دانشگاه گنبد کاووس
نشریه "حفاظت زیست بوم گیاهان"
دوره دهم، شماره بیستم
http://pec.gonbad.ac.ir

علمی-پژوهشی

ارزش‌گذاری اقتصادی میزان ترسیب کربن در جنگل‌های بلوط زاگرس (مطالعه موردی: رویشگاه جنگلی پهنوس، استان چهار محال و بختیاری)

سیده سمیرا سلیمانی‌پور[1]، کامران عادلی[2*]، داود مافی غلامی[3]، حامد نقوی[2]

[1]دانشجوی دکتری جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد
[2]استادیار گروه جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد
[3]دانشیار گروه علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۰۹

چکیده

بررسی ارزش اقتصادی ترسیب کربن در جنگل‌ها برای مقابله با خطر تغییر اقلیم جهانی که چالش عمیقی در جوامع بین‌المللی ایجاد کرده است، مهم است. از این‌رو مطالعه حاضر به بررسی میزان ترسیب کربن و ارزش اقتصادی آن در جنگل‌های بلوط (*Quercus brantii* Lindle) رویشگاه جنگلی پهنوس در استان چهارمحال و بختیاری در غرب ایران با مساحت ۹۹۰ هکتار، می‌پردازد. بدین منظور نمونه‌برداری 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 زی‌توده در اندام‌های هوایی و زیرزمینی درختان با استفاده از دو روش (معادلات آلومتریک و روش چگالی) برآورد شد، سپس مقدار کربن ذخیره‌ای و کربن ترسیب شده با استفاده از فرمول‌های تجربی از روی زی‌توده خشک درختان محاسبه گردید و به‌منظور ارزش-گذاری کارکرد ترسیب کربن از نرخ مالیات بر کربن استفاده شد. نتایج نشان داد مقدار ترسیب کربن در هر هکتار از این جنگل‌ها با استفاده از معادلات آلومتریک و روش چگالی به‌ترتیب برابر با ۰/۸۳ و ۰/۷۴ تن در هکتار در سال است که با در نظر گرفتن ۶۰ دلار به‌عنوان 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. به‌طور

*نویسنده مسئول: adeli.k@lu.ac.ir

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-11]

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، زی‌توده، معادلات آلومتریک، 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 زی‌تودهجنگلی 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 زی‌تودهو 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 آلومتریک به‌عنوان یکی از بهترین و رایج‌ترین روش‌های برآورد زی‌توده اکوسیستم‌های جنگلی مورد توجه قرار گرفته است

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-11]

(Rubio et al., 2011; Singh et al., 2011). معادلات آلومتریک زی‌توده از نمونه‌برداری تجربی و روش‌های رگرسیون خطی و غیرخطی استفاده می‌کنند و ابزار مهمی برای کمی کردن زی‌توده و ذخیره کربن در اکوسیستم‌ها هستند (Mugasha et al., 2013). از دیگر روش‌های غیر مخرب برای برآورد مقادیر زی‌توده می‌توان به روابط اشاره نمود که در آن‌ها متغیرهایی مانند ارتفاع درخت، قطر برابر سینه و چگالی بحرانی چوب برای برآورد زی‌توده درخت مورد استفاده قرار می‌گیرد (Subedi et al., 2010; Nowak et al., 2013). اقتصاددانان منابع طبیعی معتقدند انجام ارزشگذاری اقتصادی برای خدمات و منافع بازاری و غیربازاری زیست‌محیطی امری ضروری است (Pache et al., 2020؛ عسگری، ۱۳۹۲). ارزش جذب دی‌اکسیدکربن را می‌توان از طریق استفاده از روش‌های هزینه مبنا (نظیر روش هزینه جایگزینی[2]، روش هزینه پیشگیری[3] و روش هرینه خسارت اجتناب شده[4]) و هزینه جنگل‌کاری و یا از طریق روش مالیات بر کربن برآورد کرد (ریزوندی و همکاران، ۱۳۹۶؛ مبرقعی و همکاران، ۱۳۸۸؛ Xue and Tisdell, 2001). تحقیقات بسیاری به‌منظور برآورد ارزش اقتصادی ترسیب کربن اکوسیستم‌های جنگلی انجام شده است که بر پایه برآورد ارزش منافع حاصل از کنترل گرمایش جهانی توسط اکوسیستم استوار هستند (مبرقعی و همکاران، ۱۳۸۸). دنگ و همکاران (Deng et al., 2011) با به‌کار گرفتن نرخ مالیات بر کربن معادل ۱۰۲۵ یوآن در هر تن، ارزش اقتصادی ترسیب کربن گیاهی و کربن ذخیره‌ای گیاهی و کربن ذخیره‌ای در خاک در شهرستان تیانتای استان ژجیانگ در جنوب شرقی چین را به‌ترتیب تقریباً ۸۹۵/۲۶ میلیون یوآن، ۱۳۶۹/۴۰ میلیون یوآن و ۹۳۰۳/۲۱ میلیون یوآن برآورد کردند. در مطالعه نواک و همکاران (Nowak et al., 2013) میزان ذخیره کربن کل در جنگل‌های شهری آمریکا ۶۴۳ میلیون تن و ارزش آن ۵۰/۵ میلیارد دلار برآورد شد. همچنین میزان ترسیب کربن سالانه این جنگل‌ها 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 اکوسیستم‌های مانگرو در جنوب‌شرقی 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 جنگل‌های 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 جنوب‌شرقی کامرون، ارزش اقتصادی خدمت اکوسیستمی ترسیب کربن حدود ۱۴۳۴۷۶۹۰۱۵/۶۸ دلار

[2] Replacement Cost Method
[3] Preventive Expenditures Method
[4] Damage Cost Avoided Method

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-11]

آمریکا ارزیابی شد. در مطالعه بادەیان و همکاران (۱۳۹۳) با هدف برآورد ارزش اقتصادی کارکرد ترسیب کربن در دو توده خالص و آمیخته راش در بخش گرازبن 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. بادەیان و منصوری (۱۳۹۷) با به‌کارگیری روش هزینه جایگزین، ارزش اقتصادی ذخیره کربن گونه بلوط ایرانی در منطقه حفاظت‌شده زاولی 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 بادەیان 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، کانی گویژان 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 جنگل-های 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 این‌که 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.

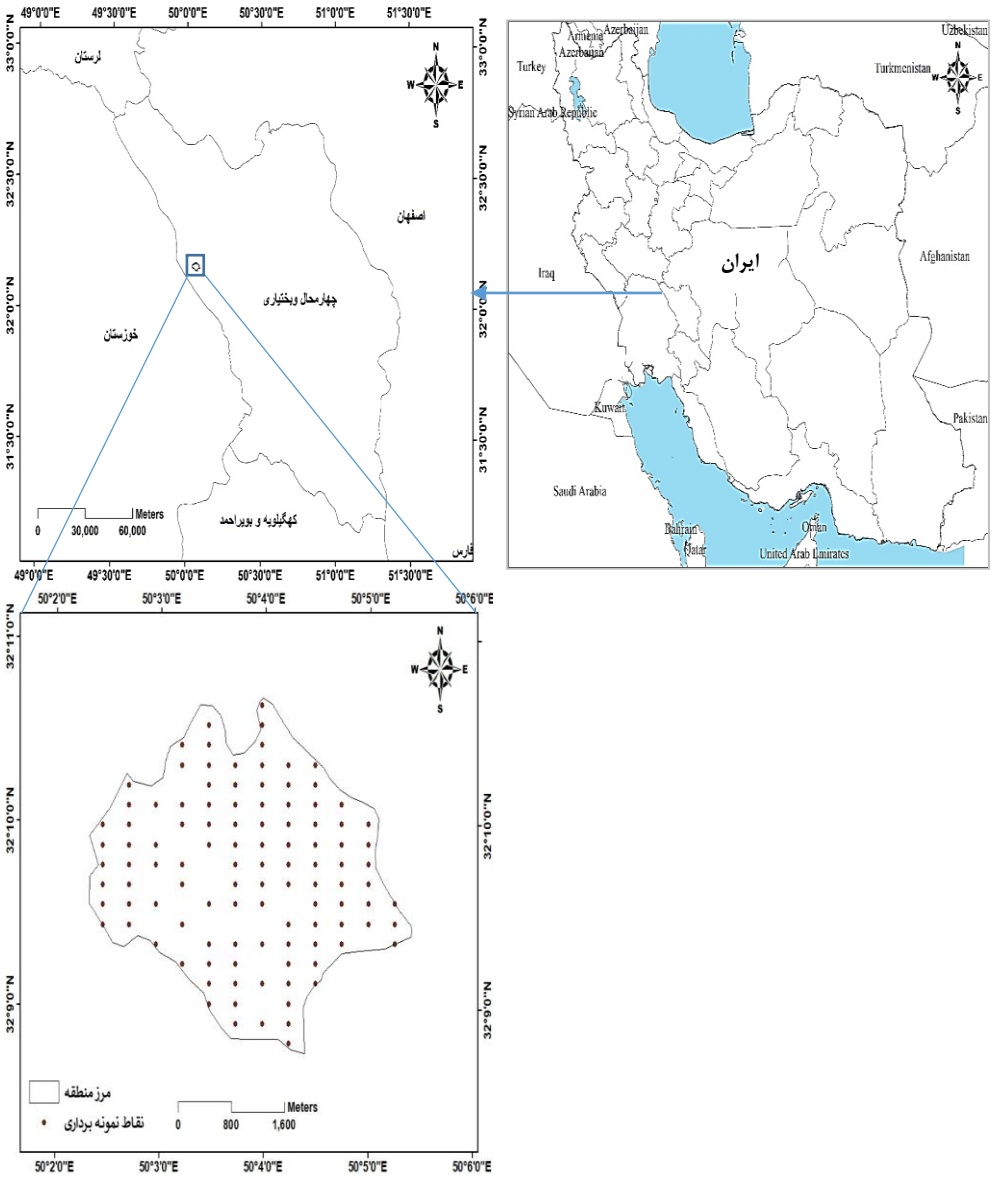
[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-11]

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

رویشگاه جنگلی پهنـــوس 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 ارتفـــاع ۱۸۰۰ متری از سطح دریا قرار دارد. حداقل و حداکثر دمای منطقه به‌ترتیب ۲ و ۳۴/۷ درجه سانتی‌گراد و میزان متوسط بارندگی سالانه نیز ۵۹۵ میلی‌متر است (IRIMO, 2020). بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindle) گونـــه 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 گونه‌هـــای درختی و درختچه‌ای همـــراه با گونه بلوط می‌توان از زالزالک (*Crataegus szovitsii* A. Pojark.)، محلب (*Cerasus mahaleb* (L.) Miller)، گز (*Tamarix ramosissima* Ledeb.)، بید (*Salix acmophylla* Boiss.)، کیکم (*Acer monspessulanum* L.)، بنه (*Pistacia atlantica* var. Mutica) و انجیر (*Ficus carica* L. subsp rupestris) نام برد (طرح ذخیره‌گاه جنگلی نازی، ۱۳۸۴).

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-11]



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

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-11]

روش نمونه‌برداری

برای برآورد مقادیر زی‌توده روی زمینی درختان در سطح رویشگاه جنگلی پهنوس، از تعداد ۱۰۰ قطعه‌نمونه مربعی شکل ۳۶ آری با ابعاد ۶۰ ×۶۰ متر استفاده شد که بر اساس شبکه آماربرداری منظم تصادفی با ابعاد شبکه ۲۰۰×۴۰۰ متر در سطح منطقه گسترده شده بود. در محل هر یک از قطعات-نمونه، متغیرهای مورد نیاز برای برآورد زی‌توده درختان از قبیل قطر برابر سینه، ارتفاع درخت و قطر تاج تمامی درختان موجود در قطعات نمونه در تابستان ۱۳۹۹ اندازه‌گیری شد. در این مطالعه به منظور برآورد مقدار زی‌توده از دو روش استفاده شد. روش اول برآورد مقدار زی‌توده 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 زی‌توده روی زمینی (Brown, 1997)، است (مرادی و همکاران، ۱۳۹۷؛ ورامش و همکاران، ۱۳۸۹). پس از برآورد مقادیر زی‌توده برای هر یک از درختان در قطعات‌نمونه، میزان کربن ذخیره‌ای و کربن ترسیب شده هر درخت با استفاده از روابط موجود (رابطه ۵ و ۶) از روی زی‌توده خشک درختان برآورد گردید و در نهایت نتایج حاصل از دو روش با هم مقایسه شد.

برآورد میزان زی‌توده‌ی 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 زی‌توده کل درخت و اجزاء مختلف آن است. در این معادلات، مقدار زی‌توده (وزن خشک) به‌عنوان متغیر وابسته و مشخصه‌هایی مانند قطر برابر سینه، قطر متوسط تاج و یا ارتفاع درخت که امکان اندازه‌گیری آن‌ها در عرصه وجود دارد، به‌عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته می‌شوند (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 رویشگاه‌های جنگلی استان چهارمحال و بختیاری توسعه یافته است، استفاده شد. در این مطالعه روابط توانی تک متغیره بهترین برازش را برای برآورد زی‌توده ارائه دادند و از بین متغیرهای مستقل استفاده شده، قطر متوسط تاج به‌عنوان بهترین متغیر در برآورد زی‌توده روی زمینی درختان تک پایه و جست‌گروه‌ها مطرح شد. بنابراین در این تحقیق، مقادیر زی‌توده روی زمینی هر درخت در جست‌گروه‌ها با استفاده از رابطه (۱) و مقادیر زی‌توده روی زمینی درختان تک‌پایه با استفاده از رابطه (۲) برآورد شد.

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

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

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-11]

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

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

در این روش پس از اندازه‌گیری ارتفاع درخت (H)، قطر برابر سینه (DBH) و سطح مقطع (g) درختان در قطعات‌نمونه، حجم درختان سرپا با استفاده از رابطه (۳) محاسبه شد (باده‌یان و منصوری،۱۳۹۷؛ زبیری، ۱۳۸۴). سپس با استفاده از رابطه تبدیل حجم به زی‌توده روی زمینی (Brown, 1997)، مقدار زی‌توده درخت محاسبه شد (رابطه ۴).

رابطه ۳ $$V = g \times H \times f$$

رابطه ۴ $$AGB = V \times WD$$

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

برآورد زی‌توده کل درخت، کربن ذخیره شده و کربن ترسیب شده

مطالعات موجود نشان می‌دهد که میزان زی‌توده اندام‌های زیر زمینی درخت برابر با یک پنجم زی‌تودهاندام‌های هوایی آن است (MacDicken, 1997; Subedi et al., 2010; Kebede and Soromessa, 2018). لذا در این مطالعه نیز پس از برآورد زی‌تودهروی زمینی درختان، ۲۰ درصد آن به‌عنوان زی‌تودهزیر زمینی (BGB) در نظر گرفته شد و در نهایت از جمع زی‌تودهروی زمینی و زیر زمینی، مقدار زی‌تودهکل درخت برآورد گردید. با توجه به این‌که اغلب ۵۰ درصد زی‌تودهخشک گیاهان به‌عنوان مقدار کربن ذخیره‌ای آن‌ها در نظر گرفته می‌شود (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 ذخیره‌ای موجود در زی‌تودهدرخت، از ضریب ۵۰ درصد برای تبدیل زی‌توده‌خشک درخت به میزان کربن ذخیره‌ای هر درخت استفاده شد (رابطه ۵).

رابطه ۵ کربن ذخیره‌ای= میزان زی‌توده‌خشک × ۰/۵

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-11]

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 دی اکسید کربن ترسیب شده = کربن ذخیره‌ای × ۳/۶۷

در نهایت برای برآورد مقادیر ترسیب کربن سالانه در هر درخت، مقدار کل دی‌اکسیدکربن ترسیب‌شده به طول عمر درخت تقسیم شد. به‌منظور محاسبه سن درخت، تعداد ۹ پلات با کمترین تغییرات قطری (بیشترین هم‌سنی) طوری انتخاب شدند تا از تمام اندازه‌های میانگین طبقات قطری به‌دست‌آمده، 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 به‌دست آمده برازش شد. سپس با استفاده از مدل به‌دست آمده متوسط سن هر پلات با استفاده از متوسط اندازه قطر برابر سینه (DBH) جست‌های آن پلات به‌دست 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 به‌کارگیری روش‌های متفاوتی برای برآورد هزینه اجتماعی کربن (SCC)[5] به‌کار 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., 2104)، 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) به‌دست 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 به‌طور 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

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-11]

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 (t 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 زی‌تودهبا 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 زی‌تودهبا استفاده از روش آلومتریک بود و ارتفاع کل و قطر برابر سینه نیز مهم‌ترین متغیرهای برآورد زی‌تودهبا 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.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-11]

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.

رابطه ۷

$$Age = 39.556 \times Ln(DBH) - 60.209$$

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 زی‌تودهدر روش آلومتریک برابر با ۳۰/۰۹ تن در هکتار و در روش چگالی برابر با ۲۶/۷۴ تن در هکتار برآورد گردید. همچنین، میانگین مقادیرکربن 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 با۴۹۵۴۷/۴ دلار و ۴۴۰۲۸/۶ دلار در سال ۱۳۹۹ برآورد شد.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-11]

جدول ۲- نتایج زی‌توده، کربن ذخیره ای، ترسیب کربن و ارزش‌گذاری ترسیب کربن در منطقه مورد مطالعه (میانگین±اشتباه معیار)

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

نتایج بررسی تفاوت میان مقادیر میانگین زی‌توده، کربن ذخیره‌ای، کربن ترسیب‌شده و ارزش اقتصادی (در هکتار) محاسبه شده در دو روش آلومتریک و چگالی در کل قطعات نمونه (۱۰۰) با استفاده از آزمون t نشان داد که اختلاف معنی‌داری در سطح آماری یک درصد میان نتایج این دو روش وجود دارد ($p \leq ۰/۰۱$)، نتایج این آزمون در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین زی‌توده، کربن ذخیره‌ای، کربن ترسیب شده و ارزش اقتصادی (در هکتار) محاسبه شده در دو روش آلومتریک و چگالی با استفاده از آزمون t

فاکتور بررسی شده	T	درجه آزادی	P-value
زی‌توده	۳/۹۴	۹۹	۰/۰۰۱
کربن ذخیره‌ای	۳/۴۹	۹۹	۰/۰۰۱
کربن ترسیب شده	۳/۵۰	۹۹	۰/۰۰۱
ارزش اقتصادی	۳/۴۹	۹۹	۰/۰۰۱

بحث و نتیجه‌گیری

ذخیره و ترسیب کربن به‌عنوان یکی از مهم‌ترین خدمات ارائه شده توسط اکوسیستم‌های جنگلی، قدرتمندترین ابزار برای سازگاری و کاهش تغییرات آب و هوایی است. مدیریت پایدار جنگل از طریق ذخیره کربن، یکی از مقرون به صرفه‌ترین و کم هزینه‌ترین راه‌حل‌های کاهش تغییرات آب‌وهوایی با مجموعه‌ای از مزایای مشترک زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی است (Change, 2014; Pache et al., 2020). برآورد مقدار ترسیب کربن و ارزش‌گذاری این کارکرد اکوسیستمی در رویشگاه‌های

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-11]

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 ۱۴/۲۱ تن در هکتار (میانگین دو روش) بود. بادەیان 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 زی‌تودهو ذخیره کربن را با سه روش محاسبه کردند و مقدار میانگین ذخیره کربن برابر با ۸/۲ 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. به‌طورکلی 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 ۸/۰۷ 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 ۴/۴۲ تن برآورد شد که در مقایسه با ذخیره کربن برآورده شده در مطالعه حاضر، خیلی کمتراست. 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 دی‌اکسیدکربن توسط درختان پهن‌برگ معمولاً بیشتر از درختان سوزنی‌برگ است (Malmsheimer 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

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-11]

این راستا جعفری سرابی و همکاران، ۱۴۰۰ نیز در مطالعه‌ای تغییرات ترسیب کربن و برخی از ویژگی-های 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 ترنیان و همکاران (۱۳۹۸) بیشتر است. ترنیان 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 به‌دلیل اختلاف تراکم درختان در هکتار در دو منطقه باشد، به‌طوری‌که در مطالعه ترنیان 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 هم-خوانی 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. همچینن 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 زی‌تودهو 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 ترنیان 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

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-11]

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 این‌که ترسیب کربن کل در مطالعه حاضر بیشتر از مطالعه ترنیان و همکاران است، ولی بالا بودن ارزش اقتصادی ترسیب کربن در مطالعه ترنیان و همکاران می‌تواند به این دلیل باشد که در آن مطالعه برای ارزش‌گذاری 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 به‌عنوان هزینه اجتماعی کربن در نظر گرفته شد. اما در مطالعه حاضر برای ارزش‌گذاری 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 هزینه‌هایی که باید برای کاهش آلودگی و آثار مخرب و محیط‌زیستی انتشار دی‌اکسیدکربن هزینه کرد در نظر گرفته‌اند.

در سایر مطالعات مشابه انجام شده بر روی جنگل‌های بلوط در جهان نیز ماکینزی و همکاران (Makineci et al., 2015) مقدار ذخیره کربن سه گونه بلوط (*Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl. , *Quercus frainetto Ten.* , *Quercus cerris* L.) در جنگل‌های شمال غربی ترکیه را در جنگل‌های با قطر کم (۰-۸ سانتی‌متر) ۱۳/۱ تن در هکتار، در جنگل‌های با قطر متوسط (۲۰-۸ سانتی‌متر) ۵۴/۱ تن در هکتار و در جنگل‌های با قطر بزرگ (۲۰-۳۶ سانتی‌متر) 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 جنگل‌های 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 جنگل‌های طبیعی بلوط مدیترانه‌ای 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 جنگل‌های بلوط (*Quercus semecarpifoli*a, *Quercus lamellosa*) در منطقه حفاظت‌شده 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 به‌طوری‌که مقدار ذخیره کربن در مطالعه حاضر پایین‌تر از مقادیر گزارش شده از دیگر نقاط جهان است و نتایج مطالعات سایر نقاط جهان هم‌راستا با مطالعه حاضر نیست. از جمله دلایل این اختلاف می‌توان به این مورد اشاره کرد که در اکثر مطالعات ذکر شده علاوه بر ذخیره‌ی کربن زی‌توده‌روی زمینی و زیر زمینی درختان، ذخیره‌ی کربن درختچه‌ها، گیاهان علفی، خاک و لاشبرگ را نیز محاسبه کردند. همچنین درختان موجود در این مطالعات قطورتر بودند و نتایج نشان

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-11]

داد که ذخیره‌ی کربن زی‌تودهدرختان 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): ۷۶۲-۷۴۹.

بادەیان، ض.، مشایخی، ز.، زبردست، ل.، مبرقعی، ن. ۱۳۹۳. برآورد ارزش اقتصادی کارکرد ترسیب‌کربن در دو توده جنگلی خالص و آمیخته راش (مطالعه موردی: جنگل خیرود نوشهر. پژوهش‌های محیط‌زیست، ۵ (۹): ۱۵۶-۱۴۷.

بادەیان، ض.، منصوری، م. ۱۳۹۸. مقایسه ارزش اقتصادی کارکرد بازاری و غیربازاری برخی از ارقام صنوبر.مجله صنایع چوب و کاغذ ایران، ۱۰ (۱): ۲۲۲-۲۱۷.

بادەیان، 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): ۱۶۸-۱۵۱.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-11]

ترنیان، ف.، آملی کندری، ع.ر.، منصوری، م.، اسدالهی، ز.، میرزایی موسی‌وند، ا. ۱۳۹۸. ارزش‌گذاری اقتصادی میزان ترسیب کربن در مخزن سدهای چومان، کانی گویژان و سامانه انتقال آب آن‌ها در استان کردستان.نشریه حفاظت زیست‌بوم گیاهان، ۷ (۱۵): ۸۷-۷۱.

جعفری سرابی، ح.، پیله 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 بوم شناسی جنگل‌های ایران، ۹ (۱۷):۱۴۲- ۱۵۱.

ریزوندی، و.، جورغلامی، م.، مجنونیان، ب.، زاهدی امیری، ق. ۱۳۹۶. کاهش ارزش اقتصادی ترسیب‌کربن در اثر فعالیت‌های بهره‌برداری در مسیرهای چوبکشی (مطالعه موردی: بخش گرازبن جنگل خیرود). نشریه جنگل و فرآورده‌های چوب، مجله‌ی منابع‌طبیعی ایران، ۷۰ (۳): ۴۹۸-۴۸۹.

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): ۱۸۲-۱۷۱.

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 منابع‌طبیعی و آبخیزداری شهرستان گوهرنگ.

عسگری، ح. ۱۳۹۲. ارزشگذاری اقتصادی-حسابداری جنگل‌های بلوط در استان ایلام. مجله اقتصاد منابع طبیعی، ۲ (۲): ۸۸-۷۷.

عسگری، ی. ۱۳۹۵. برآورد ترسیب کربن در جنگل‌های غرب براساس زی‌توده دو گونه بلوط ایرانی (*Quercus brantii Lindle*) و *وامچک* (*Amygdalus arabica* olive). پایان‌نامه دکتری، دانشگاه شهرکرد، ۱۳۲ صفحه.

گل‌محمدی، ف.، حسن‌زاد ناورودی، ا.، بنیاد، ا.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): ۶۵۵-۶۴۴.

مبرقعی، ن.، شرزه‌ای، غ.، مخدوم فرخنده، م.، یاوری، ا.، جعفری، ح.ر. ۱۳۸۸. ارائه الگوی ارزش‌گذاری مکانی کارکرد جذب گاز دی‌اکسیدکربن در جنگل‌های خزری ایران. محیط‌شناسی، ۳۵ (۵۱): ۶۸-۵۷.

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): ۴۲۰-۴۰۶.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-11]

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 منابع‌طبیعی ایران، ۷۲ (۴): ۳۱۱-۳۰۱.

نمیرانیان، م. ۱۳۸۶. *اندازه‌گیری 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): ۴۵۸-۴۴۷.

ورامش، س.، حسینی، س.م.، سفیدی، ک. ۱۳۸۹. ارزیابی مقدار ترسیب کربن در بیومس، لاشبرگ و خاک توده-های اقاقیا و سرو نقره‌ای اطراف تهران. فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، ۱۶ (۹۳): ۳۵۳-۳۴۳.

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 ترسیب‌کربن و ارزش اقتصادی آن در جنگل‌های بلوط ایرانی: بررسی موردی در منطقه حفاظت‌شده بیستون. فصلنامه علوم محیطی، ۱۵ (۳): ۱۳۴-۱۲۳.

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.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-11]

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 ofSt. 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 Meterological 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.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-11]

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.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-11]

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.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-11]

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.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-11]