مقاله پژوهشی، صفحات ۳۲۸-۳۴۴
DOI:10.22034/jpr.2025.8559.3387

ارزیابی اقتصادی میان‌مدت تاثیر شدت برداشت چوب بر خدمات رویش چوبی و ترسیب کربن در جنگل‌های غرب استان گیلان

فرشاد کیوان‌بهجو*

استاد گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۲۳

چکیده

در این پژوهش، به ارزیابی اقتصادی شدت برداشت چوب بر خدمات رویش چوبی و ترسیب کربن در میان‌مدت در جنگل‌های غرب استان گیلان پرداخته شد. بدین منظور سه پارسل با شرایط رویشگاهی مشابه اما با سه شدت برداشت متفاوت و با سابقه برداشت ۲۰ سال در جنگل‌های غرب گیلان انتخاب و مقادیر سالانه رویش چوبی و ترسیب کربن ارزیابی شد. برای تعیین رویش چوبی از شیوه نمونه‌برداری به روش تصادفی سیستماتیک با استقرار قطعات نمونه ثابت با مساحت ۱۰۰۰ مترمربعی استفاده شد. متوسط هزینه سالانه انتشار یک تن کربن ۳۱/۸ میلیون ریال معادل ۵۳ دلار و متوسط قیمت وزنی یک مترمکعب چوب ۲۵۰ میلیون ریال معادل ۴۱۶/۷ دلار در نظر گرفته شد. نتایج مقایسه آماری میزان ارزش اقتصادی جنگل نشان داد که در سطح یک درصد اختلاف آماری معنی‌داری بین سه شدت برداشت مختلف از نظر میزان رویش چوبی (sig.=۰/۰۰۰, F=۱۱۷/۹۹۳) و میزان ترسیب کربن (sig.=۰/۰۰۰, F=۱۴/۷۴۰) وجود دارد. می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که احتمال دارد برداشت چوب از جنگل ضمن تهییج اکوسیستم در میان‌مدت، موجب ارتقای خدمات رویش چوبی و ترسیب کربن جنگل شود که می‌تواند راهنمایی برای مدیران جنگل جهت استفاده از این تکنیک مدیریتی برای عرضه خدمات اکوسیستمی بیشتر باشد لذا تصمیم‌سازان برنامه‌های مدیریت کلان جنگل در برنامه‌ها و تهیه طرح‌های مدیریتی شاید بتوانند استفاده از خدمت تولید چوب در جنگل را مد نظر قرار دهند تا موجبات حرکت به سمت جنگلداری پایدار در جنگل‌های شمال ایران فراهم شود.

واژه های کلیدی: شدت برداشت، ارزش اقتصادی جنگل، خدمات رویش چوبی و ترسیب کربن، جنگل‌های گیلان.

* نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: f_keyvan@uma.ac.ir

مقدمه

امروزه معضلات محیطزیستی در سطح جهانی به عنوان مسائل حل‌نشده‌ای مدنظر قرار می‌گیرد که در صورت عدم ارائه راهکار مناسب برای حل آن، تبدیل به مسائل بدخیم خواهد شد از جمله این مسائل می‌توان به کاهش کمی و کیفی جنگل‌ها اشاره داشت که منجر به تغییر اقلیم در سطح جهانی شده است (۲۱) و موجبات نگرانی جهانی را فراهم آورده است (۲۱،۱۷). طبق آخرین آمار معتبر، میزان غلظت دی‌اکسیدکربن در جو کره زمین به بیش از 420 ppm افزایش یافته است (۲۹) تا جایی که کاهش اثرات منفی انتشار گازهای گلخانه‌ای از جمله گاز دی‌اکسیدکربن در کنفرانس‌های جهانی به وفور مورد تأکید قرار می‌گیرد (۳،۱) و به ارائه سازوکارهایی مناسب برای مقابله با آن نیز پرداخته می‌شود (۱۶،۶). قریب به اتفاق متخصصان امر برای کاهش این معضل، دو راهکار اصلی شامل افزایش توان ترسیب کربن

مقاله پژوهشی، صفحات ۳۲۸-۳۴۴
DOI:10.22034/jpr.2025.8559.3387

اکوسیستمی از طریق مدیریت پایدار جنگل (۱۸،۱۷) و نیز افزایش بیوماس درختی (۳۳) همچنین کاشت گونه‌های سریع الرشد جنگلی را پیشنهاد داده‌اند (۲۷). جنگل‌ها نه تنها در ترسیب کربن جهانی نقشی اساسی و حیاتی دارند (۱۹،۱۳) بلکه نقشی بی‌بدیل در تامین مواد خام صنایع وابسته به جنگل دارند (۲۰،۴،۲) به‌طوری‌که در کنار استفاده از جنگل‌های طبیعی برای تامین چوب، میزان جنگل‌کاری‌های دنیا نیز از ۱۷۰ میلیون هکتار در سال ۱۹۹۰ به ۲۹۴ میلیون هکتار در سال ۲۰۲۰ افزایش یافته است (۱۴). لذا تعیین میزان رویش چوبی و میزان ترسیب کربن جنگل در برنامه‌ریزی و مدیریت جنگل در سطح جهانی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (۲۹، ۳۰) تا جایی که بدون اطلاع از این دو متغیر عملا اجرای طرح‌های جنگلداری چندمنظوره که امروزه جایگزین طرح‌های جنگلداری سنتی شده است؛ غیرممکن است (۲۲،۱۲،۳).

امروزه پژوهشگران زیادی بر لزوم استفاده معقول از خدمت رویش چوبی جنگل در کنار سایر خدماتی که این بوم‌سازگان می‌تواند برای انسان فراهم آورد (۴، ۱۶، ۳۵)؛ تاکید دارند تا جایی‌که بنابر نتایج بعضی از پژوهش‌ها، میزان شدت برداشت چوب از جنگل بر خدمت رویش چوبی و ترسیب کربن جنگل تاثیر مثبت دارد (۳۴،۲۸،۲۵،۲۴،۲۱). در همین راستا پژوهشگران، امروزه بر سر این که چه میزان برداشت چوبی به منظور بهره‌مندی بیشتر از خدمت ترسیب کربن در کنار استفاده از خدمت تولید چوب صورت گیرد، بحث‌های جدی بین متخصصان اکولوژی و اقتصاد به وجود آورده است (۳۵،۲۶،۳).

در سطح کشور و در سطح جهانی تحقیقات محدودی در زمینه تاثیر شدت بهره‌برداری بر رویش چوبی جنگل و همچنین ترسیب کربن اکوسیستمی انجام شده است؛ تا جایی‌که در ارتباط با تاثیر شدت برداشت چوب بر رویش چوبی جنگل و ترسیب کربن در داخل کشور فقط دو مورد پژوهش قابل استناد انجام گرفته است از طرفی نتایج مرور پژوهش¬ها در خارج از کشور نشان می‌دهد تحقیقات در این ارتباط به صورت محدود و انگشت‌شمار انجام شده است. در داخل کشور طی تحقیقی اثر سه شدت برداشت کم، متوسط و زیاد بر رویش حجمی جنگل‌های شمال ایران بعد از ۱۰ سال برداشت چوبی ارزیابی شد؛ نتایج نشان داد میانگین رویش حجمی در وضعیت شدت برداشت متوسط ۹/۳ مترمکعب در هکتار در سال بوده است که این مقدار بیشتر از وضعیت‌های شدت برداشت کم (۷/۴ مترمکعب در هکتار در سال) و شدت برداشت زیاد (۴/۸) گزارش شده است (۷). طی تحقیقی دیگر در داخل کشور تاثیر شدت برداشت در شیوه تک¬گزینی بر زیتوده انجیلی- ممرز مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد شدت برداشت در کوتاه مدت موجب افزایش فقط ۲ درصدی در زیتوده کل شده است (از ۱۴۴ تن در هکتار به ۱۴۷ تن هکتار) و تاثیر معنی‌داری بر زیتوده کل جنگل نداشته است (۸).

در مرور مطالعات در خارج از کشور تاکید شده است دو خدمت ترسیب کربن و تولید چوب به عنوان خدمات مهم بوم‌سازگان جنگل محسوب می‌شوند (۱۸). طی تحقیقی در جنگل‌های چین گزارش شده است در کوتاه‌مدت، شدت برداشت با وضعیت‌های کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد بر رشد قطری و ارتفاعی درختان اثر منفی (معکوس) دارد به عبارتی با افزایش شدت برداشت رویش قطری و ارتفاعی کاهش یافته است (۳۴). نتیجه پژوهشی دیگر در جنگل‌های کانادا نشان داده است که یک سال بعد از برداشت با شدت های مختلف میزان ذخیره کربن اکوسیستمی به طور معنی‌داری (حدود ۱۵ درصد) کاهش یافته‌است (۳۲).

در پژوهشی دیگر در جنگل¬های سردسیری فنلاند تاثیر شدت برداشت ۶۰ درصد، ۸۰ درصد و ۱۰۰ درصد از کل حجم سرپا در یک دوره صد ساله در

مقاله پژوهشی، صفحات ۳۲۸-۳۴۴
DOI:10.22034/jpr.2025.8559.3387

قالب دو سناریوی اقتصادی و محیطزیستی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که در سناریوی محیطزیستی با شدت برداشت حداقل (۶۰ درصد حجم سرپا)، بهترین نتیجه ممکن (افزایش حدود ۱۵ درصدی رویش چوبی) حاصل می¬شود. (۲۳). بر اساس نتایج تحقیقی که در جنگل‌های پهن برگ ونزوئلا انجام شده است ارزش سرمایه‌ای تولید چوب توسط جنگل ۱۱۹۵۱ دلار در هکتار و ارزش سرمایه-ای ترسیب کربن ۴۲۹ دلار در هکتار برآورد شد (۳۱).

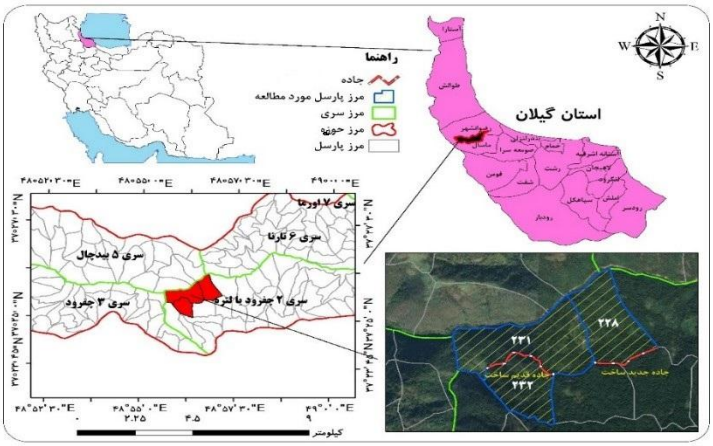
با بررسی پژوهش‌های انجام شده می‌توان چنین استنباط نمود که هر چند تحقیقات انگشت‌شمار با محوریت ارزیابی تاثیر شدت برداشت چوب بر میزان رویش حجمی و ترسیب کربن جنگل چه در داخل کشور و چه در دنیا انجام شده است ولی تاکنون هیچ تحقیقی با هدف کمی نمودن اثر شدت‌های مختلف برداشت چوب بر میزان رویش چوبی و ترسیب کربن در میان‌مدت (۲۰ سال) در کشور و در دنیا انجام نشده است لذا فرضیه اصلی پژوهش کنونی بر این مهم بنانهاده شده است که شدت‌های مختلف برداشت چوب بر میزان و ارزش خدمات رویش چوبی و ترسیب کربن در میان‌مدت تاثیرگذار است. از این‌رو اهداف اصلی این تحقیق شامل تعیین اثر شدت برداشت چوب بر میزان رویش چوبی جنگل، تعیین اثر شدت برداشت چوب بر میزان ترسیب کربن و همچنین تعیین اثر شدت برداشت چوب بر ارزش اقتصادی دو خدمت جنگل شامل تولید چوب و ترسیب کربن در جنگل‌های شمال ایران می‌باشد.

مواد و روشها

منطقه مورد مطالعه

منطقه جنگلی مورد بررسی در دومین سری از حوضه آبخیر چفرود واقع در غرب استان گیلان قرار گرفته است و این تحقیق در سه پارسل از این سری (دارای سابقه برداشت چوب ۲۰ ساله) که از نظر ترکیب گونه‌ای جنگل آمیخته راش بود، انجام شد (شکل ۱). این حوضه طبق حوضه‌بندی آبخیزهای شمال ایران در حوضه شماره ۱۰ از جنگل‌های شمال ایران قرار گرفته است. سری مورد بررسی در فاصله حدود ۵۰ کیلومتری شهر شاندرمن واقع شده است که تحت مدیریت شرکت شفارود گیلان می‌باشد. این منطقه جنگلی در عرض جغرافیایی37˚ 25 ´ شمالی و طول جغرافیایی 49˚ 26´ شرقی واقع شده است. مساحت سری ۲۲۴۰ هکتار می‌باشد که حدود ۹۰ درصد آن قابل بهره‌برداری می‌باشد که شامل ۴۷ پارسل می-باشد. از نظر وضعیت توپوگرافی منطقه‌ای است کوهستانی و شیب‌دار که شیب آن در پاره‌ای از موارد تا هشتاد درصد می‌باشد همچنین ارتفاع از سطح دریا در سری مورد نظر از ۹۰۰ متر تا ۱۵۰۰ متر متغیر است (۵).

مقاله پژوهشی، صفحات ۳۲۸-۳۴۴
DOI:10.22034/jpr.2025.8559.3387



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان گیلان

روش‌ها

برآورد تولید چوبی سالانه (رویش چوبی) بوم سازگان جنگل در شدت‌های مختلف برداشت

این تحقیق طی یک دوره ۲۰ ساله و بعد از گذشت ۲۰ سال از برداشت چوب (سال برداشت ۱۳۸۳ بوده است) در جنگلی که در آن روش جنگلداری دانه زاد ناهمسال و شیوه بهره‌برداری گزینشی اعمال شده بود؛ انجام شد. لذا سه پارسل با موجودی سرپای نزدیک به هم و همچنین شرایط رویشگاهی مشابه ولی با سه شدت برداشت متفاوت شامل کم (۱۴/۳۶ مترمکعب در هکتار)، متوسط (۲۱/۶۱ مترمکعب در هکتار) و زیاد (۲۵/۹۵ مترمکعب در هکتار) انتخاب شد (۱۵). برای تعیین میزان رویش چوبی در شدت برداشت‌های مختلف اقدام به اندازه‌گیری رویش درختان جنگل (۷) با استفاده از پیاده‌سازی قطعات نمونه ثابت ۱۰ آر (۱۰۰۰ مترمربعی) به روش تصادفی سیستماتیک در مراکز شبکه با ابعاد ۲۰۰ در ۳۰۰ متر شد و سپس اندازه‌گیری میزان رویش اختلاف موجودی حجمی انتهای دوره (۱۴۰۳) و ابتدای دوره (۱۳۸۳) انجام شد (۱۴). توضیح این که در طول ۲۰ سال فقط یک برداشت در سال ۱۳۸۳ در این پارسل‌ها انجام شد چرا که ۱۰ سال بعد که موعد برداشت مجددا فرارسیده بود محدودیت شدید در برداشت چوب از طرف سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری (سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری وقت) اعمال شد و از ابتدای سال ۱۳۹۵ طرح تنفس جنگل‌ها به اجرا درآمد. به منظور تعیین میزان رویش چوبی جنگل، ابتدا از فرمول محاسبه حجم درختان موجود در قطعات نمونه استفاده شد (رابطه ۱) و پس از تعیین میزان حجم چوبی هر درخت در ابتدا و انتهای دوره، از فرمول محاسبه رویش حجمی (رابطه ۲) برای تعیین تفاوت رویش در دوره ۲۰ ساله بهره‌گیری شد (۹).

$$V=\frac{\pi*d^2*h*k}{4}$$

در این رابطه v حجم درخت (مترمکعب)،

d قطر درخت (متر)،

h ارتفاع درخت (متر) و

k ضریب شکل درخت می‌باشد.

$$V_{ta}=\frac{V_2-V_1}{b-a}$$

در V_{ta} میزان رویش چوبی سالانه جنگل (مترمکعب)، این رابطه

مقاله پژوهشی، صفحات ۳۲۸-۳۴۴
DOI:10.22034/jpr.2025.8559.3387

حجم درخت در انتهای دوره اندازه‌گیری V_2(مترمکعب)،

حجم درخت در ابتدای دوره اندازه‌گیری V_1(مترمکعب)،

سال اندازه‌گیری میزان رویش چوبی در ابتدای دوره a(۱۳۸۳) و

b سال اندازه‌گیری میزان رویش چوبی در انتهای دوره (۱۴۰۳) می‌باشد.

به منظور تبدیل حجم به وزن به عبارتی تبدیل میزان رویش چوبی از مترمکعب به تن طبق رابطه ۳ میزان حجم رویش چوبی محاسبه شده در متوسط چگالی گونه‌های چوبی جنگل‌های شمال ضرب شد (۱۱،۱).

$$W_w=V_w*0.6$$

در این رابطه W_w وزن رویش چوبی جنگل (تن)، V_w حجم رویش چوبی جنگل (مترمکعب)، می‌باشد.

برآورد ترسیب کربن درختان در شدت‌های مختلف برداشت

برای تعیین میزان کربن ترسیب شده در بخش های هوایی و زیرزمینی درختان در سه شدت برداشت مختلف از رابطه فتوسنتز و تنفس گیاهان استفاده شد (رابطه ۴). با بررسی رابطه فوق توسط محققان مشخص شده است که برای تولید یک گرم ماده خشک به میزان ۱/۶۳ گرم دی‌اکسیدکربن مورد نیاز است (۱۱). بنابراین با بررسی میزان رویش سالانه بوم‌سازگان جنگل در دو قسمت اندام‌های هوایی و زیرزمینی عملا میزان کربن ترسیب شده قابل برآورد می‌باشد (۱۴).

رابطه۴

$$CO_2\ (264gr) + H_2O\ (108gr) \xrightarrow{\text{.....Amylase(162gr)}} C_6H_{12}O_6(180gr) + O_2(193gr)$$

به منظور تعیین میزان انباشت کربن در لایه‌های آلی و معدنی خاک عرصه جنگل، به ترتیب از روش های احتراق در کوره و تجربی واکلی بلاک بهره‌گیری شد. بدین منظور به تعداد ۳۰ نمونه خاک در عرصه‌های مورد بررسی به ترتیب در هر پارسل ۱۰ نمونه خاک برداشت و به آزمایشگاه خاک منتقل شد (۱). مساحت قطعات نمونه برای برداشت لایه آلی خاک نیم متر در نیم متر (۰/۲۵ متر مربع) شامل لایه‌های لاشبرگ، لاشبرگ در حال تجزیه و لایه هوموس بود. لایه‌های معدنی خاک به وسیله اوگر و در مرکز قطعات نمونه ۰/۲۵ متر مربعی برداشت شد. نمونه برداری در سه

طبق تحقیقات انجام شده میزان رویش سالانه یا حجم زیست توده زیرزمینی یک پنجم (بیست درصد) رویش سالانه یا حجم زیست توده هوایی لحاظ شد (۱). همچنین به منظور تبدیل مقادیر حجم به وزن میزان رویش حجمی در متوسط جرم حجمی گونه-های چوبی جنگل‌های هیرکانی ضرب شد (۱۷). از طرف دیگر میزان وزن خشک ۵۸ درصد وزن تر در نظر گرفته شد (۳).

برآورد ترسیب کربن خاک در شدت‌های مختلف برداشت

مقاله پژوهشی، صفحات ۳۲۸-۳۴۴
DOI:10.22034/jpr.2025.8559.3387

میزان ترسیب کربن در ابتدای دوره اندازه‌گیری (C_1)(تن)،

سال اندازه‌گیری میزان رویش چوبی در ابتدای دوره a(۱۳۸۳) و

b سال اندازه‌گیری میزان رویش چوبی در انتهای دوره (۱۴۰۳) می‌باشد.

تقویم اقتصادی خدمات جنگل از محل‌های تولید چوب و ترسیب کربن در شدت‌های مختلف برداشت

شیوه مورد استفاده در پژوهش حاضر برای تقویم اقتصادی ترسیب کربن اکوسیستمی و تولید چوب، به ترتیب استفاده از مالیات کربن به منظور برآورد ارزش پولی خدمت ترسیب کربن و محاسبه قیمت وزنی چوب بوده است. برای محاسبه ارزش اقتصادی جذب و ذخیره کربن از روش مخارج انتشار کربن استفاده شد (۲۹). میانگین نرخ مالیات اعمال شده برای انتشار هر تن کربن در سال ۲۰۲۴ میلادی (۱۴۰۳ شمسی) استخراج شد که این مورد به طور متوسط در کشورهای عضو اتحادیه اروپا ۵۳ دلار بوده است. لذا متوسط هزینه سالانه انتشار یک تن کربن ۳۱/۸ میلیون ریال معادل ۵۳ دلار لحاظ شد. از طرفی با توجه به استخراج درجات مختلف چوب از درختان برداشت شده، متوسط قیمت وزنی درجات مختلف یک مترمکعب چوب برآورد شد (۲) و با لحاظ قیمت درجات مختلف ۲۵۰ میلیون ریال معادل ۴۱۶/۷ دلار بر اساس قیمت اعلامی دلار توسط بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران در نیمه اول سال ۱۴۰۳ تعیین شد. به منظور تعیین ارزش فعلی (سرمایه‌ای) جنگل از محل تولید چوب و ترسیب کربن در صورتی‌که فرض شود جنگل برای بلندمدت باقی بماند به ترتیب از رابطه های ۷ و۸ استفاده شد. در این لایه ۱۰-۰، ۳۰-۱۰ و ۵۰-۳۰ سانتی‌متر صورت گرفت و سپس اقدام به مخلوط کردن نمونه‌های سه لایه به عنوان لایه واحد شد. به منظور تخمین انباشت کربن در لایه های معدنی خاک از رابطه ۵ بهره‌گیری شد (۱۳،۹).

رابطه ۵

$$C=10000*C\ (\%)*B_d*e$$

در این C (%) تراکم کربن نمونه خاک (درصد)، رابطه

وزن مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی متر مکعب)، B_d

e ضخامت لایه خاک (سانتی متر) و

C_c میزان ترسیب کربن (گرم بر مترمربع) می باشد.

نمونه‌برداری در دو دوره زمانی با فاصله ۲۰ سال انجام شد تا با تقسیم اختلاف مقادیر ترسیب کربن بر عدد ۲۰ میزان ترسیب کربن سالانه لحاظ شد. سپس با استفاده از رابطه ۶ اقدام به تعیین میزان ترسیب کربن سالانه جنگل در لایه‌های آلی و معدنی خاک شد.

C

$$_{ta}=\frac{C_2-C_1}{b-a}$$

میزان ترسیب کربن سالانه لایه‌های آلی و معدنی در این رابطه C_{ta} خاک جنگل (تن)،

میزان ترسیب کربن در انتهای دوره اندازه‌گیری (C_2)(تن)،

مقاله پژوهشی، صفحات ۳۲۸-۳۴۴
DOI:10.22034/jpr.2025.8559.3387

تجزیه و تحلیل واریانس برای مقایسه واریانس‌ها و آزمون چنددامنه دانکن برای مقایسه میانگین‌های مربوط به مقادیر ارزشی ترسیب کربن و رویش چوبی در شدت‌های مختلف برداشت چوب استفاده شد.

نتایج

تحلیل کمی تاثیر شدت برداشت بر ترسیب کربن بوم‌سازگان جنگل

بر اساس اطلاعات موجود در جدول ۱ با توجه به شدت برداشت چوب مشخص شد که میانگین رویش حجمی سالانه پارسل با شدت برداشت متوسط با مقدار ۸/۰۰ مترمکعب در هکتار در سال نسبت به دو پارسل دیگر بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده است از طرفی میزان رویش حجمی پارسل با شدت برداشت کم، کمترین مقدار را به خود اختصاص داده است (جدول ۱). میانگین سالانه تولید وزن تر و وزن خشک به ازای هر هکتار در سال در پارسل با شدت برداشت متوسط ۵/۲۰ و ۳/۰۲ تن در هکتار محاسبه شد. متوسط دی اکسیدکربن ترسیب شده سالانه در اندام های هوایی و زیرزمینی نیز در شرایط شدت برداشت متوسط به ترتیب برابر ۴/۹۲ و ۰/۹۸ تن در هکتار به‌دست آمد.

بررسی نرخ فعلی کردن ۵ درصد لحاظ شده است (۲۸،۱۰).

$$PV_C = P_C * C/r$$ رابطه ۷

$$PV_w = P_w * W/r$$ رابطه ۸

در این P_w قیمت وزنی یک مترمکعب چوب (ریال)، روابط

W میزان چوب (مترمکعب در هکتار و در سال)،

r نرخ فعلی کردن و

ارزش فعلی جنگل از محل تولید چوب می باشد. PV_w

از طرفی P_c قیمت یک تن کربن (ریال)،

C میزان ترسیب کربن (تن در هکتار و در سال)،

r نرخ فعلی کردن و

ارزش فعلی جنگل از محل ترسیب کربن می باشد. PV_c

تجزیه و تحلیل‌های آماری مقادیر ترسیب کربن

نرمال بودن داده‌ها در هر یک از گروه‌ها به‌وسیله آزمون کولموگروف- اسمیرنوف و همگن بودن داده‌ها با استفاده از آزمون لون مورد بررسی قرار گرفت. از

مقاله پژوهشی، صفحات ۳۲۸-۳۴۴
DOI:10.22034/jpr.2025.8559.3387

جدول ۱- میزان شدت برداشت، رویش حجمی، وزن های تر و خشک و ترسیب کربن در اندام های هوایی و زمینی درختان

شماره پارسل	موجودی سرپا (مترمکعب در هکتار)	شدت برداشت چوب (مترمکعب در هکتار در سال)	رویش حجمی (مترمکعب در هکتار در سال)	وزن تر (تن در هکتار در سال)	وزن خشک (تن در هکتار در سال)	دی اکسید کربن ترسیب شده در اندام های هوایی (تن در هکتار در سال)	دی اکسید کربن ترسیب شده در اندام های زیرزمینی (تن در هکتار در سال)
۲۲۸	۳۷۵	کم (۱۴/۳۶)	۵/۶۵	۳/۶۷	۲/۱۳	۳/۴۷	۰/۶۹
۲۳۱	۳۷۰	متوسط (۲۱/۶۱)	۸/۰۰	۵/۲۰	۳/۰۲	۴/۹۲	۰/۹۸
۲۳۲	۳۷۸	زیاد (۲۵/۹۵)	۶/۶۸	۴/۳۴	۲/۵۲	۴/۱۱	۰/۸۲

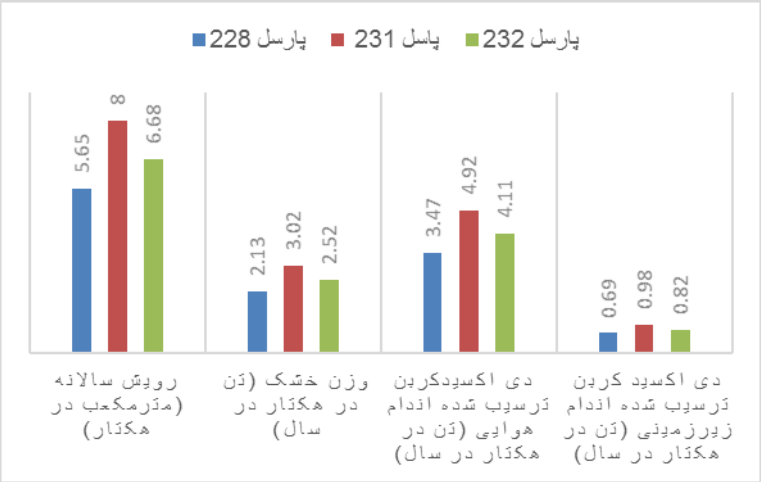
بر اساس جدول ۲ ترسیب کربن سالانه در پارسل با شدت برداشت متوسط در بخش خاک با عدد ۱/۳۰۷ تن در هکتار نسبت به دو پارسل‌های با شدت برداشت کم و زیاد بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده است که این مقدار در پارسل با برداشت کم ۱/۱۰۸ تن و در پارسل با برداشت زیاد ۱/۲۰۳ تن در هکتار بوده است.

جدول ۲- میزان ترسیب کربن در لایه های آلی و معدنی خاک جنگل

شماره پارسل	شدت برداشت چوب (مترمکعب در هکتار در سال)	میزان ترسیب کربن سالانه خاک جنگل (تن در هکتار)
۲۲۸	کم (۱۴/۳۶)	۱/۱۰۸
۲۳۱	متوسط (۲۱/۶۱)	۱/۳۰۷
۲۳۲	زیاد (۲۵/۹۵)	۱/۲۰۳

مقاله پژوهشی، صفحات ۳۲۸-۳۴۴
DOI:10.22034/jpr.2025.8559.3387

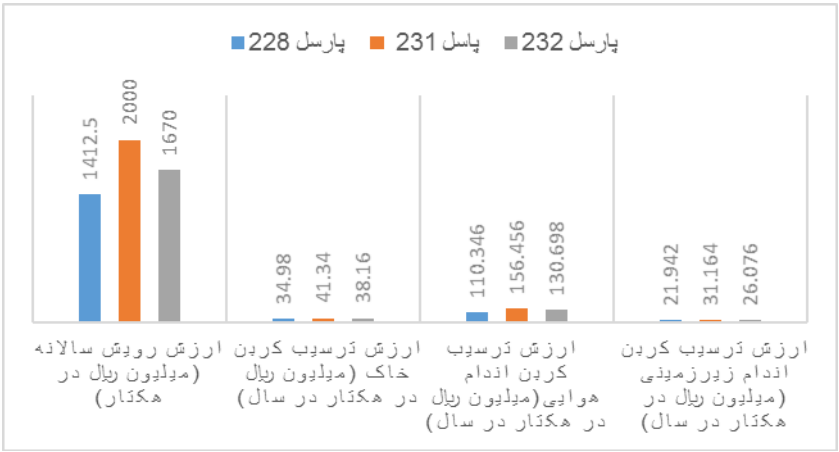
طبق اطلاعات ارائه شده در شکل ۲ مشخص شد مقادیر رویش چوبی سالانه، وزن خشک، دی اکسید کربن ترسیب شده در اندام‌های هوایی و زیرزمینی درختان جنگلی در وضعیت شدت برداشت متوسط نسبت به شدت‌های کم و زیاد بیشترین میزان را به خود اختصاص داده است.



شکل ۲- رویش چوبی سالانه، وزن خشک، دی اکسید کربن ترسیب شده در اندام های هوایی و زیرزمینی درختان جنگل

تحلیل اقتصادی تاثیر شدت برداشت بر ترسیب کربن بوم‌سازگان جنگل

در پارسل با شدت برداشت متوسط مقادیر ارزش اقتصادی رویش چوبی، وزن خشک، دی‌اکسید کربن ترسیب شده در اندام‌های هوایی و زیرزمینی درختان جنگل نسبت به مناطق با شدت برداشت کم و زیاد بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده است که به ترتیب این مقادیر در وضعیت شدت برداشت متوسط ۲۰۰۰ میلیون ریال در هکتار در سال، ۴۱/۳۴ میلیون ریال در هکتار در سال، ۱۵۶/۴۶ میلیون ریال در هکتار در سال و ۳۱/۱۶ میلیون ریال در هکتار و در سال محاسبه شد (شکل ۳).



شکل ۳- ارزش رویش چوبی سالانه، ارزش ترسیب کربن خاک جنگل و ارزش دی اکسید کربن ترسیب شده در اندام های هوایی و زیرزمینی درختان جنگل

مقاله پژوهشی، صفحات ۳۲۸-۳۴۴
DOI:10.22034/jpr.2025.8559.3387

تحلیل آماری تاثیر شدت برداشت‌های مختلف بر ترسیب کربن بوم‌سازگان جنگل

میانگین ارزش فعلی جنگل از محل تولید چوب و از محل ترسیب کربن به تفکیک در شدت برداشت‌های مختلف در جدول ۴ ارائه شده است. میانگین ارزش فعلی جنگل از محل تولید چوب و ترسیب کربن در شرایط شدت برداشت متوسط نسبت به شدت برداشت کم و زیاد بیشتر است به طوری‌که این مقادیر در شدت برداشت متوسط به ترتیب برابر ۳۹/۹۷ میلیارد ریال در هکتار و ۳/۷۵ میلیارد ریال در هکتار به دست آمد (جدول ۴).

جدول ۴- آمار توصیفی ارزش فعلی جنگل از محل تولید چوب و از محل ترسیب کربن

شدت برداشت	تعداد قطعه نمونه	ارزش فعلی جنگل از محل تولید چوب (میلیارد ریال در هکتار)			ارزش فعلی جنگل از محل ترسیب کربن (میلیارد ریال در هکتار)		
		میانگین	انحراف معیار	اشتباه معیار	میانگین	انحراف معیار	اشتباه معیار
کم	۷	۲۸/۲۵۴۳	۱/۶۲۹۷	۰/۶۱۶۰	۲/۶۴۴۳	۰/۵۲۹۳	۰/۲۰۰۱
متوسط	۱۱	۳۹/۹۷۱۸	۲/۰۱۶۹	۰/۶۰۸۱	۳/۷۴۷۳	۰/۴۷۷۷	۰/۱۴۴۰
زیاد	۸	۳۳/۳۷۵۰	۰/۶۴۰۹	۰/۲۲۶۶	۳/۱۳۷۵	۰/۱۸۴۶	۰/۰۶۵۳

نتایج آزمون تجزیه واریانس ارزش فعلی جنگل از محل تولید چوب و از محل ترسیب کربن نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین شدت برداشت‌های مختلف از محل تولید چوب (sig.=۰/۰۰۰, F=۱۱۷/۹۹۳) و از محل ترسیب کربن (sig.=۰/۰۰۰, F=۱۴/۷۴۰) در سطح معنی‌داری ۱ درصد وجود دارد (جدول ۵).

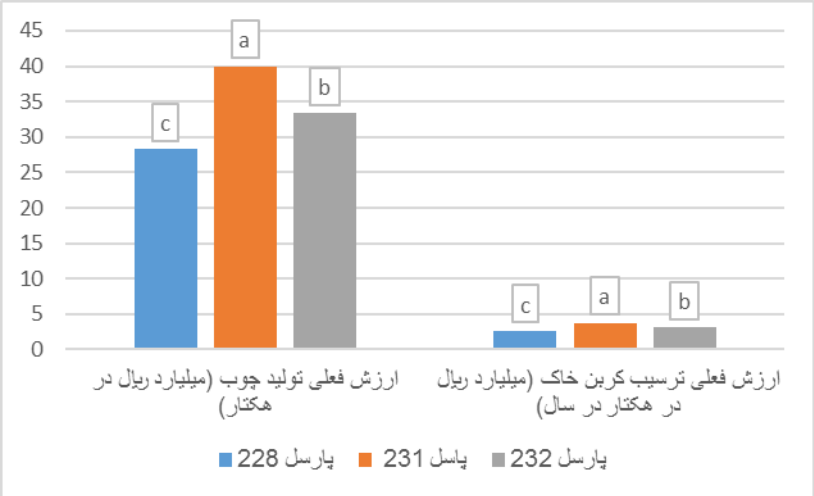
از طرفی نتایج مقایسه مقادیر ارزش فعلی جنگل از محل تولید چوب و از محل ترسیب کربن در شدت برداشت‌های مختلف با استفاده از آزمون دانکن، نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین شدت برداشت‌ها وجود دارد (شکل ۴).

جدول ۵- نتایج آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه ارزش فعلی جنگل از محل تولید چوب و از محل ترسیب کربن

موضوع تجزیه واریانس	منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	سطح معنی‌داری p_{value}
ارزش فعلی جنگل از محل تولید چوب	شدت برداشت	۲	۳۰۵/۱۹۵	۱۱۷/۹۹۳	۰/۰۰۰**
ارزش فعلی جنگل از محل ترسیب کربن	شدت برداشت	۲	۲/۶۹۳	۱۴/۷۴۰	۰/۰۰**

مقاله پژوهشی، صفحات ۳۲۸-۳۴۴
DOI:10.22034/jpr.2025.8559.3387

* اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ** اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد ^{ns} عدم اختلاف معنی‌دار



شکل ۴- نتایج آزمون مقایسه میانگین به روش دانکن ارزش فعلی جنگل از محل تولید چوب و ترسیب کربن
(در هر یک از دو قسمت ستون‌های دارای حروف انگلیسی غیرمشابه با همدیگر اختلاف معنی داری دارند)

بحث و نتیجه گیری

بر اساس نتایج پژوهش حاضر، توان فعلی بوم‌سازگان جنگل از لحاظ میزان رویش چوبی سالانه در میان-مدت تحت تاثیر شدت‌های مختلف برداشت چوب، متفاوت است به طوری‌که در وضعیت شدت برداشت متوسط، میزان رویش چوبی سالانه ۸ مترمکعب در هکتار برآورد شد که این میزان بیشتر از وضعیت‌های شدت برداشت کم (۵/۶۵ مترمکعب در هکتار) و شدت برداشت زیاد (۶/۶۸ مترمکعب در هکتار) می-باشد. همسو با این نتیجه، در پژوهشی در جنگل‌های اسالم گیلان میزان رویش چوبی سالانه جنگل یک دهه بعد از برداشت در وضعیت شدت برداشت متوسط (۹/۳ مترمکعب در هکتار) بیشتر از وضعیت-های شدت برداشت کم (۷/۴ مترمکعب در هکتار) و زیاد (۴/۸ مترمکعب در هکتار) گزارش شده است (۷) این در حالی است که در پژوهشی که در جنگل‌های چین انجام شده است اثر شدت برداشت در وضعیت-های کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد بر رشد قطری و ارتفاعی درختان در کوتاه‌مدت، منفی (کاهش حدود ۱۰ درصدی) گزارش شده است (۳۵). به استناد نتایج پژوهش حاضر و پژوهش انجام شده قبلی، به نظر می‌سد اثر شدت برداشت بعد از تاثیر منفی کوتاه‌مدت (۶) بر میزان رویش چوب بعد از یک دهه از برداشت چوبی، به تاثیر مثبت تبدیل می‌شود.

همچنین بر اساس نتایج پژوهش کنونی توان فعلی جنگل از لحاظ ترسیب کربن خاک به صورت سالانه در میان‌مدت تحت تاثیر شدت‌های مختلف برداشت متفاوت است به طوری‌که در وضعیت شدت برداشت متوسط این میزان ۱/۳ تن در هکتار برآورد شد، که بیشتر از وضعیت‌های شدت برداشت کم (۱/۱ تن در هکتار) و شدت برداشت زیاد (۱/۲ تن در هکتار) است از طرفی طبق نتایج پژوهش کنونی توان فعلی جنگل از لحاظ ترسیب دی‌اکسیدکربن درختی نیز در میان-مدت به صورت سالانه تحت تاثیر شدت‌های مختلف برداشت چوب متفاوت است به طوری‌که در وضعیت شدت برداشت متوسط این میزان ۵/۹ تن در هکتار برآورد شد، که بیشتر از وضعیت‌های شدت برداشت کم (۴/۱۶ تن در هکتار) و شدت برداشت زیاد (۴/۹۳

مقاله پژوهشی، صفحات ۳۲۸-۳۴۴
DOI:10.22034/jpr.2025.8559.3387

تن در هکتار) است. در پژوهشی میزان ذخیره کربن کل در جنگل‌های شمال ایران ۸/۶۷ تن در هکتار در سال برآورد شده است (۳۴) این در حالی است که این میزان با نتیجه تحقیق کنونی که ۷/۲ تن در هکتار در سال به دست آمده است؛ تقریبا مشابه است. اما بر خلاف نتایج پژوهش حاضر، در پژوهشی دیگر در جنگل‌های شمال ایران گزارش شده است که اثر شدت برداشت بر زیتوده انجیلی-ممرز معنی‌دار نیست و گزارش شده است که شدت برداشت متوسط، منجر به افزایش فقط ۲ درصدی زیتوده شده است (۸). شاید دلیل آن به حاصلخیزی کمتر رویشگاه انجیلی ممرز نسبت به رویشگاه آمیخته راش در تحقیق کنونی اشاره کرد. همچنین طی تحقیقی در خارج از کشور اثر شدت برداشت چوب بر موجودی کربن اکوسیستمی در کوتاه مدت (یک‌سال بعد از برداشت چوب) منفی و با کاهش حدود ۸ درصدی گزارش شده است (۳۱). در پژوهشی دیگر در جنگل‌های فنلاند از بین اثر شدت برداشت‌های مختلف، اثر شدت برداشت کم (برداشت ۶۰ درصد از کل حجم سرپا) در یک دوره بلند مدت (۱۰۰ ساله) در قالب سناریوی محیط‌زیستی اثرگذار و مثبت گزارش شده است (۲۳).

میزان ظرفیت کربن‌گیری در جنگل‌های دنیا به طور متوسط ۳/۶±۰/۴ میلیارد تن برآورد شده است. پژوهش حاضر در یک نمونه از جنگل‌های معتدله انجام شده است، به استناد نتایج بعضی گزارش‌ها ظرفیت کربن‌گیری در جنگل‌های معتدله و گرمسیری حدود ۳۰ درصد بیشتر از جنگل‌های سردسیری سوزنی‌برگ است (۳). ظرفیت ترسیب کربن در جنگل‌های دنیا طی سه دهه اخیر (۲۰۱۹-۱۹۹۰ میلادی) به میزان نصف کربنی است که در قالب سوخت‌های فسیلی در دنیا (۷/۸±۰/۴ میلیارد تن در سال) تولید شده است (۲۹) که خود رقمی قابل توجه است و می‌تواند پتانسیل جنگل‌ها را در ترسیب کربن از طریق مدیریت پایدار و همچنین جنگل‌کاری (۴،۱) نشان دهد.

از طرف دیگر در پژوهش حاضر، تفاوت ارزش اقتصادی خدمات رویش چوبی و ترسیب کربن نیز تحت تاثیر شدت‌های مختلف برداشت چوب از جنگل از نظر آماری، معنی‌دار به‌دست آمد. در پژوهشی در ایران میزان ارزش اقتصادی ترسیب کربن در جنگل-های شمال ۹/۵ میلیون ریال در هکتار در سال برآورد شده است (۱) که علت کمتر بودن میزان برآورد شده نسبت به تحقیق حاضر در وضعیت شدت برداشت متوسط (۲۲۲/۹۶ میلیون ریال در هکتار در سال) را می‌توان سال پژوهش و کمتر بودن قیمت هزینه انتشار کربن در سال بررسی بیان نمود (در سال ۱۳۹۳ هزینه انتشار هر تن دی‌اکسید کربن ۰/۲۷۹ میلیون ریال معادل ۰/۸ دلار لحاظ شده بود در حالی‌که در تحقیق کنونی این میزان ۳۱/۸ میلیون ریال معادل ۵۳ دلار لحاظ شده است)؛ چراکه از طرفی متوسط قیمت دلار از ۳۳ هزار ریال سال ۱۳۹۳ به ۶۰۰ هزار ریال در نیمه اول سال ۱۴۰۳ افزایش یافته است و از طرف دیگر روند هزینه انتشار کربن در سال‌های اخیر صعودی بوده است. طی پژوهشی دیگر برآورد شده است که میزان ارزش اقتصادی جنگل‌های پهن‌برگ آمیخته معتدله ۱۲۰۴/۴۴۶ دلار در هکتار در سال می‌باشد (۲۵). در تحقیق کنونی ارزش ترسیب کربن در بخش درختی در وضعیت شدت برداشت متوسط ۱۸۷/۶۲ میلیون ریال در هکتار برآورد شده است که با نتایج تحقیقی که در جنگل‌های شمال ایران این میزان را حدود ۱۱۰ میلیون ریال در هکتار در سال برآورد نموده است (۲۸) به دلیل فاصله زمانی تحقیق با تحقیق کنونی (فاصله ۷ ساله) همخوانی کمتری دارد. همچنین در پژوهش حاضر با در نظر گرفتن موجودیت جنگل در یک دوره خیلی بلندمدت برای عرضه خدمات، ارزش فعلی (سرمایه‌ای) جنگل از

مقاله پژوهشی، صفحات ۳۲۸-۳۴۴
DOI:10.22034/jpr.2025.8559.3387

محل ترسیب کربن ۳/۷ میلیارد ریال در هکتار و از محل تولید چوب ۳۹/۹ میلیارد ریال در هکتار برآورد شد که می‌توان احتمال داد سهم بالایی از ارزش زیست محیطی کل جنگل را به خود اختصاص می-دهد چراکه در همین راستا طی تحقیقی در جنگل-های شمال ایران ارزش دو کارکرد تولید چوب و ترسیب کربن بیش از ۹۰ درصد کل ارزش زیست محیطی جنگل گزارش شده است (۲۲).

در یک نتیجه‌گیری کلی استفاده از رویکرد اقتصاد اکولوژی در مدیریت جنگل‌های شمال ایران توصیه می‌شود در همین راستا محققان زیادی در دنیا لزوم مدیریت جنگل با رویکرد اقتصاد اکولوژیک و به شیوه پیامدگرا را تاکید نموده‌اند (۲۴،۲۰) که نتایج این پژوهش گواهی بر این ادعاست چرا که با استناد به نتایج پژوهش حاضر متوسط ارزش فعلی جنگل در وضعیت‌های شدت برداشت کم، متوسط و زیاد از محل رویش چوبی بیش از چندین برابر ارزش فعلی جنگل از محل ترسیب کربن است به عنوان نمونه در وضعیت شدت برداشت متوسط که در واقع شدت برداشت بهینه جنگل به دلیل دستیابی به بالاترین ارزش فعلی جنگل از محل‌های رویش چوبی و ترسیب کربن می‌باشد این ارزش از محل رویش چوبی حدود ۱۰ برابر ارزش فعلی از محل ترسیب کربن برآورد شده است. در این پژوهش به منظور تبدیل ارزش سالانه ظرفیت تولید چوب و ترسیب کربن توسط جنگل به ارزش فعلی (سرمایه‌ای) جنگل به عنوان یک سرمایه طبیعی، از مرابحه مرکب برای تولید یکنواخت برای عمر نامحدود استفاده شد. علت استفاده از این شیوه تنزیل، دائمی و ادامه دار بودن عرضه خدمات توسط جنگل است. با محاسبه ارزش فعلی جنگل برای یک دوره بلندمدت (ارزش سرمایه-ای) امکان انجام تجزیه و تحلیل های هزینه-فایده نیز فراهم می‌شود (۲۸) که در ارزیابی اقتصادی طرح‌های مدیریتی جنگل طبق قانون برنامه هفتم پیشرفت جمهوری اسلامی ایران قابل استفاده خواهد بود (۴،۲) چراکه فرضیه این پژوهش مبنی بر تاثیرگذار بودن شدت‌های مختلف برداشت چوب بر میزان و ارزش خدمات رویش چوبی و ترسیب کربن در میان‌مدت تایید شده است.

در راستای تایید نتایج پژوهش کنونی، نتایج پژوهشی در خارج از کشور نشان داده است که با اعمال سناریوی مدیریت اکوسیستم و بهینه‌سازی کارکردهای تولید چوب و ترسیب کربن، می‌توان میزان کیفیت زیستگاه را تا ۳۰ درصد افزایش داد (۱۹). در همین راستا در تحقیقی دیگر به اثبات رسیده است که حتی در جنگل با اعمال مدیریت و حرکت به سمت تراکم بهینه، می‌توان ترسیب کربن را تا ۳ برابر بیشتر کرد (۱۴). در پژوهشی دیگر با لحاظ دو کارکرد تولید چوب و ترسیب کربن و محاسبه مجموع ارزش فعلی جنگل حاصل از این دو خدمت (۱۲۳۸۰دلار در هکتار) به این نتیجه رسیدند که می‌توان بهینه‌سازی عملیات برداشت را با این رویکرد انجام داد (۳۱). در هر صورت می‌توان نتیجه‌گیری نمود که استفاده از دیدگاه اقتصاد اکولوژیک کمکی شایان ذکر در جهت حرکت به سمت پایداری جنگل-های کشور خواهد بود. از طرفی می‌توان نتیجه‌گیری نمود که نیاز به برداشت چوبی از جنگل احتمال دارد برای تهییج این بوم‌سازگان جهت ارائه خدمات بیشتر ضروری باشد و استفاده از این دیدگاه کمکی شایان ذکر در جهت حرکت به سمت پایداری جنگل‌ها خواهد بود؛ قطعا انجام پژوهش‌هایی در بلندمدت می-تواند به این موضوع اعتباردهی کند.

سپاسگزاری

بدین وسیله از مدیریت شرکت شفارود گیلان جهت فراهم نمودن امکانات دسترسی به جنگل برای برداشت داده¬های مورد نیاز این پژوهش کمال قدردانی به عمل می‌آید.

مقاله پژوهشی، صفحات ۳۲۸-۳۴۴
DOI:10.22034/jpr.2025.8559.3387

فهرست منابع

۱. باده‌یان، ض؛ منصوری، م و فخاری، م.ع. (۱۳۹۷). تعیین ارزش اقتصادی ترسیب کربن در گونه‌های مختلف جنگل‌کاری شده، نشریه پژوهش‌های محیط زیست، ۹ (۱۷): ۱۲۰-۱۱۱.

۲. بهجو، ف.ک؛ مجنونیان، ب؛ نمیرانیان، م؛ سعید، ا و فقهی، ج. (۱۳۹۵). برآورد میزان تولید و هزینه های بهره برداری در شرکت شفارود گیلان، نشریه جنگل و فرآورده‌های چوب، ۶۹ (۳): ۴۸۴-۴۷۳.

۳. بهجو، ف.ک و یارمحمدی، ک. (۱۳۹۹). تنوع زیستی و اکوسیستم با تاکید بر پایداری، انتشارات جهاد دانشگاهی اردبیل، ۲۱۲ص.

٤. بهجو، ف.ک؛ فدایی، پ و پوررمضان، پ. (۱۴۰۳). بررسی و مقایسهٔ تولید، هزینه و آسیب به خاک در چوبکشی نیمه‌مکانیزه و انتقال سنتی در جنگل‌های سیاهکل استان گیلان، نشریه محیط زیست طبیعی، ۷۷ (۲): ۳۱۱-۳۲۳.

۵. بی نام، طرح جنگلداری سری ۲ حوضه آبخیز چفرود شاندرمن، سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور، ۴۸۷ ص.

٦. سوری، م؛ فیاض، م.؛ کمالی، ن؛ ناطقی، س و عشوری، پ. (۱۳۹۸). توان ذخیره کربن گونه درمنه تحت تاثیر قرق (کلات سادات آباد شهرستان سبزوار)، مجله پژوهش‌های گیاهی، ۳۰ (۳): ۷۱۲-۷۰۱.

۷. کرمدوست مریان، ب؛ بنیاد، ا.ا و توانکار، ف. (۱۳۹۷). تاثیر شدت بهره‌برداری بر رویش حجمی توده‌های راش آمیخته در جنگل‌های ناو اسالم، فصلنامه پژوهش و توسعه جنگل، ۳۲ (۴): ۷۹۷-۷۸۸.

۸. ردایی، م.؛ حبشی، ه.؛ رحمانی، ر.؛ شتایی، ش و سهرابی، ه. (۱۴۰۰). تأثیر شدت برداشت در شیوه جنگلشناسی تکگزینی بر زیستتوده انجیلی- ممرز، فصلنامهٔ علمی پژوهش و توسعه جنگل، ۷ (۳): ۳۷۳-۳۵۹.

۹. گرجی بحری، ی؛ همتی، ا و مهدوی، ر. (۱۳۸۶). اثر تنک کردن ملایم و شدید در توده‌های دست‌کاشت کاج تدا در گیلان، تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۵ (۳): ۲۱۷-۲۳۲.

۱۰. منتظرحجت، ا.ح و منصوری، ب. (۱۳۹۵). ارزش‌گذاری اقتصادی منافع محیط‌زیستی (مطالعه موردی: تالاب بامدژ)، مجله مطالعات اقتصادی کاربردی ایران، ۵ (۱۸): ۲۴۳-۲۶۹.

۱۱. واحدی، ع.ا. (۱۳۹۶). اندازه‌گیری و مدل-سازی آلومتری ترسیب کربن تنه تجاری درختان در جنگل آمیخته راش شرقی، مجله پژوهش‌های گیاهی، ۳۰ (۳): ۷۱۲-۷۰۱.

۱۲. یزدانی، س و عباسی، ا. (۱۳۸۹). برآورد ارزش اقتصادی منافع زیستمحیطی جنگل‌ها (مطالعه موردی: بخش نمخانه جنگل خیرودکنار شهرستان نوشهر، مجله تحقیقات اقتصاد کشاورزی، ۲ (۳): ۵۳-۳۳.

مقاله پژوهشی، صفحات ۳۲۸-۳۴۴
DOI:10.22034/jpr.2025.8559.3387

13. Aponte C, Kasel S, Nitschke CR, Tanase MA, Vickers, H., Parker, L., Fedrigo, M., Kohout M, Ruiz-Benito P, Zavala MA, Bennett LT (2020). Structural diversity underpins carbon storage in Australian temperate forests. Global Ecol Biogeogr, 29(5):789–802.
14. Bai Y, Ding G (2024). Estimation of changes in carbon sequestration and its economic value with various stand density and rotation age of Pinus massoniana plantations in China. Nature, 14: 16852.
15. Behjou FK (2014). Effects of Wheeled Cable Skidding on Residual Trees in Selective Logging in Caspian Forests. Small-scale Forestry, 13 (3): 367-376.
16. Buotte PC, Levis S, Law BE (2019). NACP: forest carbon stocks, fluxes and productivity estimates, western USA, 1979-2099. ORNL DAAC. Oak Ridge, Tennessee, USA. 10.3334.
17. Cameron DR, Marvin DC, Remucal JM, Passero C (2017). Ecosystem management and land conservationcan substantially contribute to California's climate mitigation goals. Proceedings of the National Academy of Sciences. USA114:12833–12838.
18. Canadell JG, Raupach MR (2008). Managing forests for climate change mitigation. Science, 320:1456–1457.
19. Carpentier S, Filotas E, Handa IT, Messier C (2017). Trade-offs between timber production, carbon stocking and habitat quality when managing woodlots for multiple ecosystem services. Environ. Conserv, 44: 14–23.
20. Diaz DD, Loreno S, Ettl GJ, Davies B (2018). Tradeoffs in timber, carbon, and cash flow under alternative management systems for Douglas-fir in the Pacific Northwest. Forests, 9: 447.
21. Guo ZW, Wang XP, Fan DY (2021). Ecosystem functioning and stability are mainly driven by stand structural attributes and biodiversity, respectively, in a tropical forest in Southwestern China. For Ecol Manag., 481:118696.
22. Hashemnejad A, Mohamadinejad A, Amirnejad H, Moghaddasi R (2024).Valuation of Market and Non-Market Goods and Services of the Forest Ecosystem of Northern Iran (Hyrcanian Forests). Journal of Environmental and Natural Resource Economics, 4 (8): 103-136.
23. Hohti J, Eyvindson K, Kotiaho JS, Mönkkönen M (2024). Boreal forest multifunctionality under varying harvesting intensity and forest management priorities. European Journal of Forest Research, 3 (3): 30-42.
24. Huang Ch, Fu S, Tong Y, Ma X, Yuan F, Ma Y, Feng C, Liu H (2023). Impacts of Forest Management on the Biodiversity and Sustainability of Carya dabieshanensis Forests. Forests, 14 (1): 1331.

مقاله پژوهشی، صفحات ۳۲۸-۳۴۴
DOI:10.22034/jpr.2025.8559.3387

25. Kothandaraman S, Ahmad Dar J, Sundarapandian S, Dayanandan S, Khan M (2020). Ecosystem-level carbon storage and its links to diversity, structural and environmental drivers in tropical forests of Western Ghats. India Sci Rep., 10:13444.
26. Li Y, Bao WK, Bongers F, Chen B, Chen GK, Guo K, Jiang MX, Lai JS, Lin DM, Liu CJ, Liu XJ, Liu Y, Mi XC, Tian XJ, Wang XH, Xu WB, Yan JH, Yang B, Zheng YR, Ma KP (2019). Drivers of tree carbon storage in subtropical forests. Sci Total Environ, 654:684–693.
27. Liu Z, Kimball JS, Parazoo NC (2020). Increased high-latitude photosynthetic carbon gain offset by respiration carbon loss during an anomalous warm winter to spring transition. Glob Change Biol., 26(2):682–96.
28. Mohammadi Z, Mohammadi Limaei S, Lohmander P, Olsson L (2017). Estimating the aboveground carbon sequestration and its economic value (case study: Iranian Caspian forests). Journal of Forest Science, 63 (11): 511–518.
29. NOAA. (2024). Monthly Average Mauna Loa CO2. Trends in CO2, CH4, N2O, SF6, Global Monitoring Laboratory. 46pp.
30. Pan Y, Birdsey RA, Phillips OL (2024). The enduring world forest carbon sink, Nature, 631: 563-579.
31. Quintero-Mendez MA, Jerez-Rico M (2019). Optimizing thinning for timber production and carbon sequestration in planted teak (*Tectona grandis L.f.*) stands. Forest Systems, 28 (3): 1-14.
32. Simard SW, Roach WJ, Defrenne CE, Pickless BJ (2020). Harvest intensity effects on carbon stocksand biodiversity are dependent on regional climate in Douglas-fir forests of British Columbia. Frotiers in Forests and Global Change, 3 (2): 1-20.
33. Ullah F, Gilani H, Sanaei A, Hussain K, Ali A (2021). Stand structure determines aboveground biomass across temperate forest types and species mixture along a local-scale elevational gradient. For Ecol Manag, 486:118984.
34. Zhang T, Yu L, Man L, Yan Q (2021). Effects of harvest intensity on the marketable organ yield, growth and reproduction of non-timber forest products (NTFPs): implication for conservation and sustainable utilization of NTFPs. *Forest* Ecosystems, 8 (56): 1-10.
35. Zhou D, Zhao SQ, Liu S, Oeding J (2013). A meta-analysis on the impacts of partial cutting on forest structure and carbon storage. *Biogeosciences*, 10(6):3691.

مقاله پژوهشی، صفحات ۳۲۸-۳۴۴

DOI:10.22034/jpr.2025.8559.3387

Medium-term economic evaluation of forest harvest intensity impact on wood growth and carbon sequestration services in western part of Guilan province, Iran

Farshad Keivan Behjou

Professor, Department of Forest science and engineering, Faculty of Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

*Corresponding author Email: f_keyvan@uma.ac.ir

Abstract

In present research, the influence of harvesting intensity on forest wood growth and carbon sequestration services was evaluated following 20 years from logging in tree and soil sections in western part of Guilan province, Iran. For this, three compartments with similar site conditions but different harvest intensities and 20 years harvestion history in west part of Gilan forest were selected and wood growth also carbon sequestratin were estimated. For determining wood growth, was used systematic sampling method with establishment 1000m^2 fixed plots. Carbon sequestration amounts in tree and soil sections were estimated using photosynthesis and respiration equation and wood products amounts were estimated with measuring annual growth. The average carbon emission cost calculated 31.8MillionRials (53$) and the average weithed wood price calculated 250 MillionRials (416.7$). The results of ANOVA test showed that forest capital value was significantly different at one percent level regarding wood production (sig.=0.000, F=117.993) and carbon sequestration (sig.=0.001, t=8.99). There was significant differences between two ecosystem services regarding wood production and carbon sequestration (sig.=0.001, F=14.740). According to the results, it is concluded that probably in medium harvest intensity level, wood growth and carbon sequestration in forest ecosystems can be increase that this important note maybe help forest managers to make better decision for managing forest in general level so that provide movement to sustainable forest management.

Key words: Harvest intensity, Forest economic value, Wood growth and carbon sequestration services, Guilan forests.