دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
بوم‌شناسی جنگل‌های ایران

تعیین سن بهینه بهره‌برداری جنگل‌کاری صنوبر دلتوئیدس (*Populus deltoides*) با توجه به ارزش اقتصادی ترسیب کربن

طوبی عابدی[۱]، سلیمان محمدی لیمائی[۲]، امیراسلام بنیاد[۲] و جواد ترکمن[۳]

۱- عضو هیات علمی پژوهشکده محیط زیست جهاد دانشگاهی، رشت، ایران، (نویسنده مسوول: t.abedi@acecr.ac.ir)
۲ و ۳- استاد و دانشیار، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه سرا، ایران
تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۶/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۸/۱۳
صفحه: ۲۲ تا ۳۱

چکیده

در این تحقیق به تعیین سن بهینه بهره‌برداری در جنگل‌کاری صنوبر دلتوئیدس (*Populus deltoides*) با توجه به ارزش خالص فعلی ترسیب کربن پرداخته شده است. برای تعیین ارزش خالص فعلی کربن از مدل فاستمن برای جنگل‌های همسال استفاده شده است. منطقه مورد مطالعه جنگل‌کاری صنوبر دلتوئیدس چوبر شفت واقع در غرب استان گیلان می‌باشد. در این مطالعه که در سال ۱۳۹۷ انجام شد، ابتدا یک قطعه نمونه یک هکتاری برداشت و سپس پانزده اصله درخت صنوبر دلتوئیدس در قطعه نمونه با پراکنش کافی در طبقات قطری انتخاب و برای انجام آنالیز تنه، قطع شدند. رویش حجم با انجام آنالیز تنه و میزان کربن اندام‌های هوایی با استفاده از روش احتراق مورد محاسبه قرار گرفت. سپس ارزش خالص فعلی ترسیب کربن برای دوره نامتناهی با استفاده از میزان رویش حجمی، اندوخته کربن، نرخ سود، قیمت تعدیل شده کربن و درآمد خالص محاسبه شد. سن بهینه بهره‌برداری با در نظر گرفتن هزینه‌های جنگل‌کاری ۲۷ سال به‌دست آمد. بررسی حساسیت پذیری برای متغیرهای نرخ سود، هزینه جنگل‌کاری و قیمت کربن انجام شد. با افزایش نرخ سود، سن بهینه بهره برداری کاهش می یابد. با افزایش هزینه بهره‌برداری سن بهینه بهره‌برداری نیز افزایش و ارزش خالص فعلی کاهش می‌یابد. با افزایش قیمت کربن، سن بهره برداری بهینه کاهش و ارزش خالص فعلی افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: سن بهینه بهره‌برداری، ارزش خالص فعلی، ترسیب کربن، بهینه سازی

مقدمه

مسأله قدیمی در اقتصاد جنگل تعیین سن بهره‌برداری برای یک جنگل همسال بود که بیشینه ارزش خالص فعلی[۱] در یک افق نامحدود از چرخه زادآوری، رشد و بهره‌برداری به‌دست می‌آید. سن بهره‌برداری بهینه یعنی سنی که در آن مقدار ارزش خالص فعلی جنگل‌کاری با توجه به قیمت چوب سرپا، درصد سود بانکی و میزان رویش سالیانه به بیشینه برسد (۲۱). امروزه علاوه بر ارزش چوب، ارزش سایر خدمات بوم‌سامانه جنگل از جمله ترسیب کربن نیز از اهمیت ویژه‌ای در مباحث اقتصاد جنگل دارد. با توجه به اهمیت موضوع گرمایش جهانی و اثرات گازهای گلخانه‌ای بسیاری از توافق‌نامه‌های ملی و بین‌المللی از جمله توافق‌نامه پاریس و معاهده تغییر اقلیم سازمان ملل بر ثبات کربن جو تأکید دارند. جذب و ذخیره کربن فرآیندی حیاتی در مبارزه جهانی با تغییر اقلیم است. با جذب و ذخیره دی‌اکسیدکربن انتشاریافته در جو از اثر گلخانه‌ای جلوگیری به‌عمل‌می‌آید که به این عمل جذب و تثبیت کربن را ترسیب کربن می‌گویند (۲). جنگل‌ها کم‌هزینه‌ترین روش از لحاظ اقتصادی برای کاهش اثرات گلخانه‌ها و سیاست‌های اقلیمی مربوط به تعادل کربن شناخته شده‌اند. پروتکل کیوتو طی راه‌کار توسعه پاک بر توسعه جنگل‌کاری‌ها برای کاهش گازهای گلخانه‌ای تاکید کرده است. در مطالعات اقتصادی جنگل بسیاری از بررسی‌های ترسیب کربن بر منابع کربن در زی‌توده زنده تمرکز دارند و تصمیم‌گیری‌های مدیریتی مانند سن بهره‌برداری می‌تواند اثر مهمی بر ذخایر کربن خاک داشته باشد

فاستمن (۸) اولین بار سن بهینه بهره‌برداری را برای ارزش چوب به‌دست‌آورد. فاستمن سن بهره‌برداری بهینه برای دوره نامتناهی را برای جنگل ارائه داد. هارمن (۱۰) مدل او را با ارزش‌هایی علاوه بر ارزش درختان سرپا توسعه داد. از بین مطالعات انجام شده، مدل فاستمن (۸) بهترین مدل برای تعیین سن بهینه بهره‌برداری از طریق بیشینه کردن درآمد خالص مورد قبول واقع شده‌است. در این مدل فرض شده که تولید جنگل به‌طور دائمی ادامه خواهدداشت، بنابراین واضح است که تصمیم‌گیری امروز روی فرصت‌های آینده اثر دارد. فاستمن سن بهره‌برداری بهینه برای دوره نامتناهی را برای جنگل ارائه داد. مدل هارمن (۱۰) توسط ونکوتن و همکاران (۳۳) به‌عنوان اولین تحقیقات اثر قیمت کربن بر سن بهینه بهره‌برداری جنگل در غرب کانادا استفاده‌شد. در بررسی آن‌ها اندوخته کربن ذخیره شده در توده جنگلی نسبتی از حجم دادوستد چوب در توده در سن خاص است. در ابتدای دهه ۱۹۸۰ مطالعه هزینه‌های جنگل‌کاری همراه با ترسیب کربن در آمریکا آغاز شد و با برآورد هزینه‌ها، نتایج متفاوتی به‌دست‌آمد (۹،۲). وجود روند پویا در جنگل سبب اضافه کردن یک چهارچوب بهینه‌سازی پویا به مدل فاستمن شد که به‌وسیله آن علاوه بر سن بهینه بهره‌برداری، میزان بهره‌برداری در جنگل قابل محاسبه شد (۹). امروزه مدل فاستمن مدل غالب در محاسبات اقتصاد جنگل و تعیین بهره‌برداری بهینه است. از سال ۲۰۰۰ تا کنون بیش از ۳۰۰ مقاله با استفاده از مدل فاستمن و توسعه این مدل به چاپ رسیده‌است (۹). از مهم‌ترین آن‌ها که تعیین سن بهینه بهره‌برداری همراه با ترسیب کربن است، می‌توان تحقیقات دیازبالتیرو و رودرینگز (۵)، اسانته (۲)، نقیم (۲۸)، ژو و گائو (۳۴)، اخلم (۶)، کلش (۱۳)، لوتز و همکاران (۱۸)، ریچاردز و استوکز (۳۰)، زوبیزارتا-گرندیان و همکاران (۳۶)، کولا و گونالای (۱۵) را نام برد.

1- Net Present Value

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1399.8.15.4.7]
[DOI: 10.52547/ifej.8.15.22]

مدل هارمن (۱۰) از توسعه مدل فاستمن به‌دست آمد، بیشتر مطالعات انجام شده در مورد ترسیب کربن در اقتصاد جنگل از مدل هارمن (۱۰) استفاده کرده‌اند که بیان می‌کند سن بهینه بهره‌برداری جنگل ممکن است با در نظر گرفتن ارزش‌های غیر چوبی جنگل یا ارزش‌های غیرچوبی همراه با ارزش چوب افزایش یابد.

تعیین سن بهره‌برداری بهینه صنوبر دلتوئیدس با استفاده از مدل فاستمن در استان گیلان انجام شده که در آن، سن بهره‌برداری بهینه صنوبر دلتوئیدس با استفاده از مدل‌های رویش و قیمت چوب به‌ازای مقادیر مختلف سود بانکی و تراکم‌های مختلف جنگل‌کاری به‌دست آمد. نتایج نشان داد که سن برداشت بهینه صنوبر دلتوئیدس در استان گیلان در فواصل کاشت مختلف و به‌ازای سودهای مختلف بانکی بین ۸ تا ۲۵ سال تغییر می‌کند (۲۱). این روش برای تعیین سن بهره‌برداری گونه پالونیا در پارسل ۲ سری یک طرح جنگل‌داری دکتر بهرام‌نیا (شصت‌کلاته گرگان) به‌کار گرفته‌شد (۲۶). همچنین در جنگل‌کاری کاج بروسیا در خرم‌آباد با استفاده از مدل فاستمن و روش آنالیز تنه به بررسی سن بهره‌برداری پرداخته شد (۲۹،۲۷). سن بهینه بهره‌برداری در دو جنگل‌کاری اکالیپتوس در برزیل و اسپانیا با توجه به ترسیب کربن نسبت به تغییرات قیمت کربن و نرخ تنزیل حساسیت نشان‌داده‌است (۵). تعیین سیاست بهینه مدیریت توده جنگلی با استفاده از مدل توسعه یافته فاستمن، زمانی که هم بهره‌برداری چوب و هم ترسیب کربن مدنظر است در جنگل‌های سوزنی‌برگ غرب کانادا نشان داد که سطح اولیه ذخیره کربن به‌طور معنی‌داری بر درآمد اقتصادی مدیریت کربن تأثیر دارد (۲). مدلی که برای جنگل‌کاری اوکالیپتوس در ویتنام توسعه یافت ضمن بیشینه کردن ارزش خالص فعلی حاصل از فروش چوب و ترسیب کربن، حفظ تنوع زیستی در سطح مناسب را نیز در برگرفته و نتایج نشان داد سن بهینه بهره‌برداری برای حفظ تنوع زیستی، طولانی‌تر از سن بهره‌برداری برداشت چوب و ترسیب کربن است (۲۸). مدل هارمن برای تعیین سن بهینه با توجه به ارزش‌های اقتصادی چوب و پویایی کربن در جنگل‌کاری‌های تندرشد زود بازده *Cunninghamia lanceolata* در چین مورد استفاده قرار گرفت و به بررسی تأثیر تجارت کربن بر مدیریت جنگل پرداخته‌شد (۳۴) همچنین در جنگل‌کاری *Pinus brutia* در ترکیه سن بهینه بهره‌برداری با در نظر گرفتن ترسیب کربن بیشتر از این سن با در نظر گرفتن ارزش اقتصادی چوب در تمامی فواصل کاشت جنگل‌کاری مورد نظر بود (۱۳). نتایج مطالعه‌ای در مورد تأثیر کربن بر سن بهینه بهره‌برداری نشان داد که قیمت اولیه کربن و نرخ رویش، طول چرخش بهره‌برداری را افزایش می‌دهند (۶).

بررسی سوابق تحقیق نشان داد که تاکنون تحقیقاتی در مورد تعیین سن بهره‌برداری بهینه درختان جنگلی با هدف اقتصادی (بیشینه ارزش خالص فعلی حاصل از برداشت چوب) و هدف زیست‌محیطی (ترسیب کربن) در کشورهای دیگر انجام شده است. در این تحقیق برآن شدیم تا این دو مبحث مهم اقتصادی و زیست‌محیطی را به‌طور توأم برای گونه صنوبر دلتوئیدس که گونه‌ای تندرشد و با اهمیت اقتصادی در کشور ما محسوب می‌شود، برای اولین بار در ایران مورد بررسی قرار دهیم. هدف از این تحقیق تعیین سن بهینه بهره‌برداری جنگل‌کاری صنوبر دلتوئیدس با محاسبه ارزش خالص فعلی ترسیب کربن است.

مواد و روش‌ها

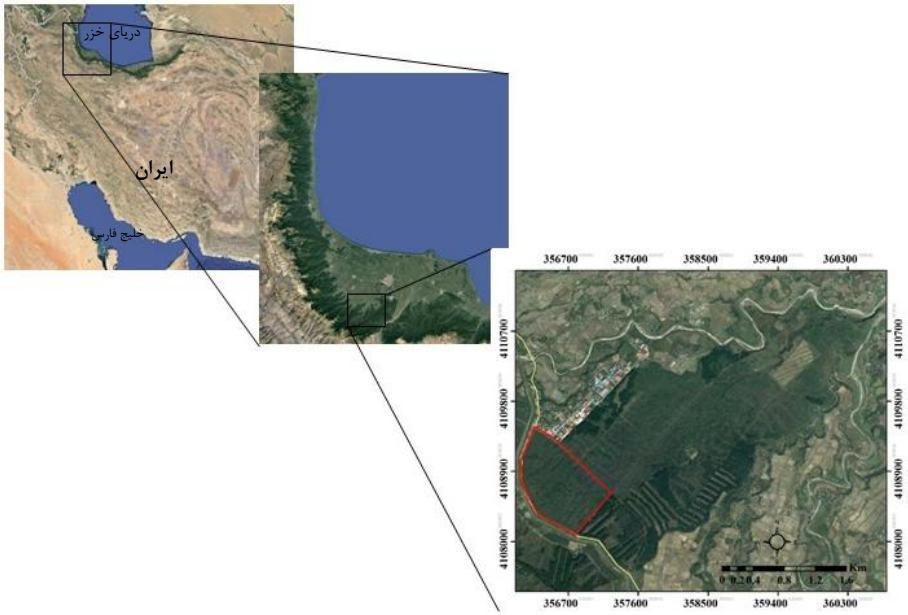
منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه پارسل یک از جنگل‌کاری صنوبر دلتوئیدس (*Populus deltoides*) چوبر شهرستان شفت و بخشی از جنگل‌های حوزه آبخیز ۱۷ امام زاده ابراهیم واقع در استان گیلان است. طرح چوبر بر اساس مختصات جغرافیایی در طول "۴۵ ´۲۲ °۴۹ تا "۰۶ ´۲۶ °۴۹ و عرض "۱۹ ´۰۶ °۳۷ تا "۱۵ ´۰۸ °۳۷ واقع شده است (شکل ۱). پارسل ۱ به مساحت ۶۶ هکتار در سال ۱۳۶۰ با گونه صنوبر دلتوئیدس (*Populus deltoides*) با فاصله کاشت ۳×۳ متر (نه مترمربع) جنگل‌کاری شده است.

روش‌ها

در منطقه مورد مطالعه یک قطعه نمونه یک هکتاری برداشت شد (۱،۲۵). در قطعه نمونه، قطر برابر سینه تمامی درختان با کالیپر تا دقت سانتی‌متر و ارتفاع کل درخت با دستگاه سونتو تا دقت متر اندازه‌گیری شد. سپس پانزده اصله درخت صنوبر دلتوئیدس در قطعه نمونه با پراکنش کافی در طبقات قطری به‌صورت تصادفی انتخاب و برای انجام آنالیز تنه، قطع شد (۱۹). پس از ثبت ارتفاع کنده، تنه‌ها به بینه‌های ۲/۳۰ متری تقسیم و از انتهای هر بینه یک دیسک تهیه شد. عرض دیسک‌ها برای جلوگیری از شکستن در هنگام حمل و نقل هشت سانتی‌متر در نظر گرفته شد. سطح دیسک‌ها با استفاده از سمباده صیقل داده شد. سپس به شمارش دوایر سالیانه اقدام گردید تا سن درخت در ارتفاع‌های مختلف درخت مشخص شود. برای اندازه‌گیری قطر، دو قطر عمود بر هم دیسک‌ها مشخص و بر حسب میلی‌متر اندازه‌گیری شد (۳۲،۱۲،۱۴).

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1399.8.15.4.7]
[DOI: 10.52547/ifej.8.15.22]



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه جنگل‌کاری صنوبر دلتوئیدس (*Populus deltoides*) شهرستان شفت، استان گیلان
Figure 1. Study area geographical location of *Populus deltoids* plantation, Shaft city, Gilan Province

تعداد و سطح مقطع در هکتار محاسبه و حجم با استفاده از فرمول اسمالیان به‌صورت رابطه (۱) تعیین (۳۵،۷) و رویش قطر، سطح مقطع و حجم نیز محاسبه شد.

$$V = \frac{1}{2(S_a + S_b) \times L} \qquad (۱)$$

که در آن، V: حجم (مترمکعب در هکتار)، S_a: سطح مقطع ابتدای بینه، S_b: سطح مقطع انتهای بینه و L: طول بینه
رویش جاری حجم در سنین مختلف با توجه به جدول آنالیز تنه به صورت رابطه (۲) محاسبه شده است (۳۵):

$$V'(t) = V(t+1) - V(t) \qquad (۲)$$

که در آن، $V'(t)$: رویش جاری حجم، $V(t+1)$: حجم در سن $(t+1)$ و $V(t)$: حجم در سن (t).

با توجه به این‌که در هر نوع برنامه‌ریزی برای بهره‌برداری از جنگل و کنترل و تنظیم جنگل، آگاهی از میزان دقیق رویش، امری بدیهی است، روش آنالیز تنه به‌عنوان روشی کارآمد در بررسی عوامل رویشی درختان در طول سال‌های زندگی آن‌ها از ابتدای کاشت تا زمان قطع و سیر تحول عوامل مورد مطالعه بوده و راهکاری علمی برای دستیابی به نتایج مطلوب در مورد داده‌های تاریخی جنگل‌کاری می‌باشد. پهنای نسبی یک حلقه سالانه، به مقدار زیادی به وسیله نرخ رشد درختان در طول سال رشد، تحت تأثیر قرار می‌گیرد. در نواحی معتدل، حلقه‌های درختی عامل قابل اعتمادی برای ارزیابی سن و نرخ رشد درختان هستند چرا که در این مناطق با توجه به ساختار آناتومیکی درخت و شرایط آب و هوایی، هر یک از این دوایر رویشی مبین یک سال از زندگی درخت می‌باشند (۱۹).

منظور بررسی چگالی چوب از مرکز دیسک به سمت بیرون دیسک قطعات چوبی با ابعاد مساوی ۴×۴×۴ سانتی‌متر جدا شد. وزن و حجم اولیه نمونه‌های تهیه شده مورد اندازه‌گیری قرار گرفته و به مدت ۲۴ ساعت در درون آب قرار گرفتند تا اشباع شوند. سپس ابعاد و حجم هر یک از نمونه‌ها توسط کولیس به دقت یک صدم میلی‌متر اندازه‌گیری شد. پس از تعیین حجم اشباع، نمونه‌ها در داخل اون با درجه حرارت ۱۰۰±۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند تا کاملا خشک شوند. در پایان، نمونه‌ها پس از خنک شدن با ترازو توزین شدند و حجم آن‌ها محاسبه‌شد. با استفاده از رابطه (۳) چگالی بحرانی محاسبه (۱۹، ۱۴، ۱۲) و از چگالی چوب برای تبدیل حجم به وزن چوب و وزن کربن استفاده شد.

$$D_r = \frac{m_0}{v_w} \qquad (۳)$$

که در آن، D_r: چگالی بحرانی چوب صنوبر دلتوئیدس، m_0: وزن خشک و v_w: حجم اشباع می‌باشند.

اندازه‌گیری کربن

از درختان قطع شده تعدادی دیسک از تنه و شاخه‌ها با پراکنش کافی در طبقات قطری به‌صورت تصادفی انتخاب و برای اندازه‌گیری کربن به آزمایشگاه انتقال داده شد. به‌طوری‌که از هر دیسک در محور شعاعی از مغز به سمت پوست تعدادی نمونه برداشته و برای تعیین کربن به روش احتراق در کوره الکتریکی مورد استفاده قرار گرفت. میزان کربن در اندام‌های هوایی (تنه و شاخه‌ها) اندازه‌گیری شدند به‌دلیل این‌که بخش درآمد حاصل از جنگل‌کاری از چوب است (۱۱،۱).

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1399.8.15.4.7]
[DOI: 10.52547/ifej.8.15.22]

در مرحله بعد مدل ترسیب کربن با استفاده از رگرسیون غیرخطی $y = ab^x x^c$ به‌دست‌آمد. که در آن y متغیر وابسته کربن (تن در هکتار) و x متغیر مستقل سن و a، b و c ضرایب رگرسیون هستند. معنی‌دار بودن مدل با تحلیل واریانس بررسی شد و برازش منحنی به روش حداقل مربعات انجام گردید (۱۶،۱). این مراحل در نرم‌افزار Curve expert 2.6.5 انجام شد.

معادله قیمت کربن

دو دیدگاه در مورد برآورد قیمت‌ها در بین اقتصاددانان وجود دارد دیدگاه اول این است که قیمت از مدل خود کاهشی مانا[1] پیروی می‌کند. این بدین مفهوم است که تغییرات در یک دوره تأثیر زیادی بر روی قیمت دوره بعد نخواهد داشت و بهترین شیوه برآورد قیمت‌ها، میانگین قیمت‌های گذشته است. قیمت در این صورت می‌تواند با استفاده از معادله (۴) برآورد شود.

$$P_{t+1} = \alpha + \beta P_t \qquad (۴)$$

که در آن، P_{t+1} قیمت در زمان t+1 ، P_t قیمت در زمان t، α و β ضرایبی که از طریق رگرسیون به‌دست آمده‌اند و ۱>β >۰ است. دیدگاه دوم این است که قیمت نامانا[2] است و شرط مانایی را که قبلاً ذکر شد دارا نیست. یعنی قیمت در دوره یا سال آینده کاملاً به دوره یا سال ماقبل خودش وابسته است. قیمت در این صورت می‌تواند با استفاده از معادله (۵) برآورد شود.

$$P_{t+1} = \beta P_t, \beta < 1 \qquad (۵)$$

که در آن β=1 به‌دست می‌آید (۲۲،۲۱،۱۷).

برای تعدیل قیمت کربن از داده‌های تاریخی قیمت کربن در بازه زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۷ ارائه شده توسط European Climate Exchange استفاده گردید (۳،۲).

به‌منظور پیش‌بینی قیمت کربن ابتدا مطابق معادله (۶) قیمت‌های اسمی به قیمت‌های واقعی یا تعدیل شده تبدیل و تورم حذف شد. شاخص بهای کالاها و خدمات مصرفی بانک مرکزی به‌منظور حذف تورم و به‌دست آوردن قیمت‌های واقعی (تعدیل شده) به‌کار گرفته شد (۴) و رابطه (۶) برای محاسبه قیمت واقعی کربن مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به این‌که مقدار تولید کربن با تولید چوب و قیمت چوب مرتبط است و در تعیین درآمدها و هزینه‌ها باید از قیمت‌های داخلی استفاده شود بنابراین لازم است قیمت کربن بر اساس قیمت داخلی تعدیل شود. داده‌های پولی باید با توجه به شاخص بهای کالاها و خدمات مصرفی یا شاخص قیمت‌ها نسبت به سال پایه تعدیل شود تا روند تغییر متغیر مربوطه واقعی باشد و تغییرات تورم تاثیری در بررسی افزایش یا کاهش داده‌های تاریخی نداشته باشد (۲۴).

$$P_I = \frac{P_t \times 100}{Y_t} \qquad (۶)$$

P_I: قیمت تعدیل شده به سال پایه، P_t: قیمت در سال t، Y_t: شاخص قیمت‌ها در سال t و عدد ۱۰۰ میزان شاخص قیمت‌ها در سال پایه (۱۳۹۶) است (۲۸).

با توجه به این‌که قیمت کربن دارای دامنه وسیعی است و در واقع مقدار مشخصی برای آن در دنیای واقعی تعریف نشده. قیمت کربن در طی زمان بسیار متغیر است. اگر اقدامات کاهش به شیوه‌ای مقرون‌به‌صرفه انجام شود، قیمت کربن در طی زمان ممکن است با نرخی افزایش یابد و نزدیک به بهره‌وری نهایی سرمایه برسد. از طرف دیگر نرخ رشد قیمت کربن باید به اندازه کافی کمتر از نرخ تنزیل باشد. هر دو نرخ باید برای حفظ تابع هدف مسأله بهینه‌سازی محدود و تقریبا با زمان محدود مطابقت داشته باشد، بنابراین قیمت کربن و نرخ رشد قیمت کربن (نرخ سود کربن) می‌توانند به‌عنوان متغیر تصادفی در نظر گرفته شوند و در این تحقیق با بررسی منابع متوسط نرخ سود کربن در محاسبه ۳٪ در نظر گرفته شد (۶).

تعیین ارزش خالص فعلی برای سری دوره‌ای نامتناهی

برای تعیین ارزش خالص فعلی کربن از مدل فاستمن (۸) برای جنگل‌های همسال استفاده شده‌است. برای محاسبه ارزش خالص فعلی برای دوره نامتناهی از معادله (۷) استفاده‌شد.

$$\pi = PV(t)e^{-rt} + PV(t)e^{-2rt} + PV(t)e^{-3rt} + \ldots \qquad (۷)$$

پس از بهینه‌سازی و مشتق‌گیری از معادله (۷) در نهایت معادله (۸) برای محاسبه ارزش خالص فعلی سری دوره‌ای نامتناهی به‌دست خواهد آمد.

$$NPV = \frac{R}{(1+r)^2 - 1} \qquad (۸)$$

که در آن، R: درآمد خالص (ریال)، r: نرخ سودبانکی (٪) و t: سن (سال) است.

این معادله با در نظر گرفتن هزینه جنگل‌کاری به‌صورت معادله (۹) در می‌آید.

$$\frac{dR_t}{d_t} = \frac{r(R_t - C)}{1 - e^{-rt}} \qquad (۹)$$

که در آن، R_t: درآمد خالص (ریال) در سال t، r: نرخ سودبانکی (٪)، C: هزینه جنگل‌کاری و t: سن (سال) است. سمت چپ معادله، درآمد نهایی و سمت راست، هزینه فرصت بهره‌برداری است. سن بهینه بهره‌برداری سنی است که در آن درآمد برابر با هزینه باشد. به‌عبارت دیگر دو طرف معادله (۹) با یکدیگر برابر باشد.

نتایج و بحث

تعداد هشت طبقه قطری ده سانتی‌متری (از طبقه ۱۰ تا ۴۵ سانتی‌متر) وجود داشت. مشخصات کمی توده شامل مقادیر میانگین قطر برابر سینه، ارتفاع، سطح‌مقطع در هکتار و حجم در هکتار در جدول (۱) آمده است.

بیشترین میزان رویش جاری قطر مربوط به سن ۱۳ سالگی با مقدار ۰/۹۲ سانتی‌متر و بیشترین رویش جاری سطح مقطع مربوط به سن ۱۴ سالگی با مقدار ۰/۰۰۱۷ می‌باشد. بیشترین رویش جاری حجم مربوط به سن ۱۴ سالگی با مقدار ۰/۰۰۴۶ مترمکعب می‌باشد.

1- Stationary autoregressive

2- Non stationary

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1399.8.15.4.7]
[DOI: 10.52547/ifej.8.15.22]

جدول ۱- مشخصات کمی پارسل ۱

Table 1. Quantitative characteristics of parcel 1

پارسل	فاصله کاشت (m^2)	مساحت (ha)	قطر برابر سینه (cm)	سطح مقطع برابر سینه (m^2/ha)	ارتفاع (m)	حجم در هکتار (m^3/ha)
۱	۹	۶۶	۲۶/۵۹±۶/۸۴	۱۳/۲۶±۶/۹	۱۹/۱۰±۴/۱۰	۲۰۰/۲۷±۰/۴۱

محتوای کربن بخش‌های مختلف درختان صنوبر دلتوئیدس در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۲- سهم کربن در تنه و شاخه درختان صنوبر دلتوئیدس

Table 2. Carbon content in stem and branches of *Populus deltoides*

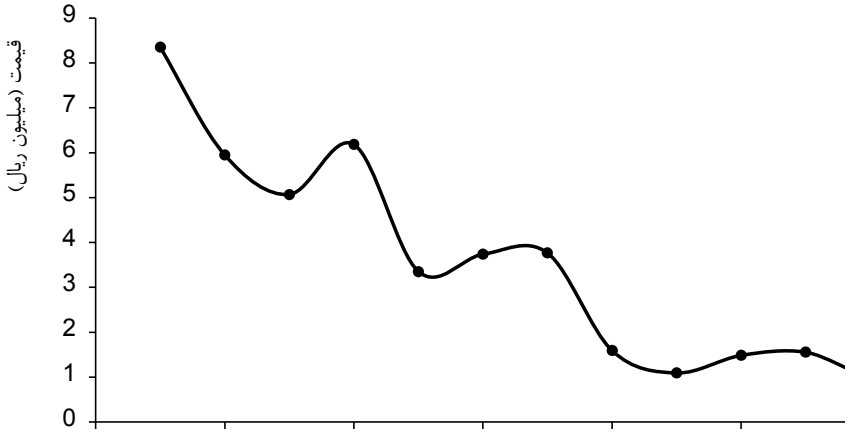
پارسل	بخش‌های درخت	محتوای کربن (٪)
۱	تنه	۵۵/۶۲±۰/۷۹
	شاخه	۵۷/۳۵±۰/۲۱

جدول ۳- نتایج برآورد مقدار ترسیب کربن با متغیر مستقل سن (t)

Table 3. Results of carbon sequestration estimation by independent variable (t) of age

متغیر وابسته	مدل	ضریب تعیین	اشتباه معیار
ترسیب کربن	$y=(۱/۹۸)(۸/۹۴۵)^t t^{۳/۲۵۶}$	۰/۹۸۴	۱/۲۰۰

قیمت کربن به‌ازای هر تن کربن به یورو بوده که با استفاده از نرخ ارز تبدیل به ریال و با استفاده از شاخص قیمت‌ها، تورم حذف شده است و یا به عبارت دیگر قیمت کربن واقعی و تعدیل شده است. شکل (۲) تغییرات قیمت تعدیل‌شده کربن از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۷ را نشان می‌دهد. برای قیمت کربن، شرط مانایی با استفاده از مدل رگرسیون پیش‌بینی قیمت کربن در سطح احتمال ۹۵ درصد رد شد به‌طوری که قیمت تعدیل شده با استفاده از مدل مانا معنی‌دار نبود. بنابراین برای به‌دست آوردن قیمت تعدیل‌شده کربن از مدل نامانا (معادله ۵) استفاده شد، بدین معنا که قیمت در دوره یا سال آینده کاملاً به دوره یا سال ماقبل خود وابسته است.



شکل ۲- قیمت تعدیل شده کربن (تن) از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۷

Figure 2. Adjusted price of carbon (tone) from 2005 to 2017

معادله قیمت تعدیل شده کربن مطابق معادله (۵) در جدول (۴) ارائه داده شده است. ضرایب و مقادیر محاسبه شده و به‌کار رفته در معادلات در جدول (۵) ارائه شده است. ضرایبی که در محاسبات و تجزیه‌ها در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته‌اند در جدول (۵) آمده است.

جدول ۴- معادله تعدیل قیمت کربن

Table 4. Equation of adjusted price of carbon

پارسل	معادله قیمت تعدیل شده (ریال)
۱	$P_{t+1} = ۰/۶۹۷۵ P_t$

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1399.8.15.4.7]
[DOI: 10.52547/ifej.8.15.22]

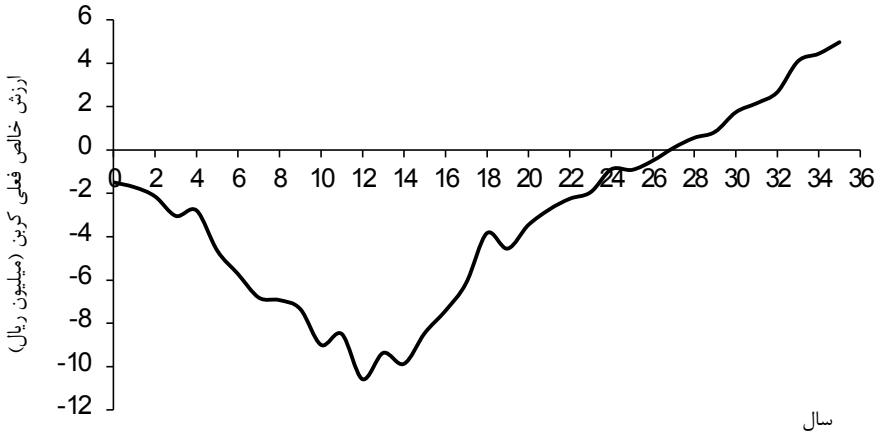
جدول ۵- ضرایب مورد استفاده در تجزیه و تحلیل

Table 5. Coefficients used in the analysis

عوامل	مقادیر
چگالی (گرم بر سانتی‌مترمکعب)	۰/۳۲
عامل تبدیل حجم و کربن (تن به مترمکعب)	V=۰/۱۷۹۲C
	R^2=۰/۹۹
نرخ سود برای کربن (٪)	۳
قیمت تعدیل شده کربن (ریال/تن)	۳،۴۰۷،۵۳۹
هزینه جنگل‌کاری (ریال در هر هکتار)	۵۰،۰۰۰،۰۰۰

تعیین سن بهره‌برداری بهینه با در نظر گرفتن هزینه جنگل‌کاری

سن بهره‌برداری بهینه با در نظر گرفتن هزینه جنگل‌کاری با توجه به معادله (۹) به‌دست آمد. شکل ۳ سن بهینه بهره‌برداری را با در نظر گرفتن ارزش ترسیب کربن در جنگل‌کاری صنوبر دلتوئیدس با فاصله کاشت ۹ مترمربع (۳×۳ متر) نشان می‌دهد. مقادیر منفی در شکل به‌این دلیل است که تا سن ۲۷ سال، هزینه‌ها از درآمدها بیشتر می‌باشد.



شکل ۳- ارزش خالص فعلی ترسیب کربن با در نظر گرفتن هزینه جنگل‌کاری

Figure 3. Net present value of carbon sequestration in regard to costs of plantation

ارزش خالص فعلی برای سری دوره‌ای نامتناهی

ارزش خالص فعلی کربن ترسیب شده با استفاده از معادله (۸) و برای دوره‌های ۲۷ ساله سن بهره‌برداری توسط زیتوده زنده سرپا محاسبه شده است (شکل ۴).



شکل ۴- ارزش خالص فعلی کربن در دو دوره بهره برداری

Figure 4. Net present value of two consecutive rotation age

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1399.8.15.4.7]
[DOI: 10.52547/ifej.8.15.22]

بررسی حساسیت‌پذیری

بررسی حساسیت‌پذیری رابطه بین داده‌های ورودی (نرخ سود بانکی، هزینه جنگل‌کاری و قیمت کربن) و خروجی (سن بهینه بهره‌برداری) را نشان می‌دهد و مشخص می‌کند که عدم قطعیت چگونه بر خروجی مدل تاثیر می‌گذارد. بررسی حساسیت‌پذیری برای نرخ سود بانکی، هزینه جنگل‌کاری و قیمت کربن انجام و سپس سن بهینه بهره‌برداری برای هر کدام از آن‌ها تعیین گردید. نتایج در جدول (۶) آمده است.

با افزایش نرخ سود، سن بهینه بهره‌برداری کاهش می‌یابد. با افزایش هزینه بهره‌برداری سن بهینه بهره‌برداری نیز افزایش و ارزش خالص فعلی کاهش می‌یابد (۵، ۶ و ۱۵). با افزایش قیمت کربن میزان ارزش خالص فعلی به اندازه ۶۷/۷ درصد افزایش می‌یابد. برای مثال با افزایش قیمت کربن از سه به چهار میلیون ریال باعث افزایش ارزش خالص فعلی از ۰/۴ میلیون ریال در هکتار به ۰/۵ میلیون ریال در هکتار می‌شود که سن بهره‌برداری از ۲۷ به ۲۶ سال کاهش می‌یابد (جدول ۶).

جدول ۶- بررسی حساسیت‌پذیری سن بهره‌برداری بهینه با توجه به ارزش ترسیب کربن

Table 6. Sensitivity analysis of optimal rotation age in regard to carbon sequestration

متغیر	سن بهره‌برداری بهینه (سال)	ارزش خالص فعلی (میلیون ریال)	توضیحات
نرخ سود (٪)			
۱	۳۱	۱۰/۷	قیمت کربن ۳،۴۰۷،۵۳۹ ریال و هزینه جنگل‌کاری ۵۰ میلیون ریال
۲	۲۹	۱۰/۶	
۳	۲۷	۱۰/۵	
۴	۲۴	۱۰/۴	
۵	۲۳	۱۰/۴	
۶	۲۲	۱۰/۳	
هزینه جنگل‌کاری (میلیون ریال)			
۲۰	۲۴	۹/۶	نرخ سود کربن ۳٪
۵۰	۲۷	۱۰/۵	
۸۰	۲۹	۱۱/۴	
۱۱۰	۳۰	۱۲/۳	
قیمت کربن (میلیون ریال)			
۲	۲۸	۰/۱	هزینه جنگل‌کاری ۵۰ میلیون ریال، نرخ سود کربن ۳٪
۳	۲۷	۰/۴	
۴	۲۶	۰/۵	
۵	۲۶	۰/۹	

نتایج و بحث

تاکنون تئوری‌های مختلفی برای تعیین سن بهینه بهره‌برداری جنگل ارائه شده‌است. این تئوری‌ها بر اساس معیارهای اقتصادی، زیستی و فیزیکی بوده است. متخصصان و کارشناسان اساس تعیین سن بهینه بهره‌برداری را معیار اقتصادی بیشینه کردن درآمد خالص تعیین کرده‌اند (۲).

سن بهینه بهره‌برداری با توجه به ارزش ترسیب کربن با در نظر گرفتن هزینه جنگل‌کاری در یک دوره نامتناهی ۲۷ سال به‌دست آمد. مقادیر منفی در شکل (۳) به‌این دلیل است که در سال‌های اولیه هزینه بیشتر از درآمد است.

جنگل مورد نظر به‌صورت سیستم جنگل‌شناسی همسال اداره می‌شود. هر چرخش با استقرار توده در یک زمین عاری از پوشش آغاز می‌شود و با قطع یکسره پس از یک دوره معین رشد، به پایان می‌رسد. شروع چرخش بعدی با پایان چرخش قبلی همراه است. فرض براین است که چرخه استقرار، رشد و بهره‌برداری تا ابد ادامه دارد. بنابراین تعیین ارزش خالص فعلی برای دوره نامتناهی درنظر گرفته شده است (شکل ۴).

مطابق تحقیق محمدی لیمائی و همکاران (۲۱) سن بهره‌برداری بهینه با توجه به ارزش چوب صنوبر دلتوئیدس (*populous deltoides*) در گیلان بدون در نظر گرفتن ارزش کربن ۲۰ تا ۲۲ سال در فاصله کاشت ۴×۴ به‌دست آمد که در این تحقیق سن بهینه بهره‌برداری با در نظر گرفتن ارزش ترسیب کربن ۲۷ سال به‌دست آمده است. ارزش چوب و ترسیب کربن دو هدف متناقض هستند، با اضافه شدن ارزش ترسیب کربن به ارزش چوب، ارزش خالص کل حاصل از جنگل طی زمان، افزایش می‌یابد (۳۴،۱۳). نتایج بسیاری از مطالعات نشان داده که سن بهینه بهره‌برداری با توجه به ارزش کربن بیشتر از سن بهینه با در نظر گرفتن ارزش اقتصادی چوب است (۵، ۶، ۱۳، ۱۵ و ۳۴). میزان ارزش خالص فعلی با افزایش سن توده کاهش می‌یابد و دلیل آن بهره‌برداری از توده است (شکل ۴).

بررسی حساسیت‌پذیری نشان می‌دهد که با افزایش نرخ سود، سن بهینه بهره‌برداری کاهش می‌یابد (جدول ۶) این نتیجه با نتیجه تحقیقات Ekholm (۲۰۱۶)، Diaz-Balteiro و Rodriguez (۲۰۰۶)، Kula و Gunalay (۲۰۱۲) و Keleş (۲۰۱۶) مشابهت دارد. زیرا هزینه فرصت سرمایه بالا می‌رود و مالک ترجیح می‌دهد که درختان را زودتر قطع کند تا عایدات آن‌ها را در جائی دیگر که سود بیشتری داشته باشد، سرمایه‌گذاری کند. با افزایش نرخ سود ارزش خالص فعلی کاهش یافته است. سن بهره‌برداری بهینه با افزایش هزینه‌های جنگل‌کاری افزایش می‌یابد. بدیهی است که هر چه رویشگاه در وضعیت بهتری بوده و حاصلخیزی مطلوب داشته باشد، هزینه‌های جنگل‌کاری کمتر و سن بهره‌برداری بهینه کاهش خواهد یافت (۳۴).

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1399.8.15.4.7]
[DOI: 10.52547/ifej.8.15.22]

سن بهینه بهره‌برداری برای یک دوره طولانی و نامتناهی توالی یک جنگل همسال با توجه به قیمت کربن متفاوت است. افزایش قیمت کربن منجر به کوتاه شدن سن بهینه بهره‌برداری می‌شود اما این کاهش در حد یک سال است (جدول ۶). در برخی از کشورها با استفاده از سیاست تجارت کربن به‌منظور ترسیب کربن جو و کاهش غلظت کربن جو به‌ازای هر سال نگهداری درختان مازاد بر سن برداشت بهینه اقتصادی جنگل، برای مالکان جنگل یارانه در نظر گرفته می‌شود که اصطلاحا اعتبار کربن (carbon credit) گفته می‌شود. بنابراین قیمت‌گذاری کربن روی سن بهره برداری تأثیر خواهد داشت که این امر در کشور ما وجود ندارد. این موضوع در مطالعه Ekholm (۶)، دیازبالتیروو رودریگز (۵)، نیز به‌اثبات رسید. در حالی که نتایج تحقیق ژو و گائو (۳۴) نشان داده که افزایش قیمت کربن باعث افزایش یک سال بر سن بهره‌برداری بهینه در توده‌های ضعیف و متوسط می‌شود، اما بر سن بهره‌برداری توده‌های خوب تأثیری ندارد. تعیین سن بهینه بهره‌برداری راهی مؤثر در مدیریت ارزش‌های چندگانه جنگل‌هاست و بر مدیریت ساختار و ترکیب جنگل‌ها و کیفیت و کمیت چوب و جنگل اثر می‌گذارد (۱۳). یک جریان پایدار حاصل از چوب و ترسیب کربن مطابق با میزان رویش و موجودی سرپا در جنگل‌ها وجود دارد. میزان ترسیب کربن در جنگل بستگی زیادی به میزان رویش زی‌توده و تولید چوب در جنگل دارد. بدین ترتیب گونه‌های تند رشد کربن بیشتری ترسیب می‌کنند. بنابراین مدیریت توده برای تولید چوب بیشتر بر ذخیره کربن اثر مثبت دارد.

به‌طورکلی نتایج این تحقیق نشان داد که سن بهره‌برداری بهینه با در نظر گرفتن ارزش کربن بیشتر از سن بهینه با در نظر گرفتن ارزش اقتصادی چوب است. با افزایش نرخ سود، سن بهینه بهره‌برداری کاهش می‌یابد و افزایش هزینه‌های جنگل‌کاری سبب افزایش سن بهره‌برداری بهینه می‌شود. پیشنهاد می‌شود تعیین ارزش فعلی آسیب‌های اقلیمی در اثر انتشار گازهای گلخانه‌ای در طی زمان (تقدم انتشار آینده به حال) و تاثیر آن بر سن بهره‌برداری و ذخیره کربن در مطالعات آینده مورد بررسی قرار گیرد.

منابع

1. Arora, G., S. Chaturvedi, R. Kaushal, A. Nain, S. Tewari and N.M. Alam. 2014. Growth, biomass, carbon stocks, and sequestration in age series of Populus deltoides plantations in Tarai region of central Himalaya. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 38: 550-560.
2. Asante, P., W. Armstrong Glen and L. Adamowicz Wiktor. 2011. Carbon sequestration and the optimal forest harvest decision: A dynamic programming approach considering biomass and dead organic matter. Journal of Forest Economics, 17(1): 3-17.
3. Carbon Emissions Futures Historical Prices. 2017. Available at https://www.investing.com/commodities/carbon-emissions-historical-data.
4. Central Bank of Iran. 2017. www.cbi.ir. Inflation/Inflation_FA.asp (In Persian).
5. Diaz-Balteiro, L. and L.C.E. Rodriguez. 2006. Optimal rotation on Eucalyptus plantations including carbon sequestration a comparison of results in Brazil and Spain. Forest Ecology and Management 229: 247-258.
6. Ekholm, T. 2016. Optimal forest rotation age under efficient climate change mitigation. Forest Policy and Economics, 62: 62-68.
7. Eslamdoust J., H. Sohrabi and S.M. Hosseini. 2015. Evaluation of growth Feature of *Populus deltoides* and *Taxodium distichum* trees using stem analysis, Journal of Natural Ecosystems of Iran, 5(3): 51-58 (In Persian).
8. Faustmann, M. 1849. Calculation of the value which forest land and immature stands process for forestry. Journal of Forest Economy 1: 7-44. Reprinted in 1995.
9. Feng W., X. Jinhong and R.J. Brazee. 2010. New development in study of the faustmann optimal forest harvesting. Chinese journal of population, resources and environment, 8(3): 38-43.
10. Hartman, R. 1976. The harvesting decision when a standing forest has value. Economic Inquiry, 14: 52-58.
11. Heidari Safari Kouchi, A., Y. Iranmanesh and T. Rostami Shahraji. 2016. Above-ground and soil carbon sequestration of white poplar (*Populus alba* L.) species in four different planting spaces in Chaharmahal and Bakhtiari province. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 24(2): 200-213 (In Persian).
12. Henry, M., A. Besnard, W.A. Asante, J. Eshun, S. Adu-Bredu, R. Valentini, M. Bernoux and L. Saint-André. 2010. Wood density, phytomass variations within and among trees, and allometric equations in a tropical rainforest of Africa. Forest Ecology and Management, 260: 1375-1388.
13. Keleş, S. 2017. Determining optimum cutting ages including timber production and carbon sequestration benefits in Turkish pine plantations. Sains Malaysiana, 46(3): 381-386.
14. Kiaei, M. 2014. Investigation on wood properties of Eldar pine (*Pinus eldarica* Medw) and its relations to soil chemical and physical characteristics (in western of mazandaran province plantation). Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 29(2): 199-207 (In Persian).
15. Kula, E. and Y. Gunalay. 2012. Carbon sequestration, optimum forest rotation and their environmental impact. Environmental Impact Assessment Review, 37: 18-22.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1399.8.15.4.7]
[DOI: 10.52547/ifej.8.15.22]

16. Kuloglu, T.Z. and G.W. Armstrong. 2012. A dynamic programming model to determine the optimal harvest decision for a fir forest that provides both timber harvest volume and carbon sequestration services. Journal of Forestry Faculty, 2012, Special Issue: 161-169.
17. Lohmander, P., S. Mohammadi Limaei. 2008. Optimal continuous cover forest management in an uneven-aged forest in the north of Iran. Journal of Applied Sciences, 8(11): 1995-2007.
18. Lutz, D.A., H.H. Shugart and M.A. White. 2013. Sensitivity of Russian forest timber harvest and carbon storage to temperature increase. Forestry, 86: 283-293.
19. Metsaranta, J.M. and J.S. Bhatti. 2016. Evaluation of Whole Tree growth increment derived from tree-ring series for use in assessments of changes in forest productivity across various spatial scales. Forests, 7(303): 1-11.
20. Mirrajabi, H., J. Oladi and A. Mataji. 2016. Estimating above Ground Carbon Storage in Urban Afforestation Using Satellite Data (Case Study: Chitgar Forest Park in Tehran). Ecology of Iranian Forests, 4(7): 35-42 (In persian).
21. Mohammadi Limaei, S., Z. Bahramabadi, T.R. Shahraje, M. Adibnejad and S.A.M. Koupar. 2013. Determination of economically optimal rotation age of (Popolus deltoides) in Guilan Province. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 21(1): 63-75 (In Persian).
22. Mohammadi Limaei, S. 2011. Economics optimization of forest management, LAP LAMBERT Academic Publication, Germany, 140 pp.
23. Mohammadi Limaei, S., R. Heybatian, S.M. Heshmatol Vaezin and J. Torkman. 2011. Wood import and export and its relation to major macroeconomics variables in Iran. Forest Policy and Economics, 13: 303-307.
24. Mohammadi Limaei, S. and P. Lohmander. 2007. Stumpage prices in the iranian caspian forests. Asian Journal of Plant Sciences, 6: 1027-1036.
25. Mohammadi, Z., S. Mohammadi Limaei, P. Lohmander and L. Olsson. 2017. Estimating the aboveground carbon sequestration and its economic value (case study: Iranian Caspian forests). Journal of Forest Science, 63(11): 511-518.
26. Mohammadi, A. and M.H. Moayeri. 2016. Determining the harvest age (Economic) of even- aged stands of paulownia plantation in Dr. Bahramnia's Forestry Plan. Journal of Wood and Forest Science and Technology, 23(2): 203-223.
27. Namdari, S., K. Adeli, J. Soosani and E. Ostakh. 2017. An estimation of the rotation age using autoregressive price model and trunk analysis data: results for *pinus brutia* ten. Applied Ecology and Environmental Research, 16(1): 281-290.
28. Nghiem, N. 2014. Optimal rotation age for carbon sequestration and biodiversity conservation in Vietnam. Forest Policy and Economics, 38: 56-64.
29. Ostakh, E., J. Soosani, B. Pilehvar, L. Poursartip and S. Musavi. 2014. Investigation on Climate Variables (Temperature and Precipitation) Effects on Annual Width Rings of *Pinus brutia* in Lorestan Province. Ecology of Iranian Forest, 2(4): 19-27.
30. Richards, K.R. and C. Stokes. 2004. A review of forest carbon sequestration cost studies: a dozen years of research. Climatic Change, 63: 1-48.
31. Robertson, K., I. Loza-Babuena and J. Ford-Robertson. 2004. Monitoring and economic factors affecting the economic viability of afforestation for carbon sequestration projects. Environmental Science and Policy, 7: 465-475.
32. Vahedi, A.A. and A.A. Mattagi. 2014. Amount of carbon sequestration distribution associated with oak tree's (Quercus castaneifolia C.A. May) bole in relation to physiographical units of Hyrcanian natural forests of Iran. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 21(4): 716-828.
33. Van Kooten, G.C., C.S. Binkley and G. Delcourt. 1995. Effect of carbon taxes and subsidies on optimal forest rotation age and supply of carbon services. American journal of Agricultural and Economics, 77(2): 365-374.
34. Zhou, W. and L. Gao. 2016. The impact of carbon trade on the management of short-rotation forest plantations. Forest Policy and Economics, 62: 30-35.
35. Zobeiry, M. 1994. Forest inventory (Measurement of tree and forest). – Tehran University Press NO. 3, 401 pp (In Persian).
36. Zubizarreta-Gerendiain, A., T. Pukkala and H. Peltola. 2016. Effects of wood harvesting and utilization policies on the carbon balance of forestry under changing climate: a Finnish case study. Forest Policy and Economics, 62: 168-176.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1399.8.15.4.7]
[DOI: 10.52547/ifej.8.15.22]

Determination of Optimum Rotation Age of *Populus Deltoides* Plantation in Regard to Economic Value of Carbon Sequestration

Tooba Abedi[1], Soleiman Mohammadi Limaei[2], Amir Eslam Bonyad[2] and Javad Torkaman[3]

1- Academic Center for Education, Culture and Research, Environmental Research Institute, Rasht, Iran (Corresponding Author: t.abedi@acecr.ac.ir)
2 and 3- Professor and Associate Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, Iran
Received: September 15, 2018 accepted: November 4, 2019

Abstract

This research considers the optimal rotation age regarding to the carbon sequestration value in *populous deltoides* plantation in Choobar located in Guilan Province, north of Iran. First, the volume increment is determined by stem analysis method and carbon sequestration is determined by combustion in an electric oven. Then, Net present value (NPV) of carbon is calculated by using volume increment, carbon amount, interest rate, adjusted price of carbon and net revenue in order to determine the optimal rotation age. Faustmann model was used in order to determine the optimal rotation age. Data such as volume increment, carbon content, revenue, timber and carbon prices are used to estimate the NPV. The study also evaluates the effects of different cost of plantation and discount rates on the optimal rotation ages using NPV approach. Results showed that when economic value of carbon sequestration is considered, optimal rotation ages is 27 years. Sensitivity analysis is done for interest rate, cost of plantation, and carbon price. As cost of plantation increases, the optimal rotation age also increases and the net present value decreases. With the increase in carbon prices, the age of optimal rotation age decreases and the net present value increases.

Keywords: Carbon Sequestration, Net Present Value, Optimization, Rotation Age

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.24237140.1399.8.15.4.7]

[DOI: 10.52547/ifej.8.15.22]