سال برآورد کردند. این تفاوت می‌تواند به دلیل اختلاف تراکم درختان در هکتار در دو منطقه باشد، به‌طوری‌که در مطالعه ترینان و همکاران تراکم درختان در هکتار کمتر از مطالعه حاضر بود. در مطالعه دیگری یوسفی و همکاران (۱۳۹۶)، میزان ترسیب کربن در هر هکتار از جنگل‌های کرمانشاه در غرب ایران در سال را حدود ۶ تن برآورد کردند، مقایسه این مقدار با ترسیب کربن به‌دست‌آمده در مطالعه حاضر حاکی از این است که نتایج این دو مطالعه با یکدیگر هم‌خوانی ندارند، از جمله دلایل اختلاف بین مقادیر دو مطالعه این است که در مطالعه حاضر فقط ترسیب کربن زی‌توده‌درخت (زی‌توده‌روی زمینی و زی‌توده‌زیر زمینی) برآورد شده است درحالی‌که در مطالعه یوسفی و همکاران (۱۳۹۶) علاوه بر ترسیب کربن زی‌توده‌درخت، ترسیب کربن خاک و لاشبرگ هم در نظر گرفته شده است. همچنین تراکم درختان در هکتار در مطالعه یوسفی و همکاران (۱۴۵) اصله درخت در هکتار) در مقایسه با مطالعه حاضر (۱۲۱ اصله درخت در هکتار) بیشتر بوده است. نکته دیگری در مطالعه یوسفی و همکاران (۱۳۹۶) تعداد زیاد درختان دانه‌زاد در منطقه مورد مطالعه بود، ولی در مطالعه حاضر بیش از ۹۰ درصد درختان منطقه شاخه‌زاد بودند و معمولاً مقدار کربن ترسیب شده در درختان دانه‌زاد بیشتر از درختان شاخه‌زاد است، به‌طوری‌که در مطالعه ایرانمنش و همکاران (۱۳۹۳) و مطالعه یوسفی و همکاران (۱۳۹۶)، نیز مشخص شد که توان تولید زی‌توده ترسیب کربن در فرم رویشی دانه‌زاد تقریباً ۲/۵ برابر فرم شاخه‌زاد است. ارزش اقتصادی ترسیب کربن هر هکتار از رویشگاه جنگلی پهنوس حدود ۴۷ دلار برای سال ۱۳۹۹ برآورد شد، این مقدار کمتر از مقدار برآورد شده در مطالعه یوسفی و همکاران (۱۳۹۶) است که با استفاده از نرخ مالیات بر کربن، ارزش اقتصادی هر هکتار از جنگل‌های کرمانشاه در غرب ایران را حدود ۵۷ دلار برآورد کردند. البته در آن مطالعه میزان ترسیب نیز بیشتر بود. کل ترسیب کربن رویشگاه جنگلی پهنوس در مطالعه حاضر ۷۷۹/۸ تن در سال (میانگین دو روش) بود که ارزش اقتصادی آن برای سال ۲۰۲۰ حدود ۴۶۷۸۸ دلار برآورد شد. در مطالعه ترینان و همکاران (۱۳۹۸)، هم کل ترسیب کربن منطقه مورد مطالعه ۳۴۳/۷۷ تن در سال برآورد شد که ارزش اقتصادی این میزان ترسیب کربن در سال ۲۰۱۵ معادل ۴۵۴۱۸/۸۹ دلار بود که

این مقدار تقریباً مشابه مطالعه حاضر بود و در سال ۲۰۲۰ برابر با ۶۳۰۸۱/۸ دلار بود که این مقدار بیشتر از مطالعه حاضر است. با توجه به این که ترسیب کربن کل در مطالعه حاضر بیشتر از مطالعه ترنیا و همکاران است، ولی بالا بودن ارزش اقتصادی ترسیب کربن در مطالعه ترنیا و همکاران می تواند به این دلیل باشد که در آن مطالعه برای ارزش گذاری ترسیب کربن از رهیافت هزینه اجتماعی کربن استفاده شد که ۱۳۲/۱۲ دلار در هر تن کربن برای سال ۲۰۱۵ و ۱۸۳/۵ دلار در هر تن برای سال ۲۰۲۰ به عنوان هزینه اجتماعی کربن در نظر گرفته شد. اما در مطالعه حاضر برای ارزش گذاری ترسیب کربن از میانگین نرخ مالیات بر کربن استفاده شد که براساس مرور منابع انجام شده (Ramstein et al., 2019; Postic and Clément, 2019)، برای سال ۲۰۲۰ عدد ۶۰ دلار در نظر گرفته شد. مطالعات مذکور این عدد را با توجه به هزینه هایی که باید برای کاهش آلودگی و آثار مخرب و محیط زیستی انتشار دی اکسید کربن هزینه کرد در نظر گرفته اند.

در سایر مطالعات مشابه انجام شده بر روی جنگل های بلوط در جهان نیز ماکینزی و همکاران (Makineci et al., 2015) مقدار ذخیره کربن سه گونه بلوط (*Quercus petraea* (Mattuschka) , *Quercus frainetto* Ten. , *Quercus cerris* L. Liebl.) در جنگل های شمال غربی ترکیه را در جنگل های با قطر کم (۰-۸ سانتی متر) ۱۳/۱ تن در هکتار، در جنگل های با قطر متوسط (۲۰-۸۸ سانتی متر) ۵۴/۱ تن در هکتار و در جنگل های با قطر بزرگ (۲۰-۳۶ سانتی متر) ۸۸/۹ تن در هکتار برآورد کردند. در مطالعه کوتیلاس و همکاران (Cotillas et al., 2016) بر روی دو گونه بلوط (*Quercus ilex*, *Quercus cerrioides*) در جنگل های کاتالونیای مرکزی در شمال شرق اسپانیا، میزان ذخیره کربن ۴۳/۲ تن در هکتار برآورد شد. در مطالعه ظاهر و همکاران (Zaher et al., 2019) مقدار ذخیره کربن جنگل های طبیعی بلوط مدیترانه ای جنوبی (مراکش) را در گونه *Quercus rotundifolia* ۶۳/۵۱ تن در هکتار و در گونه *Quercus suber* ۱۶۳/۹۹ تن در هکتار برآورد شد. پودل و همکاران (Poudel et al., 2020) مقدار ذخیره کربن در جنگل های بلوط (*Quercus semecarpifolia*, *Quercus lamellosa*) در منطقه حفاظت شده پانچاس در نپال را ۱۲۷/۶ تن در هکتار برآورد کردند. مقایسه این نتایج با نتایج مطالعه حاضر بر تفاوت آشکار در مقدار ذخیره کربن این مطالعات دلالت دارد به طوری که مقدار ذخیره کربن در مطالعه حاضر پایین تر از مقادیر گزارش شده از دیگر نقاط جهان است و نتایج مطالعات سایر نقاط جهان هم راستا با مطالعه حاضر نیست. از جمله دلایل این اختلاف می توان به این مورد اشاره کرد که در اکثر مطالعات ذکر شده علاوه بر ذخیره ی کربن زی تودهری زمینی و زیر زمینی درختان، ذخیره ی کربن درخچه ها، گیاهان علفی، خاک و لاشبرگ را نیز محاسبه کردند. همچنین درختان موجود در این مطالعات قطورتر بودند و نتایج نشان

داد که ذخیره‌ی کربن زی‌توده درختان همبستگی بالایی با قطر در ارتفاع برابر سینه درختان دارد (Makineci et al., 2015; Zaher et al., 2019).

به‌طور کلی نتایج نشان داد اگرچه مقدار ذخیره‌ی کربن برآورده شده این مطالعه در مقایسه با مطالعات انجام شده بر روی گونه‌های بلوط در سایر نقاط جهان کمتر است، مقایسه این نتایج با دیگر رویشگاه‌های جنگلی مشابه در سطح کشور ایران نشان‌دهنده توان بالای ترسیب کربن رویشگاه جنگلی پهنوس است که ارزش محیط زیستی این جنگل‌ها را بیشتر از پیش آشکار می‌کند. مدیریت صحیح جنگل‌های موجود می‌تواند رشد آن‌ها را بهبود بخشد و با جلوگیری از مرگ و میر زود هنگام و پوسیدگی درختان، با حفاظت و گسترش مخازن کربن جنگلی به کاهش تغییرات آب‌وهوایی کمک کند (Yousefpour et al., 2019; Kauppi et al., 2022). در نهایت با توجه به نقش این جنگل‌ها در ذخیره‌ی کربن اتمسفری، پیشنهاد می‌شود با کمک افراد بومی برنامه‌های حفاظتی برای این جنگل‌ها تدوین شود و از تبدیل آن‌ها به سایر کاربری‌ها جلوگیری شود. همچنین در مطالعات آتی به برآورد و ارزش‌گذاری دیگر کارکردهای اکوسیستمی رویشگاه جنگلی پهنوس پرداخته شود.

سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت مالی دانشگاه لرستان انجام شده است. بدین وسیله نگارندگان از مسئولان دانشگاه لرستان سپاسگزارند.

منابع

- ایرانمنش، ی. ۱۳۹۲. ارزیابی روش‌های برآورد زی‌توده و ترسیب کربن گونه بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindle) در جنگل‌های استان چهارمحال و بختیاری، پایان‌نامه دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۰۶ صفحه.
- ایرانمنش، ی.، ثاقب طالبی، خ.، سهرابی، ه.، جلالی، س. غ. ع.، حسینی، س. م. ۱۳۹۳. زی‌توده و اندوخته کربن روی‌زمینی در دو فرم رویشی بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindle) در جنگل‌های لردگان استان چهارمحال و بختیاری. فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۲۲ (۴): ۷۴۹-۷۶۲.
- باده‌یان، ض.، مشایخی، ز.، زبردست، ل.، مبرقی، ن. ۱۳۹۳. برآورد ارزش اقتصادی کارکرد ترسیب کربن در دو توده جنگلی خالص و آمیخته راش (مطالعه موردی: جنگل خیرود نوشهر. پژوهش‌های محیط‌زیست، ۵ (۹): ۱۴۷-۱۵۶.
- باده‌یان، ض.، منصوری، م. ۱۳۹۸. مقایسه ارزش اقتصادی کارکرد بازاری و غیربازاری برخی از ارقام صنوبر. مجله صنایع چوب و کاغذ ایران، ۱۰ (۱): ۲۱۷-۲۲۲.
- باده‌یان، ض.، منصوری، م. ۱۳۹۷. به کارگیری روش هزینه جایگزین جهت تعیین ارزش اقتصادی ذخیره کربن گونه بلوط ایرانی در منطقه حفاظت‌شده زاولی. نشریه حفاظت زیست بوم گیاهان، ۷ (۱۴): ۱۵۱-۱۶۸.

- ترینیان، ف.، آملی کندری، ع.ر.، منصوری، م.، اسدالهی، ز.، میرزایی موسی‌وند، ا. ۱۳۹۸. ارزش‌گذاری اقتصادی میزان ترسیب کربن در مخزن سدهای چومان، کانی گویشان و سامانه انتقال آب آن‌ها در استان کردستان. نشریه حفاظت زیست‌بوم گیاهان، ۷ (۱۵): ۷۱-۸۷.
- جعفری سرابی، ح.، پيله ور، ب.، ابراری واجاری، ک.، واعظ موسوی، س. م. ۱۴۰۰. تغییرات ترسیب کربن و برخی ویژگی‌های خاک در تیپ‌های جنگلی زاگرس میانی (مطالعه موردی: جنگل‌های استان لرستان). نشریه بوم‌شناسی جنگل‌های ایران، ۹ (۱۷): ۱۴۲-۱۵۱.
- ریزوندی، و.، جورغلامی، م.، مجنونیان، ب.، زاهدی امیری، ق. ۱۳۹۶. کاهش ارزش اقتصادی ترسیب کربن در اثر فعالیت‌های بهره‌برداری در مسیرهای چوبکشی (مطالعه موردی: بخش گرازبن جنگل خیرود). نشریه جنگل و فرآورده‌های چوب، مجله‌ی منابع طبیعی ایران، ۷۰ (۳): ۴۸۹-۴۹۸.
- زبیری، م. ۱۳۸۴. آماربرداری در جنگل (اندازه‌گیری درخت و جنگل). انتشارات دانشگاه تهران، ۴۰۵ صفحه.
- سعیدی، ص.، بهمنی، م.، کول، ف.، ایرانمنش، ی.، عباسی، م. ۱۳۹۶. بررسی ویژگی‌های بیومتری، فیزیکی و شیمیایی چوب بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindle) (مطالعه موردی: شهرستان لردگان). نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل، ۲۴ (۳): ۱۷۱-۱۸۲.
- صفری، ا.، سهرابی، ه.، شتایی جویباری، ش.، علوی، س. ج. ۱۳۹۶. مدلسازی ناپارامتریک تصاویر لندست ۸ برای برآورد اندوخته کربن روی‌زمینی جنگل‌های زاگرس. نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل، ۲۴ (۴): ۲۱۵-۱۹۹.
- طرح ذخیره‌گاه جنگلی نازی، ۱۳۸۴. اداره منابع طبیعی و آبخیزداری شهرستان گوه‌رنگ.
- عسگری، ح. ۱۳۹۲. ارزش‌گذاری اقتصادی-حسابداری جنگل‌های بلوط در استان ایلام. مجله اقتصاد منابع طبیعی، ۲ (۲): ۷۷-۸۸.
- عسگری، ی. ۱۳۹۵. برآورد ترسیب کربن در جنگل‌های غرب براساس زی‌توده دو گونه بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindle) و *Amygdalus arabica olive*. پایان‌نامه دکتری، دانشگاه شهرکرد، ۱۳۲ صفحه.
- گل‌محمدی، ف.، حسن‌زاد ناورودی، ا.، بنیاد، ا.، میرزایی، ج. ۱۳۹۶. تأثیر برخی عوامل محیطی بر شدت خشکیدگی درختان در زاگرس میانی (مطالعه موردی: تنگه دالاب، استان ایلام). مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران)، ۳۰ (۳): ۶۴۴-۶۵۵.
- مبرقعی، ن.، شرزه‌ای، غ.، مخدوم فرخنده، م.، یآوری، ا.، جعفری، ح.ر. ۱۳۸۸. ارائه الگوی ارزش‌گذاری مکانی کارکرد جذب گاز دی‌اکسیدکربن در جنگل‌های خزری ایران. محیط‌شناسی، ۳۵ (۵۱): ۵۷-۶۸.
- مرادی، ف.، درویش‌صفت، ع.ا.، نمرانیان، م.، رنورد، ق. ۱۳۹۷. قابلیت داده‌های سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ در برآورد زی‌توده روی زمینی توده‌های مم‌رز (*Carpinus betulus* L.) در جنگل خیرود. فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۲۶ (۳): ۴۰۶-۴۲۰.

مقصودلونژاد، م.، بنیاد، ا.ا.، شتایی، ش. ۱۳۹۸. برآورد موجودی و ارزش اقتصادی ذخیره کربن گونه ارس (*Juniperus excelsa* M. Bieb) در رویشگاه چهار باغ گرگان. نشریه جنگل و فرآورده‌های چوب. مجله منابع طبیعی ایران، ۷۲ (۴): ۳۰۱-۳۱۱.

نمیرانیان، م. ۱۳۸۶. اندازگیری درخت و زیست سنجی جنگل. انتشارات دانشگاه تهران، ۵۹۴ صفحه.
واحدی، ع.ا.، متاجی، ا. ۱۳۹۴. بررسی امکان برآورد ترسیب کربن تنه‌ی درختان راش شرقی در جنگل‌های هیرکانی با استفاده از روش‌های غیرتخریبی. مجله جنگل ایران، انجمن جنگلبانی ایران، ۷ (۴): ۴۴۷-۴۵۸.
ورامش، س.، حسینی، س.م.، سفیدی، ک. ۱۳۸۹. ارزیابی مقدار ترسیب کربن در بیومس، لاشبرگ و خاک توده-های اقلایا و سرو نقره‌ای اطراف تهران. فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، ۱۶ (۹۳): ۳۴۳-۳۵۳.
ورامش، س.، حسینی، س.م.، عبدی، ن. ۱۳۹۰. برآورد نیروی جنگل شهری در ترسیب کربن اتمسفری. نشریه محیط‌شناسی، ۳۷ (۵۷): ۱۲۰-۱۱۳.

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

- Ashournejad, Q., Amiraslani, F., Moghadam, M.K., Toomanian, A. 2019. Assessing the changes of mangrove ecosystem services value in the Pars Special Economic Energy Zone. *Ocean & Coastal Management*, 179: 104838.
- Brown, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer (Vol. 134). Food & Agriculture Org.
- Change, I. C. 2014. Mitigation of climate change. Contribution of working group III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, 1454, 147.
- Cotillas, M., Espelta, J. M., Sanchez-Costa, E., Sabaté, S. 2016. Aboveground and belowground biomass allocation patterns in two Mediterranean oaks with contrasting leaf habit: an insight into carbon stock in young oak coppices. *European journal of forest research*, 135(2): 243-252.
- Dai, L., Jia, J., Yu, D., Lewis, B.J., Zhou, L., Zhou, W., Zhao, W., Jiang, L. 2013. Effects of climate change on biomass carbon sequestration in old-growth forest ecosystems on Changbai Mountain in Northeast China. *Forest Ecology and Management*, 300: 106-116.
- Deng, S., Shi, Y., Jin, Y., Wang, L. 2011. A GIS-based approach for quantifying and mapping carbon sink and stock values of forest ecosystem: A case study. *Energy Procedia*, 5: 1535-1545.
- Du, H., Cui, R., Zhou, G., Shi, Y., Xu, X., Fan, W., Lu, Y. 2010. The responses of Moso bamboo (*Phyllostachys heterocycla* var. *pubescens*) forest aboveground biomass to Landsat TM spectral reflectance and NDVI. *Acta Ecologica Sinica*, 30(5): 257-263.

- Estrada, G. C. D., Soares, M. L. G., Fernadez, V., de Almeida, P. M. M. 2015. The economic evaluation of carbon storage and sequestration as ecosystem services of mangroves: a case study from southeastern Brazil. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 11(1): 29-35.
- Fan, Y., Shang, H., Wu, Y., Li, Q. 2020. Tree-Ring Width and Carbon Isotope Chronologies Track Temperature, Humidity, and Baseflow in the Tianshan Mountains, Central Asia. *Forests*, 11(12): 1308.
- Flora, G., Indhu, M. A., Derisha, L., Devi, S. D., Packia, D. M., Initha, W. S., Ranjini, N. 2018. Estimation of Carbon Storage in the Tree Growth of St. Mary's College (Autonomous) Campus, Thoothukudi, Tamilnadu, India.
- Fu, L., Zhao, Y., Xu, Z., Wu, B. 2015. Spatial and temporal dynamics of forest aboveground carbon stocks in response to climate and environmental changes. *Journal of soils and sediments*, 15(2): 249-259.
- Hall, J. S., Plisinski, J. S., Mladinich, S. K., van Breugel, M., Lai, H. R., Asner, G. P., Thompson, J. R. 2022. Deforestation scenarios show the importance of secondary forest for meeting Panama's carbon goals. *Landscape Ecology*, 1-22.
- Hayha, T., Franzese, P. P., Paletto, A., Fath, B. D. 2015. Assessing, valuing, and mapping ecosystem services in Alpine forests. *Ecosystem Services*, 14: 12-23.
- Henareh Khalyani, A., Mayer, A. L., Falkowski, M. J., Muralidharan, D. 2013. Deforestation and landscape structure changes related to socioeconomic dynamics and climate change in Zagros forests. *Journal of land use science*, 8(3): 321-340.
- Henry, M., Besnard, A., Asante, W. A., Eshun, J., Adu-Bredu, S., Valentini, R., Saint-André, L. 2010. Wood density, phytomass variations within and among trees, and allometric equations in a tropical rainforest of Africa. *Forest Ecology and Management*, 260(8): 1375-1388.
- IRIMO (I.R. of Iran Meteorological Organization), 2020. Chaharmahal va Bakhtiari Meteorological Administration. <http://www.chbmet.ir/en/index.asp>.
- Kauppi, P. E., Stål, G., Arnesson-Ceder, L., Sramek, I. H., Hoen, H. F., Svensson, A., Nordin, A. 2022. Managing existing forests can mitigate climate change. *Forest Ecology and Management*, 513, 120186.
- Kebede, B., Soromessa, T. 2018. Allometric equations for aboveground biomass estimation of *Olea europaea* L. subsp. *cuspidata* in Mana Angetu Forest. *Ecosystem Health and Sustainability*, 4(1):1-12.
- Ketterings, Q. M., Coe, R., van Noordwijk, M., Palm, C. A. 2001. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology and management*, 146(1-3): 199-209.

- Koala, J., Sawadogo, L., Savadogo, P., Aynekulu, E., Heiskanen, J., Saïd, M. 2017. Allometric equations for below-ground biomass of four key woody species in West African savanna-woodlands. *Silva Fennica*.
- Liu, K., Wang, J., Zeng, W., Song, J. 2017. Comparison and evaluation of three methods for estimating forest above ground biomass using TM and GLAS data. *Remote Sensing*, 9(4): 341.
- Loewenstein, E. F., Johnson, P. S., Garrett, H. E. 2000. Age and diameter structure of a managed uneven-aged oak forest. *Canadian Journal of Forest Research*, 30(7): 1060-1070.
- MacDicken, K. G. 1997. A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects.
- Makineci, E., Ozdemir, E., Caliskan, S., Yilmaz, E., Kumbasli, M., Keten, A., Yilmaz, H. 2015. Ecosystem carbon pools of coppice-originated oak forests at different development stages. *European Journal of Forest Research*, 134(2): 319-333.
- Malmsheimer, R. W., Heffernan, P., Brink, S., Crandall, D., Deneke, F., Galik, C., Ruddell, S. 2008. Forest management solutions for mitigating climate change in the United States. *Journal of Forestry*, 106(3): 115-173.
- Marcos-Martinez, R., Sánchez, J. J., Srivastava, L., Soonsawad, N., Bachelet, D. 2022. Valuing the Impact of Forest Disturbances on the Climate Regulation Service of Western US Forests. *Sustainability*, 14(2), 903.
- Mugasha, W. A., Eid, T., Bollandsås, O. M., Malimbwi, R. E., Chamshama, S. A. O., Zahabu, E., Katani, J. Z. 2013. Allometric models for prediction of above- and belowground biomass of trees in the miombo woodlands of Tanzania. *Forest Ecology and Management*, 310: 87-101.
- Nair, P. K., Mohan Kumar, B., Naresh Kumar, S. 2018. Climate change, carbon sequestration, and coconut-based ecosystems. In *The Coconut Palm (Cocos nucifera L.)-Research and Development Perspectives*. Springer, Singapore. pp. 779-799.
- Nowak, D. J., Greenfield, E. J., Hoehn, R. E., Lapoint, E. 2013. Carbon storage and sequestration by trees in urban and community areas of the United States. *Environmental pollution*, 178: 229-236.
- Pache, R. G., Abrudan, I. V., Niță, M. D. 2020. Economic valuation of carbon storage and sequestration in Retezat National Park, Romania. *Forests*, 12(1), 43.
- Pajtik, J., Konopka, B., Lukac, M. 2008. Biomass functions and expansion factors in young Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst) trees. *Forest Ecology and Management*, 256(5): 1096-1103.
- Parry, I. W., Veung, M. C., Heine, M. D. 2014. How much carbon pricing is in countries' own interests? The critical role of co-benefits (No. 14-174). International Monetary Fund.

- Pearson, T. R. H., Brown, S., Ravindranath, N. H., MacDicken, K., Shoch, D., Murthy, I. K., Sahana, C. A. 2005. Integrating carbon benefit estimates into GEF projects. UNDP, GEF, 1-56
- Postic, S., Clément, M. 2019. Global carbon account 2019.
- Poudel, A., Sasaki, N., Abe, I. 2020. Assessment of carbon stocks in oak forests along the altitudinal gradient: A case study in the Panchase Conservation Area in Nepal. *Global Ecology and Conservation*, 23, e01171.
- Ramstein, C., Dominioni, G., Ettehad, S., Lam, L., Quant, M., Zhang, J., Merusi, C. 2019. State and Trends of Carbon Pricing 2019.
- Rana, K., Kumar, M., Kumar, A. 2020. Assessment of annual shoot biomass and carbon storage potential of *grewia optiva*: an approach to combat climate change in Garhwal Himalaya. *Water, Air, & Soil Pollution*, 231(9):1-13.
- Rubio, A., Gavilán, R. G., Montes, F., Gutierrez-Giron, A., Díaz-Pines, E., Mezquida, E. T. 2011. Biodiversity measures applied to stand-level management: Can they really be useful?. *Ecological indicators*, 11(2): 545-556.
- Safari, A., Sohrabi, H. 2019. Effect of climate change and local management on aboveground carbon dynamics (1987–2015) in Zagros oak forests using Landsat time-series imagery. *Applied Geography*, 110, 102048.
- Shrestha, R., Wynne, R. H. 2012. Estimating biophysical parameters of individual trees in an urban environment using small footprint discrete-return imaging lidar. *Remote Sensing*, 4(2): 484-508.
- Singh, V., Tewari, A., Kushwaha, S. P., Dadhwal, V. K. 2011. Formulating allometric equations for estimating biomass and carbon stock in small diameter trees. *Forest Ecology and Management*, 261(11):1945-1949.
- Subedi, B. P., Pandey, S. S., Pandey, A., Rana, E. B., Bhattarai, S., Banskota, T. R., Tamrakar, R. 2010. Guidelines for measuring carbon stocks in community-managed forests. Oslo: Norwegian Agency for Development Cooperation.
- Suryawanshi, M. N., Patel, A. R., Kale, T. S., Patil, P. R. 2014. Carbon sequestration potential of tree species in the environment of North Maharashtra University Campus, Jalgaon (MS) India. *Bioscience Discovery*, 5(2): 175-179.
- Suchomel, C., Pyttel, P., Becker, G., Bauhus, J. 2012. Biomass equations for sessile oak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) and hornbeam (*Carpinus betulus* L.) in aged coppiced forests in southwest Germany. *biomass and bioenergy*, 46: 722-730.
- Thorsen, B. J., Mavsar, R., Tyrväinen, L., Prokofieva, I., Stenger, A. 2014. The Provision of Forest Ecosystem Services. Volume 1: Quantifying and valuing non-marketed ecosystem services. What Science Can Tell Us 5.
- Torres, A.B., MacMillan, D.C., Skutsch, M. 2015. 'Yes-in-my-backyard': Spatial differences in the valuation of forest services and local co-benefits for carbon markets in México. *Ecological Economics*, 109: 130–141.

- Vishnu, P., Patil, S. S. 2016. Carbon storage and sequestration by trees in and around university campus of Aurangabad City Maharashtra, International Journal of Innovative Research in Science. Eng. Technol., 5(4): 5459-5468.
- Von Gadow, K., Hui, G. 2001. Modelling forest development (Vol. 57). Springer Science & Business Media.
- Wang, B., Waters, C., Anwar, M. R., Cowie, A., Li Liu, D., Summers, D., Feng, P. 2022. Future climate impacts on forest growth and implications for carbon sequestration through reforestation in southeast Australia. Journal of Environmental Management, 302, 113964.
- Wang, P., Deng, X., Zhou, H., Yu, S. 2019. Estimates of the social cost of carbon: A review based on meta-analysis. Journal of cleaner production, 209: 1494-1507.
- Wani, A. A., Joshi, P. K., Singh, O. 2015. Estimating biomass and carbon mitigation of temperate coniferous forests using spectral modeling and field inventory data. Ecological Informatics, 25: 63-70.
- Xue, D., Tisdell, C. 2001. Valuing ecological functions of biodiversity in Changbaishan Mountain Biosphere Reserve in northeast China. Biodiversity & Conservation, 10(3): 467-481.
- Xu, Z., Chen, C., He, J., Liu, J. 2009. Trends and challenges in soil research 2009: linking global climate change to local long-term forest productivity.
- Yadav, V. S., Yadav, S. S., Gupta, S. R., Meena, R. S., Lal, R., Sheoran, N. S., Jhariya, M. K. 2022. Carbon sequestration potential and CO₂ fluxes in a tropical forest ecosystem. Ecological Engineering, 176, 106541
- Yousefpour, R., Nabel, J. E., Pongratz, J. 2019. Simulating growth-based harvest adaptive to future climate change. Biogeosciences, 16(2), 241-254.
- Zaher, H., Benjelloun, H., Mahamane, I. 2019. Effect of Oak Ecosystems Degradation on the Carbon Storage in the Southern Mediterranean Forests. Open Access Journal of Environmental and Soil Sciences 4(2)-OAJESS.MS.ID.000185.
- Zapfack, L., Noiha, N. V., Tabue, M. R. B. 2016. Economic estimation of carbon storage and sequestration as ecosystem services of protected areas: a case study of Lobeke National Park. Journal of Tropical Forest Science, 406-415.