

تعیین ارزش خالص فعلی ترسیب کربن در جنگل کاری صنوبر (*Populus deltoides*)

طوبی عابدی^{۱*}، سلیمان محمدی لیمائی^۲، امیراسلام بنیاد^۳، جواد ترکمن^۳

۱ استادیار پژوهشکده محیط‌زیست جهاددانشگاهی، رشت، ایران

۲ استاد گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران

۳ دانشیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۰۵؛ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۰۷/۰۷)

چکیده

افزایش ذخیره کربن در جنگل یکی از اهداف مدیریت پایدار در سال‌های اخیر است و به‌عنوان ابزاری مهم در کاهش اثرات تغییر اقلیم شناخته شده است. تجارت کربن به‌عنوان یکی از ابزارهای مبتنی بر بازار، روشی مقرون به‌صرفه و مناسب برای کاهش اثرات تغییر اقلیم و موضوعات محیط‌زیستی می‌باشد. هدف از این تحقیق، تعیین ارزش اقتصادی کربن در جنگل کاری صنوبر است. به‌این منظور، میزان کربن در جنگل کاری صنوبر (*Populus deltoides*) اندازه‌گیری و قیمت تعدیل شده کربن با استفاده از مدل رگرسیون خود-کاهشی نامانا تعیین شد. ارزش خالص فعلی کربن به‌دست آمد و در نهایت آنالیز حساسیت‌پذیری قیمت و نرخ سود کربن انجام شد. نتایج نشان داد موجودی جنگل کاری در سن ۳۶ سالگی ۱۸۰/۲ متر مکعب در هکتار (معادل ۵۷/۶ تن در هکتار) و میزان کربن در همان سن ۳۲/۲ تن در هکتار بود. میزان ارزش خالص فعلی در سنین مختلف به‌دست آمد و آنالیز حساسیت‌پذیری قیمت و نرخ سود کربن نشان داد که میزان ارزش خالص فعلی با افزایش قیمت و نرخ سود، افزایش می‌یابد.

کلید واژه‌ها: ارزش خالص فعلی، ترسیب کربن، صنوبر، قیمت تعدیل شده

سرآغاز

جنگل‌ها بزرگ‌ترین منبع زمینی ذخیره کربن هستند که در چرخه کربن نقش اساسی ایفا می‌کنند. در سال‌های اخیر مدیریت پایدار با هدف ذخیره و بالا بردن کربن در جنگل، به‌عنوان یکی از ابزارهای مهم در کاهش اثرات تغییر اقلیم شناخته شده است، این هدف از طریق تولید چوب و بیوماس محقق می‌شود. اخیراً، کاهش اثرات تغییر اقلیم از طریق ذخیره کربن در جنگل وارد مباحث اقتصادی شده است. با مدیریت جنگل می‌توان برای تولید و تجارت کربن در بازار، قیمت تعیین کرد و درآمد اضافه برای سرمایه‌گذاران در بخش جنگل و دولت‌ها فراهم نمود. جنگل‌کاری با گونه‌های سریع‌الرشد از طریق ایجاد اشتغال به‌طور مستقیم و غیرمستقیم در توسعه اقتصادی روستاها نقش مهمی دارد. همچنین حفظ جنگل به مدت طولانی‌تر برای تولید چوب، روی ترسیب کربن اثر مثبت خواهد داشت (Asante et al., 2011).

بسیاری از توافق‌نامه‌های ملی و بین‌المللی از جمله توافق‌نامه پاریس و کنوانسیون تغییر اقلیم سازمان ملل بر ثبات کربن جو تاکید دارند. جذب و ذخیره کربن فرآیندی حیاتی در مبارزه جهانی با تغییر اقلیم است. با جذب و ذخیره دی‌اکسیدکربن می‌توان از اثر گلخانه‌ای ناشی از انتشار سوخت‌های فسیلی صنایع و نیروگاه‌ها، جلوگیری به‌عمل آورد که به آن ترسیب کربن گفته می‌شود. جنگل‌ها از لحاظ اقتصادی، کم هزینه‌ترین روش برای کاهش اثرات گلخانه‌ای و سیاست‌های اقلیمی مربوط به تعادل کربن شناخته شده‌اند (Assmuth & Tahvonen, 2018).

ابزارهای اقتصادی بسیاری برای کاهش اثرات تغییر اقلیم ارایه و به‌کار گرفته شده‌اند. تجارت کربن یکی از این ابزارهای مبتنی بر بازار است که به‌عنوان روشی مقرون به صرفه و مناسب برای کاهش اثرات تغییر اقلیم و موضوعات محیط‌زیستی شناخته شده است (Adetoye et al., 2018). بازار کربن شامل خرید و فروش اعتبار کربن است که توسط یک سازمان نظارتی در قالب مجوز انتشار یا از طریق تعیین تعرفه برای انتشار گازهای گلخانه‌ای عمل می‌کند (Asante et al., 2011; Zhou, 2015).

کشورهای امضاکننده توافق‌نامه‌های کیوتو و پاریس دارای سهمیه‌ی انتشار دی‌اکسیدکربن هستند و اگر میزان انتشار آنها کمتر از سهمیه باشد، مورد تشویق قرار می‌گیرند. در بازار تجارت کربن اگر مالکان زمین‌ها اقدام به جنگل‌کاری در اراضی خود نمایند، سهمیه‌ای برای ترسیب کربن (گواهی کربن) دریافت

می‌کنند. در طرح‌های جنگلداری معمولاً مساله تجارت کربن جنگل در نظر گرفته نمی‌شود (Liu et al., 2017; Olschewski & Benítez, 2010). تاثیر تجارت کربن بر مدیریت جنگل‌کاری با گونه‌های سریع‌الرشد و زود بازده *Cunninghamia lanceolata* در جنوب چین مورد بررسی قرار گرفته است (Zhou & Gao, 2016).

ارزش خالص فعلی از مهم‌ترین روش‌های ارزیابی اقتصادی جنگل‌کاری‌ها است. اگر مقدار ارزش خالص فعلی بزرگتر از صفر باشد، جنگل‌کاری مقرون به‌صرفه است و اگر این مقدار کوچکتر از صفر باشد، جنگل‌کاری زیان‌ده خواهد بود، در صورتی که برابر صفر باشد، ارزش فعلی درآمدها با ارزش فعلی هزینه‌ها برابر و در نتیجه حداقل نرخ سود سرمایه‌گذار به‌دست آمده ولی سود مازاد کسب نمی‌شود. در حقیقت نرخ بازگشت سرمایه‌ی پروژه دقیقاً برابر با حداقل نرخ سود و بنابراین انتخاب پروژه توصیه می‌شود (Oskoonejad, 2017). ارزش اقتصادی کربن، مقدار کربن ذخیره شده در تنه و ارزش خالص فعلی کربن را در جنگل‌های سری ۳ اسالم تعیین شده است (Mohammadi et al., 2017). همچنین طبق مدلی که برای جنگل‌کاری اوکالیپتوس در ویتنام توسعه داده شده مقدار ارزش خالص فعلی برداشت چوب و ترسیب کربن به‌طور جداگانه بیشتر از حالتی است که چوب، ترسیب کربن و حفظ تنوع‌زیستی به‌طور توأم مدنظر باشد (Nghiem, 2014). ارزش خالص فعلی حفاظت آب، خاک، ترسیب کربن، تلطیف هوا و حفاظت تنوع‌زیستی در جنگل‌های چین ۱۷۳۴ یورو در هکتار در سال برآورد شده است (Cao et al., 2020). هدف از تحقیق حاضر تعیین ارزش اقتصادی کربن در جنگل‌کاری صنوبر است.

مواد و روش‌ها

- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه پارسل ۱ از جنگل‌کاری صنوبر چوب‌ر شفت واقع در جنگل‌های جلگه‌ای غرب شهرستان شفت و بخشی از جنگل‌های حوزه آبخیز ۱۷ امامزاده ابراهیم استان گیلان است. طرح چوب‌ر بر اساس مختصات جغرافیایی در طول "۴۵° ۲۲' ۴۹" تا "۴۹° ۲۶' ۰۶" 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 (*Populus deltoides*) با فاصله کاشت ۳×۳ متر (نه متر مربع) جنگل‌کاری شده است.

شده در دسیکاتور وزن شدند. با تعیین وزن خاکستر، وزن اولیه و نسبت کربن آلی به مواد آلی، میزان کربن آلی در هر یک از اندامها به صورت جداگانه محاسبه شدند (Forouzeh et al., 2008; Ghasemi Nejad Raeini & Sadeghi, 2018).

- بررسی جرم حجمی چوب

پس از قطع درختان، از هر طبقه قطری یک دیسک و تعدادی دیسک از شاخه‌های با قطر ۱۰ سانتی‌متر و بیشتر تهیه شد. سپس به منظور بررسی جرم حجمی چوب از مرکز دیسک به سمت بیرون دیسک قطعات چوبی با ابعاد مساوی ۴×۴×۴ سانتی‌متر جدا شد. وزن و حجم اولیه نمونه‌ها، اندازه‌گیری و به مدت ۲۴ ساعت در درون آب قرار گرفتند تا اشباع شوند، تا حدی که افزایش وزن پیدا نکنند. سپس ابعاد و حجم هر یک از نمونه‌ها توسط کولیس با دقت یک صدم میلی‌متر اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها، پس از تعیین حجم کاملاً اشباع در داخل اون با درجه حرارت 5 ± 100 درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند تا کاملاً خشک شوند. در پایان، نمونه‌ها پس از خنک شدن با ترازو توزین شدند و حجم آنها محاسبه شد. با استفاده از رابطه (۳) جرم حجمی بحرانی محاسبه شد (Henry et al., 2010; Mohammadi & Moayeri, 2016; Kiaei, 2014).

$$D_r = \frac{m_0}{v_w} \quad (3)$$

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

- 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^(۱) پیروی می‌کند (Olschewski & Benítez, 2010; Mohammadi Limaiei, 2011). به این معنی که تغییرات در یک دوره تاثیر زیادی بر روی قیمت دوره بعد نخواهد داشت و میانگین قیمت‌های گذشته بهترین شیوه برآورد قیمت‌ها است. در این صورت، قیمت می‌تواند با استفاده از معادله (۴) برآورد شود. مدل پیش‌بینی قیمت کربن بر پایه آزمون دیکی-فولر و رابطه رگرسیون به صورت معادله (۴)، برآورد شد.

$$P_{t+1} = \alpha + \beta P_t \quad (4)$$

که در آن، P_{t+1} قیمت در زمان $t+1$ ، P_t قیمت در زمان t ، α و β

۱۵ اصله درخت صنوبر با پراکنش کافی در طبقات قطری به صورت تصادفی انتخاب و برای انجام آنالیز تنه، قطع شد (Parsapour et al., 2013; Bakhtiarvand Bakhtiari & Sohrabi, 2012). 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 ۸ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در طول بینه تا رسیدن به قطر ۱۵ سانتی‌متر دیسک تهیه شده و ارتفاع تا نوک بینه ثبت شد. سطح دیسک‌ها با استفاده از سمباده صیقل داده شد. سپس با شمارش دواير سالیانه سن درخت در ارتفاع مختلف درخت مشخص شد. برای اندازه‌گیری قطر درختان، دو قطر کوچک و بزرگ عمود بر هم بر حسب میلی‌متر اندازه‌گیری شد. قطر دواير سالیانه به منظور تعیین رویش قطری و حجمی سالیانه با استفاده از کولیس تا دقت یک صدم میلی‌متر اندازه‌گیری شد.

حجم تنه با استفاده از فرمول اسمالیان به صورت رابطه (۱) محاسبه شد (Eslandoust et al., 2014; Zobeiri, 1994):

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

که در آن، V : حجم (مترمکعب در هکتار)، S_a : سطح مقطع ابتدای بینه، S_b : سطح مقطع انتهایی بینه و L : طول بینه رویش جاری حجم در سنین مختلف با توجه به جدول آنالیز تنه به صورت رابطه (۲) محاسبه شده است (Zobeiri, 1994):

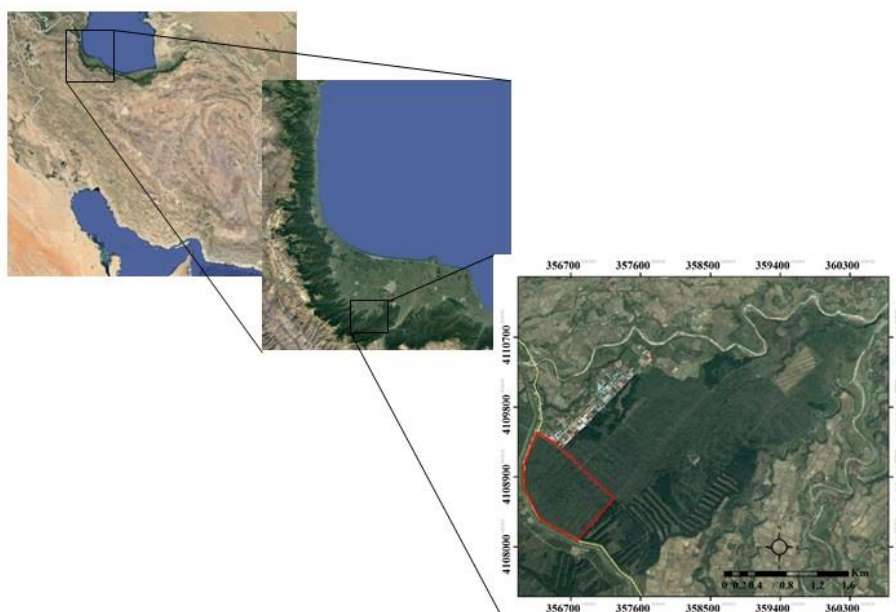
$$V'(t) = V(t+1) - V(t) \quad (2)$$

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

- اندازه‌گیری کربن

از ۱۵ اصله درخت قطع شده تعدادی دیسک از تنه و شاخه‌ها با پراکنش کافی در طبقات قطری به صورت تصادفی انتخاب و برای اندازه‌گیری کربن به آزمایشگاه منتقل شد. کربن اندوخته شده در بیوماس درخت به روش احتراق در کوره الکتریکی اندازه‌گیری شد (Arora et al., 2014; Heidari Safari Kouchi et al., 2016).

نمونه‌ها برای اندازه‌گیری درصد کربن آلی در اون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند. نمونه‌هایی که کاملاً خشک شدند توسط آسیاب برقی آسیاب شده و بعد از توزین با ترازوی دیجیتال در کوره قرار داده شده و به مدت ۴ ساعت در دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد سوزانده و سپس نمونه‌های سوخته



شکل (۱): قطعه ۱ جنگل کاری صنوبر، چوبر، شفت، گیلان

تورم سال موردنظر می‌گویند.

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

P_t : 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 (Mohammadi Limaie et al., 2011).

برای تعدیل قیمت کربن از داده‌های تاریخی قیمت کربن در بازه زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۷ ارائه شده توسط European Climate Exchange استفاده و نرخ رشد قیمت کربن ۳٪ در نظر گرفته شد (Carbon Emissions Futures Historical Prices, 2017; Asante et al. 2011; Ekholm, 2016; Assmuth & Tahvonen, 2018).

- تعیین ارزش خالص فعلی

مقدار ارزش خالص فعلی جنگل کاری، تبدیل ارزش کلیه درآمدها و هزینه‌های سالیانه در طول دوره جنگل کاری به زمان حال یا میدا با لحاظ نمودن حداقل نرخ مورد انتظار سرمایه‌گذاری است. محاسبه ارزش خالص فعلی به صورت معادله (۷) است (Faustmann, 1849).

$$\pi = PC(t)e^{-rt} = \frac{PC(t)}{e^{rt}-1} \quad (۷)$$

در اینجا π : ارزش خالص فعلی، P : قیمت تعدیل شده کربن در

ضرایی که از طریق رگرسیون به‌دست آمده‌اند و $1 < \beta < 0$ است. دیدگاه دوم این است که قیمت ناماننا^(۲) است و طبق آزمون دیکی-فولر شرط مانایی را دارا نیست (Olschewski & Benítez, 2010; Mohammadi Limaie, 2011; Moftakhar Juybary and Heshmatol Vaezin, 2016). 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.

$$P_{t+1} = \beta P_t \quad (۵)$$

که در آن $\beta=1$ به دست می‌آید (Mohammadi Limaie, 2011).

به‌منظور پیش‌بینی قیمت کربن ابتدا مطابق معادله (۶) قیمت‌های اسمی به قیمت‌های واقعی یا تعدیل شده تبدیل شدند و تورم حذف شد. از شاخص بهای کالاها و خدمات مصرفی (CPI)^(۳) به‌منظور حذف تورم و به‌دست آوردن قیمت‌های واقعی (تعدیل شده) توسط بانک مرکزی استفاده شد و رابطه (۶) برای محاسبه قیمت واقعی کربن مورد استفاده قرار گرفت (<http://www.cbi.ir>).

داده‌های پولی بر اساس سال پایه تعدیل شدند و یا به عبارت دیگر تصحیح پولی انجام گرفت و بر اساس آمار و داده‌های اقتصادی بانک مرکزی، سال پایه مورد استفاده در این پژوهش سال ۱۳۹۶ بود. بدیهی است چنانچه ماه موردنظر اسفندماه باشد، به آن نرخ

سال t ، C : کربن در هکتار در سال t و t : نرخ تنزیل قیمت کربن (۳٪) است.

نتایج

معادله تبدیل حجم به وزن کربن به عنوان ضریبی از حجم (V) و کربن بیوماس اندام‌های هوایی برآورد و در جدول (۱) ارائه داده شده است.

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

- آنالیز حساسیت پذیری

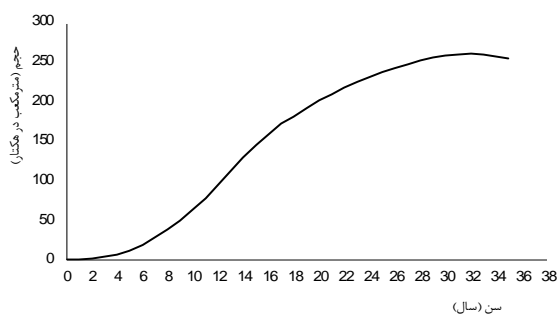
آنالیز حساسیت‌پذیری رابطه بین داده‌های ورودی (قیمت و نرخ سود کربن) و خروجی (ارزش خالص فعلی) را نشان می‌دهد و مشخص می‌کند که عدم قطعیت چگونه بر خروجی مدل تاثیر می‌گذارد (Oskoonejad, 2017; Maraseni et al., 2017).

جدول (۱): ضرایب تبدیل حجم به وزن کربن (محاسبه شده توسط نویسنده)

فاصله کاشت ۳×۴	فاصله کاشت ۳×۳	پارامترها
$V = 0.1824C$ $R^2 = 0.999$	$V = 0.1792C$ $R^2 = 0.999$	عامل تبدیل حجم و کربن (تن)
V: حجم در هکتار، C: کربن (تن)		

جدول (۲): سهم کربن در بخش‌های مختلف بیوماس درختان صنوبر توده‌های مورد مطالعه (محاسبه شده توسط نویسنده)

محتوای کربن (%)	بخش‌های مختلف بیوماس	فاصله کاشت (متر)	قطعه
55.62 ± 0.79	تنه	۳×۳	۱
57.35 ± 0.21	شاخه		



شکل (۲): حجم سرپا در قطعه ۱

رشد حجم سرپا به‌طور یکنواخت تا سن ۲۳ سالگی ادامه داشته و به‌تدریج حجم شروع به کاهش نموده است و دلیل آن را می‌توان رقابت، کاهش رشد قطری و دیرزیستی دانست (Arora et al., 2014). منحنی حجم در شکل (۲) نشان داده شده است.

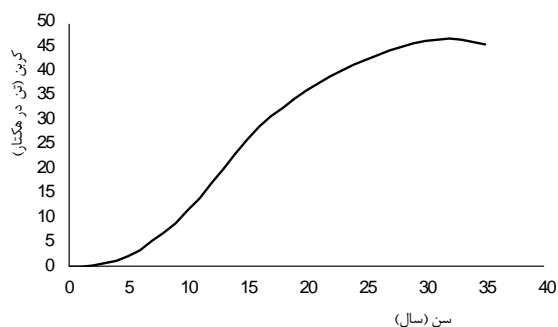
آنالیز رگرسیون رابطه حجم و سن جنگل کاری صنوبر در جدول (۳) نشان داده شده است.

منحنی کربن نسبت به سن در قطعات مورد بررسی در شکل (۳) نشان داده شده است.

جدول (۳): رابطه بین رویش حجم (مترمکعب در هکتار در سال) و سن در جنگل کاری صنوبر (محاسبه شده توسط نویسنده)

SE	R^2	پارامترهای برآورد شده				معادله
		a	b	c	d	
۲/۳۶	۰/۹۹۹	270.27 ± 1.21	$1/96 \pm 0.02$	0.16 ± 0.02		$V = ae^{-b-ct}$
۲/۳۶	۰/۹۹۹	296.24 ± 1.61	-0.84 ± 1.19	0.16 ± 0.06	0.05 ± 0.06	$V = \frac{a}{(1 + e^{b-ct})^{1/d}}$

آنالیز رگرسیون رابطه کربن (تن در هکتار) و سن جنگل کاری صنوبر در دو فاصله کاشت در جدول (۴) نشان داده شده است. قیمت کربن به ازای هر تن به یورو بوده که با استفاده از نرخ ارز رسمی از بانک مرکزی ایران (<http://www.cbi.ir>) تبدیل به ریال و با استفاده از شاخص قیمتی مصرف کننده، تورمزدایی شده است.



شکل (۳): ذخیره کربن در موجودی سرپا

جدول (۴): رابطه بین کربن (تن در هکتار) و سن در جنگل کاری صنوبر (محاسبه شده توسط نویسنده)

SE	R ²	پارامترهای برآورد شده				معادله
		a	b	c	d	
۰/۴۲	۰/۹۹۹	۴۸/۳۴±۰/۲۹	-۰/۸۳±۱/۱۸	-۰/۱۶±۰/۰۰۶	-۰/۰۰۵±۰/۰۰۶	$C = \frac{a}{(1 + e^{b-ct})^{1/d}}$
۰/۴۲	۰/۹۹۹	۴۸/۴۳±۰/۲۱	۱/۹۶±۰/۰۲	۰/۱۶۱±۰/۰۰۲		$C = ae^{-b-ct}$

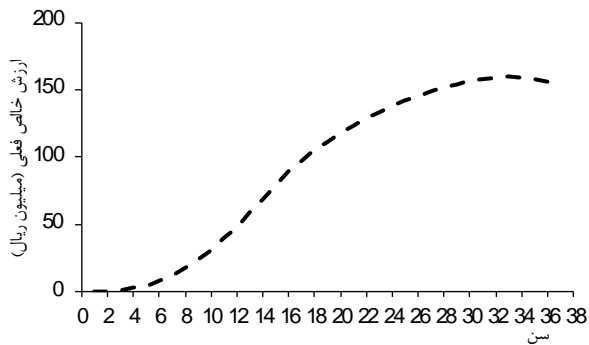
جدول (۵): داده های تاریخی قیمت کربن (۲۰۱۷-۲۰۰۵) (<http://www.cbi.ir>)

سال	قیمت (یورو)	سال	قیمت (یورو)
۲۰۰۵	۲۱/۷۹	۲۰۱۲	۹/۵۰
۲۰۰۶	۱۶/۲۷	۲۰۱۳	۴/۸۸
۲۰۰۷	۱۴/۷۷	۲۰۱۴	۶/۴۵
۲۰۰۸	۲۱/۶۶	۲۰۱۵	۷/۸۴
۲۰۰۹	۱۲/۶۵	۲۰۱۶	۵/۳۳
۲۰۱۰	۱۶/۲۷	۲۰۱۷	۵/۷۲
۲۰۱۱	۱۸/۰۱		

جدول (۶): داده های تاریخی نرخ ارز مرجع (۱۳۸۰-۱۳۹۶) (<http://www.cbi.ir>)

سال	نرخ مرجع یورو (ریال)	سال	نرخ مرجع یورو (ریال)
۱۳۸۰	۱۵۵۴/۶۳	۱۳۸۹	۱۳۶۵۲/۶۸
۱۳۸۱	۷۸۷۹/۲۷	۱۳۹۰	۱۵۸۰۸/۱۲
۱۳۸۲	۹۷۰۸/۳۶	۱۳۹۱	۲۸۵۵۲/۱۵
۱۳۸۳	۱۰۹۶۱/۱۴	۱۳۹۲	۳۳۸۱۲/۵۰
۱۳۸۴	۱۱۰۱۷/۱۰	۱۳۹۳	۳۲۶۱۹/۴۶
۱۳۸۵	۱۱۷۶۲/۹۹	۱۳۹۴	۳۴۴۸۴/۸۰
۱۳۸۶	۱۳۰۸۷/۷۵	۱۳۹۵	۳۷۴۳۹/۲۴
۱۳۸۷	۱۳۶۴۴/۷۷	۱۳۹۶	۳۹۹۴۹/۲۰
۱۳۸۸	۱۴۰۱۳/۹۸		

ارزش خالص فعلی کربن در سنین مختلف در شکل (۵) نشان داده شده است.

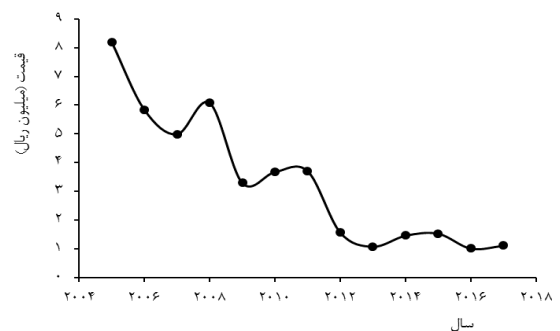


شکل (۵): ارزش خالص فعلی کربن در جنگل کاری صنوبر

آنالیز حساسیت پذیری قیمت کربن در شکل (۶) ارایه شده است. آنالیز حساسیت پذیری نرخ سود کربن در شکل (۷) ارایه شده است.

شکل (۴) تغییرات قیمت تعدیل شده کربن از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۷ را نشان می‌دهد. برای قیمت کربن، آماره t از مقدار بحرانی آزمون دیکی فولر در سطح ۵٪، کوچک‌تر بود. بنابراین، شرط مانایی رد شد، بنابراین برای به‌دست آوردن قیمت تعدیل شده کربن از مدل نامانا معادله (۵) استفاده شد که رابطه رگرسیون در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۷).

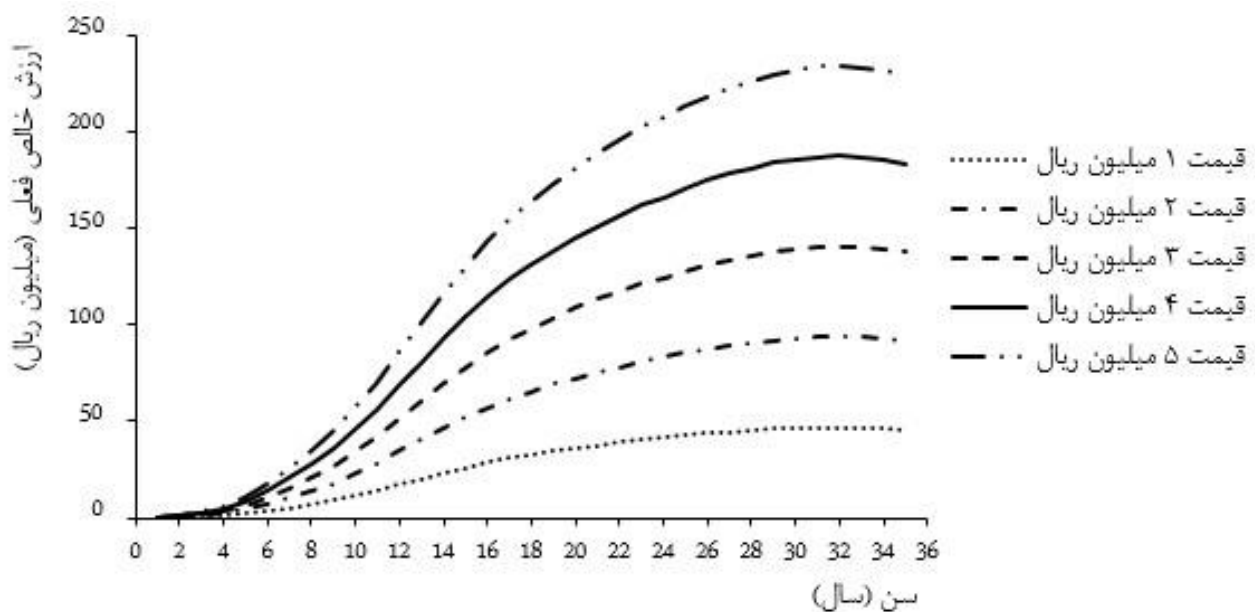
معادله قیمت تعدیل شده کربن مطابق معادله (۵) در جدول (۷) ارایه داده شده است.



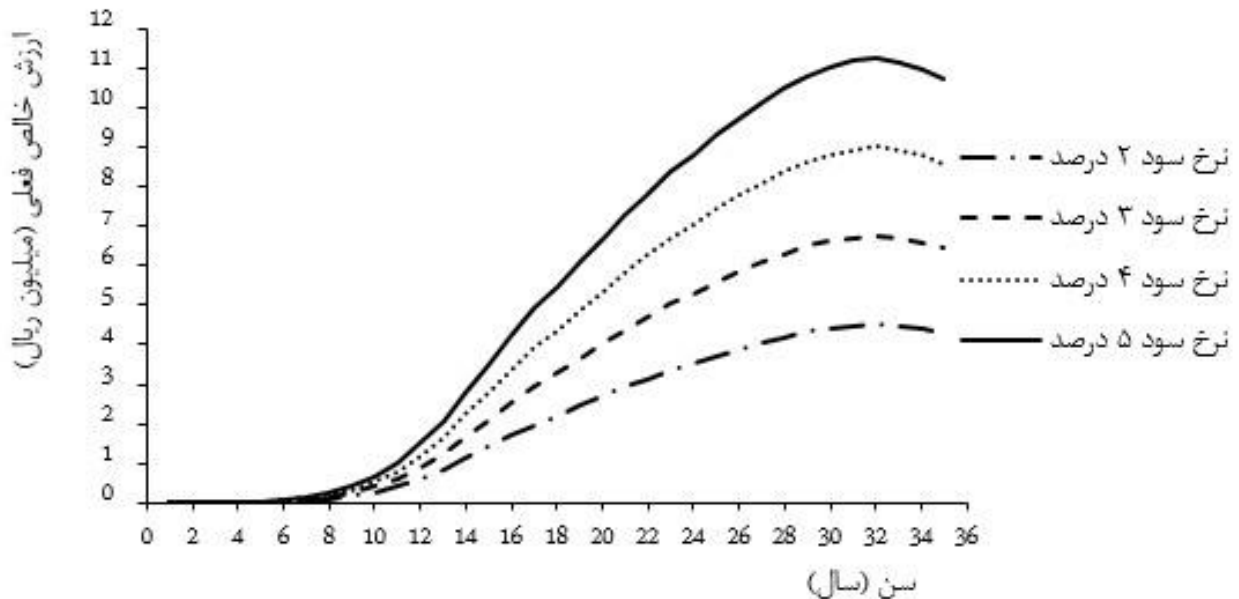
شکل (۴): قیمت تعدیل شده کربن از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۷

جدول (۷): معادله تعدیل قیمت کربن (محاسبه شده توسط نویسنده)

انحراف معیار	t-stat	P-value	R ²	قیمت تعدیل شده (ریال)	معادله قیمت تعدیل شده (ریال)
۰/۱۳۴۴	۵/۱۸۶۴	۰/۰۰۰۴	۰/۹۹۹	۳,۴۰۷,۵۳۹	$P_{t+1} = ۰/۶۹۷۵ P_t$



شکل (۶): آنالیز حساسیت پذیری قیمت کربن



شکل (۷): آنالیز حساسیت پذیری نرخ سود کربن

معادلات رگرسیونی، رابطه غیرخطی بین ذخیره کربن و سن را نشان می‌دهد که بر اساس بیشترین ضریب تعیین و کمترین خطای استاندارد در جدول (۴) نشان داده شده است. در این معادلات پس از تشکیل ابر نقاط با توجه به ضریب تعیین معادلاتی که دارای ضریب تعیین بالاتر و خطای استاندارد کمتری هستند، به‌عنوان مناسب‌ترین معادلات محسوب می‌شوند، چون الگوی بهتری از رابطه بین کربن و سن را نشان می‌دهند. همان‌طور که در جدول (۴) مشاهده می‌شود، معادلات با ضریب تعیین ۰/۹۹۹ و خطای استاندارد ۰/۴۲ بهترین معادلات شناخته شدند.

با توجه به این که قیمت کربن دارای دامنه وسیعی است و مقدار مشخصی برای آن در دنیای واقعی تعریف نشده و در طی زمان بسیار متغیر است. اگر اقدامات کاهش به شیوه‌ای مقرون به‌صرفه انجام شود، قیمت کربن با نرخ نزدیک به بهره‌وری نهایی سرمایه، افزایش می‌یابد (Ekholm, 2016). نرخ رشد قیمت کربن در این تحقیق ۳٪ در نظر گرفته شد (Asante et al., 2011; Ekholm, 2016; Assmuth & Tahvonon, 2018). در حالی که این نرخ در منابع مختلف از ۳ تا ۵ درصد در نظر گرفته شده است، به‌عنوان مثال نرخ رشد قیمت کربن ۳/۵ درصد و قیمت ۱۴ یورو را به‌عنوان قیمت تجارت کربن در اروپا استفاده کردند (Kula & Gunalay, 2012) و در مطالعاتی نیز نرخ سود کربن را ۵ درصد نیز در نظر گرفته شده است (Zhou & Gao, 2016).

بحث و نتیجه‌گیری

موجودی جنگل کاری در سن ۳۶ سالگی ۱۸۰/۲ متر مکعب در هکتار (معادل ۵۷/۶ تن در هکتار) و میزان کربن در همان سن ۳۲/۲ تن در هکتار بود. ضرایب مربوط به تبدیل حجم به وزن کربن با استفاده از آنالیز رگرسیونی به‌دست آمد. مقدار کربن در این جنگل کاری ۵۵/۶ تا ۵۷/۳ درصد برآورد شد، مقدار کربن برای صنوبر دلتوئیدس بین ۴۰/۸ تا ۵۳/۵ درصد برآورد شده است (Chauhan et al, 2009; Zebek & Prescott, 2006) و این مقدار در جنگل کاری‌های صنوبر ترکیه را ۵۱/۷ درصد برای صنوبر برآورد کردند (Arora et al., 2014).

معادلات رگرسیونی رابطه بین حجم و سن بر اساس بیشترین ضریب تعیین و کمترین خطای استاندارد در جدول (۳) نشان داده شده‌اند. معادلاتی که دارای ضریب تعیین بالاتری هستند از اعتبار بیشتری برخوردارند چون الگوی بهتری از رابطه بین حجم و سن را نشان می‌دهند.

از آنجایی که روند تغییرات کربن به حجم وابسته است یعنی با افزایش حجم، میزان کربن نیز افزایش می‌یابد. بنابراین، الگوی ذخیره کربن همانند حجم سرپا می‌باشد که این امر اهمیت زیادی دارد چون افزایش میزان کربن نشان‌دهنده جذب دی‌اکسید کربن بیشتر از جو است (Kiat et al., 2020). این الگو در جنگل کاری مورد نظر تقریباً یکنواخت بود (شکل ۳).

مقدار ترسیب کربن وابسته به نرخ رویش و تولید بیوماس جنگل کاری است. در این زمینه گونه‌های سریع‌الرشد به طور ویژه اگر رویشگاه با کیفیت داشته باشند، مقدار بیشتری کربن را با سرعت بیشتری ذخیره می‌کنند (Keleş, 2017; Huston & Marland, 2003). بررسی اقتصادی کربن ذخیره شده در حال و آینده از لحاظ سود حاصل از آن، تعیین‌کننده ارزش اقتصادی جنگل کاری در طی زمان است. بنابراین واضح است که تصمیم‌گیری امروز روی فرصت‌های آینده اثر دارد.

در انتها پیشنهاد می‌شود که ارزش فعلی آسیب‌های اقلیمی در اثر انتشار گازهای گلخانه‌ای در طی زمان در مطالعات آینده مورد بررسی قرار گیرد. اثر تغییرات کربن در کف جنگل و خشکه‌دارها که با تجزیه آنها کربن مجدداً وارد جو می‌شود، مقدار ترسیب کربن توسط درختان و تاثیر آن بر سن بهره‌برداری بهینه مورد بررسی قرار گیرد و مقدار ترسیب کربن در جنگل کاری‌ها به‌عنوان عامل مهم و موثر بر تغییرات اقلیمی، مورد پایش قرار گیرد.

یادداشت‌ها

1. Stationary autoregressive
2. Non stationary autoregressive
3. Consumer Price Index

در این تحقیق به آنالیز حساسیت‌پذیری قیمت و نرخ سود کربن پرداخته شد. ارزش خالص فعلی به تغییرات قیمت کربن حساسیت نشان داد (شکل ۶). ارزش خالص فعلی با افزایش قیمت کربن افزایش می‌یابد. وقتی که قیمت کربن به ازای هر تن از ۱ به ۵ میلیون ریال افزایش می‌یابد، ارزش خالص فعلی از ۴۵ میلیون ریال به ۲۲۹ میلیون ریال در سن ۳۵ سالگی می‌رسد. همچنین با تغییرات قیمت کربن، ارزش خالص فعلی افزایش می‌یابد.

جریان تولید پایدار چوب و ترسیب کربن در جنگل‌ها وجود دارد که مطابق الگوی رویش و موجودی سرپا است. اگر دوره بهره‌برداری افزایش یابد، مقدار کربن ذخیره شده در توده در زمان بهره‌برداری افزایش می‌یابد و انتشار دی‌اکسید کربن به تعویق می‌افتد و این تاخیرها چرخش آینده را نیز شامل می‌شود (Keleş, 2017). اگر قیمت‌گذاری و ارزش‌گذاری کربن در بازار وجود داشته باشد، به‌طوری که سرمایه‌گذار به‌ازای جذب کربن توسط جنگل کاری، سوبسید دریافت کند و صنایع انتشاردهنده کربن مالیات پرداخت کنند، در نتیجه، سرمایه‌گذاران و مالکان زمین رغبت به حفظ جنگل کاری، به تعویق انداختن بهره‌برداری به‌منظور حفظ محیط‌زیست و افزایش ترسیب کربن بیشتر خواهند داشت. جریان دایم ترسیب کربن و تولید چوب بستگی به گونه‌های درختی، ترکیب گونه‌ای، میزان رویش و موجودی جنگل دارد.

فهرست منابع

- Adetoye, A. M.; Okojie, L. O. & Akerele, D. 2018. Forest carbon sequestration supply function for African countries: An econometric modelling approach, *Forest Policy and Economics* 90: 59-66.
- Arora, G.; Chaturvedi, S.; Kaushal, R.; Nain, A.; Tewari, S. & Alam, N.M. 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.
- Asante, P.; Armstrong Glen, W. & Adamowicz Wiktor, L. 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.
- Assmuth, A.; Tahvonon, O. 2018. Optimal carbon storage in even- and uneven-aged forestry. *Forest Policy and Economics*, 87: 93-100.
- Bakhtiarvand Bakhtiari, S. & Sohrabi, H. 2012. Allometric equations for estimating above and below-ground carbon storage of four broadleaved and coniferous trees. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*. 20 (3): 481-492. (In Persian).
- Cao, S.; Suo, X.; Xia, Ch.; Yu, Z. & Feng, F. 2020. Net value of forest ecosystem services in China. *Ecological Engineering* 142:105645.
- Carbon Emissions Futures Historical Prices. 2017, Available at <https://www.investing.com/commodities/carbon-emissions-historical-data>.

Central Bank of Iran (CBI), http://www.cbi.ir/Inflation/Inflation_FA.aspx.

Chauhan, SK.; Gupta, N.; Ritu. Yadav, S. & Chauhan, R. 2009. Biomass and carbon allocation in different parts of agroforestry tree species. *Indian Forest* 135: 981–993.

Ekholm, T. 2016. Optimal forest rotation age under efficient climate change mitigation. *Forest Policy and Economics* 62: 62–68.

Eslamdoust, J.; Sohrabi, H. & Hosseini, S.M. 2014. 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).

Faustmann, M. 1849. On the determination of the value which forest land and immature stands possess for forestry. *J. For. Eco.* 1: 7–44. [Reprinted 1995.]

Forouzeh, M. R.; Heshmati, A.; Ghanbariyan, Gh. A. & Mesbah, S. H. 2008. Comparison potential carbon sequestration *Helianthemum lippii* (Pers.), *Dendrostellera lessertii* (Van Tigeh.) And *Artemisia sieberi* Besser in arid rangeland of Iran (case study: Garbayegan Fasa in Fars province), *Iranian Journal of Environmen Science*.46 (2): 65-72. (In Persian).

Ghasemi Nejad Raeini, M. & Sadeghi, H. 2018. Evaluation of carbon sequestration in soil and plant organs of *Zygophyllum atriplicoides* and *Gymnocarpus decander* (Case study: Saleh-Abad, Hormozgan). *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 24 (4): 699-707. (In Persian).

Heidari Safari Kouchi, A.; Iranmanesh, Y. & Rostami Shahraji, T. 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).

Henry, M.; Besnard, A.; Asante, W.A.; Eshun, J.; Adu-Bredu, S.; Valentini, R.; Bernoux, M & 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: 1375–1388.

Huston, M. & Marland, G. 2003. Carbon management and biodiversity, *Journal of Environmental Management* 67: 77-86.

Keleş, S. 2017. Determining Optimum Cutting Ages Including Timber Production and Carbon Sequestration Benefits in Turkish Pine Plantations, *Sains Malaysiana* 46(3): 381–386.

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 mazandarn province plantation). *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 29 (2): 199-207.

Kiat, P.E.; Malek, M.A. & Shamsuddin, S.M. 2020. Net carbon stocks change in biomass from wood removal of tropical forests in Sarawak, Malaysia. *Journal of King Saud University – Science* 32: 1096–1099.

Kula, E. & Gunalay, Y. 2012. Carbon sequestration, optimum forest rotation and their environmental impact, *Environmental Impact Assessment Review* 37, 18-22.

Liu, W. Y.; Lin, C. C. & Su, K. H. 2017. Modelling the spatial forest-thinning planning problem considering carbon sequestration and emissions, *Forest Policy Economics* 78, 51–66.

Maraseni, T.N.; Son, H.L.; Cockfield, G.; Duy, H.V. & Nghia, T.V. 2017. Comparing the financial returns from acacia plantations with different plantation densities and rotation ages in Vietnam. *Forest Policy and Economics* 83: 80–87.

Moftakhar Juybary, M. & Heshmatol Vaezin, S. M. 2016. Seasonal Fluctuations Assessment of Log and Lumber Prices Using MultipleRegression Analysis: Case Study of Azarood Forest, Mazandaran. 68 (2): 371-382. (In Persian).

Mohammadi, A. & Moayeri, M. H. 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. (In Persian).

- Mohammadi Limaiei, S.; Heybatian, R.; Heshmatol Vaezin, S. M. & Torkman, J. 2011. Wood import and export and its relation to major macroeconomics variables in Iran. *Forest Policy and Economics*, 13: 303–307.
- Mohammadi Limaiei, S. 2011. *Economics optimization of forest management*, Lap Lambert Academic Publication, Germany, 140p.
- Mohammadi, Z.; Mohammadi Limaiei, 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.
- Nghiem, N. 2014. Optimal rotation age for carbon sequestration and biodiversity conservation in Vietnam, *Forest Policy and Economics* 38: 56–64.
- Olschewski, R. & Benítez, P.C. 2010. Optimizing joint production of timber and carbon sequestration of afforestation projects, *Journal of Forest Economics*. 16 (1):1–10.
- Oskoonejad, M. M. 2017. *Engineering economic*, Publication of Amirkabir University of Technology. 628 p.
- Parsapour, M. K.; Sohrabi, H.; Soltani, A. & Iranmanesh, Y. 2013. Allometric equations for estimating biomass in four poplar species at Charmahal and Bakhtiari province. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*. 21 (3): 517-528.
- Zebek, L.M. & Prescott, C.E. 2006. Biomass equations and carbon content of aboveground biomass of hybrid poplar in Central British Columbia. *Forest Ecology and Management* 223: 297–302.
- Zhou, M. 2015. Adapting sustainable forest management to climate policy uncertainty: A conceptual framework, *Forest Policy and Economics* 59: 66-74.
- Zhou, W. & Gao, L. 2016. The impact of carbon trade on the management of short-rotation forest plantations, *Forest Policy and Economics* 62: 30-35.
- Zobeiri, M. 1994. *Forest inventory (Measurement of tree and forest)*. Tehran University Press NO. 3, 401 pp. (In Persian).