



برآورد موجودی و ارزش اقتصادی اندوخته کربن ریشه و کنده درختان *Populus deltoides* در صنوبرکاری‌های استان گیلان

رامین نقدی^{۱*}، مهرداد میرزایی^۲، امیرحسین آفاجانی^۳ و جواد ترکمن^۴

^۱ استاد گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران.
^۲ دانش‌آموخته دکتری جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران.
^۳ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران.
^۴ دانشیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۰۹، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۰۹)

چکیده

جنگل‌ها از مهم‌ترین مخازن کربن در زمین به‌شمار می‌روند و اندوخته شدن کربن در زی‌توده گیاهی ساده‌ترین و به لحاظ اقتصادی عملی‌ترین راهکار برای کاهش دی‌اکسید کربن اتمسفری است. هدف این پژوهش، تعیین زی‌توده و اندوخته کربن کنده و ریشه درختان صنوبر دلتوئیدس (*Populus deltoides* Marshall) در صنوبرکاری‌های تنیان در استان گیلان بود. بدین منظور براساس روش نمونه‌برداری انتخابی، ۱۵ اصله درخت انتخاب شد. پس از عملیات قطع و خروج گرده‌بینه‌ها، به‌منظور خارج کردن کنده و ریشه‌ها از خاک از یک دستگاه بیل مکانیکی استفاده شد. پس از جدا کردن کنده و ریشه، با استفاده از دستگاه ترازوی دیجیتال، اندام‌های کنده و ریشه توزین شد. سپس نمونه‌هایی از اندام‌های مختلف درختان صنوبر (کنده و ریشه) به‌منظور برآورد مقدار زی‌توده و اندوخته کربن جدا و توزین شد. پس از خشک کردن در داخل آون (با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد)، وزن خشک نمونه‌ها تعیین شد. پس از سوزاندن مقدار کافی از نمونه‌های خشک‌شده در کوره الکتریکی، وزن مواد آلی و مقدار کربن نمونه‌های کنده و ریشه به‌دست آمد. نتایج نشان داد که متوسط زی‌توده کنده، زی‌توده ریشه، اندوخته کربن کنده و اندوخته کربن ریشه برای گونه صنوبر به‌ترتیب ۲/۱۵، ۲۲/۱۸، ۱/۰۵ و ۱۰/۹۴ کیلوگرم به‌ازای هر اصله درخت به‌دست آمد. نتایج نشان داد که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین مقدار زی‌توده و اندوخته کربن کنده و ریشه گونه صنوبر با متغیر قطر یقه وجود دارد. مقدار کربن ترسیب‌یافته در اندام‌های ریشه و کنده ۳/۸۳۶ تن در هکتار و ارزش اقتصادی آن در هر هکتار ۴۶۷۲۳۰۱۵/۶۸ ریال محاسبه شد.

واژه‌های کلیدی: ترسیب کربن، جنگلکاری، زی‌توده، معادله آلومتریک.

مقدمه

گلخانه‌ای مثل دی‌اکسید کربن، متان و اکسید ازت پرتو فرورسرخ را جذب می‌کنند و سبب افزایش درجه حرارت زمین می‌شوند. دی‌اکسید کربن عامل حدود نیمی از گرم شدن گلخانه‌ای زمین است (Petit et al., 1999).

به باور بسیاری از محققان، افزایش گرمای کره زمین و تغییر اقلیم، ناشی از افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر است (Brooks, 1998). گازهای

ابعاد درختان کوچک باشد، استفاده از روش اندازه‌گیری واقعی امکان‌پذیر است (Ketterings et al., 2001; Jahanpour et al., 2019). اندازه‌گیری زی‌توده برای ارزیابی ساختار و شرایط جنگل مهم است و برآوردی از مقدار اندوخته کربن در چوب، برگ‌ها و ریشه درخت ارائه می‌دهد و می‌توان آن را شاخصی برای حاصلخیزی رویشگاه چه از نظر بیولوژیکی و چه از نظر اقتصادی در نظر گرفت (Cole & Evel, 2006). بیش از یک قرن است که برآورد زی‌توده درختان جنگلی به‌عنوان موضوعی تحقیقاتی مطرح شده و به‌علت توجه به اهمیت و توانایی درختان در اندوخته کربن، تحقیق در این زمینه افزایش یافته است (Cienciala et al., 2008). (Jojansson & Hjelm (2012). با برآورد مقدار زی‌توده گونه صنوبر (*P. trichocarpa* Torr. & A.Gray ex Hook. و گونه صنوبر هیبریدی (*P. maximowiszii* × *P. trichocarpa*) در سوئد نشان دادند که مقدار زی‌توده کنده به‌ترتیب ۲۱ و ۴۱ کیلوگرم به‌ازای هر اصله و مقدار زی‌توده ریشه به‌ترتیب ۷ و ۱۳/۵ کیلوگرم به‌ازای هر اصله درخت است. (Berhongaray et al. (2013). مقدار زی‌توده زیرزمینی گونه صنوبر هیبریدی (*P. trichocarpa* × *P. maximowiszii*) و گونه صنوبر (*P. deltoids* × *P. nigra* L.) به‌ترتیب بین ۳۷/۷ تا ۴۶/۸ و ۴۶ تا ۴۸/۷ گرم در متر مربع متغیر است. (Forteir et al. (2013). با بررسی مقدار زی‌توده زیرزمینی (ریشه) گونه صنوبر هیبریدی (*Populus x spp.*) در چهار رویشگاه مختلف کشور کانادا نشان دادند که مقدار زی‌توده بین ۱۱ تا ۲۹/۶ تن در هکتار متغیر است. (Ribeiro et al. (2015). برآورد مقدار زی‌توده و اندوخته کربن روزمینی (تنه، پوست و برگ) و زیرزمینی (ریشه) گونه اکالیپتوس (*Eucalyptus grandis* W.Hill) در برزیل نشان دادند که میانگین زی‌توده روزمینی و زیرزمینی به‌ترتیب ۱۱۱/۳۵ و ۱۹/۲۲ کیلوگرم و میانگین اندوخته کربن روزمینی و زیرزمینی به‌ترتیب ۱۳۳/۶ و ۳۷/۸۴

جنگل‌ها از مهم‌ترین اکوسیستم‌های خشکی هستند و اثر مهمی در جریان انرژی، ماده و تبدیل این دو بین زمین و اتمسفر دارند (Sun et al., 2004). مهم‌ترین تأثیر جنگل‌ها بر آب‌وهوا، جذب دی‌اکسید کربن جو توسط برگ‌ها طی فرایند فتوسنتز و استفاده از کربن آن برای ساخت زی‌توده، شامل برگ، ریشه، ساقه و میوه است (Moghadam, 2006). طی فرایند اندوخته کربن، دی‌اکسید کربن از اتمسفر گرفته می‌شود و در بافت‌های گیاهی به‌صورت هیدرات‌های کربن ذخیره شده و سپس بخشی از آن به‌صورت کربن لاشبرگ و کربن آلی خاک ذخیره می‌شود (Pato et al., 2017). اهمیت تحقیق درباره زی‌توده در اکوسیستم‌های جنگلی این است که مقدار زی‌توده هم بیانگر توان تولید در واحد سطح یا زمان است و هم بر چرخه‌های زیست‌زمین‌شیمیایی در جنگل تأثیر می‌گذارد (Husch et al., 2003). نگرانی‌های جهانی در خصوص آلودگی هوا و تغییرات اقلیمی، موجب افزایش علاقه‌مندی به استفاده از درختان و جنگلکاری برای کاهش غلظت CO₂ اتمسفری شده است (Cannell et al., 1999). در اثر جنگلکاری، احیا و رشد جنگل، سالیانه یک گیگاتن کربن اندوخته می‌شود (Parsapour et al., 2013). از این‌رو افزایش سرانه جنگل از راه جنگلکاری با گونه‌های مختلف درختی و درختچه‌ای که امروزه در دستور کار بسیاری از کشورهای جهان قرار گرفته است، افزون‌بر ایجاد فضای سبز با کارکردهای متنوع سبب اندوخته کربن و کنترل دمای کره زمین می‌شود (Panahi et al., 2011). صنوبرکاری با گونه‌های تندرشد از جمله صنوبر دلتوئیدس (*Populus deltoids* Marshall) ضروری است؛ زیرا ممکن است افزون‌بر جبران بخشی از خسارات اقلیمی ناشی از کاهش سطح جنگل‌های طبیعی، منافع اقتصادی جانبی هم داشته باشد. اندازه‌گیری زی‌توده واقعی درختان به‌طور مستقیم روش بسیار دقیقی است، اما بسیار وقتگیر و هزینه‌بر است و به نیروی کارگری زیادی نیاز دارد، ولی در صورتی که وسعت عرصه کم و

طبیعی و آبخیزداری شهرستان صومعه سرا واقع شده است. مساحت کل سری ۲۲۰۴ هکتار است که ۳۱۳/۸ هکتار از آن در طی سال‌های ۱۳۶۰ تا ۱۳۷۰ با گونه‌های صنوبر، توسکا، کاج و دیگر پهن‌برگان جنگلکاری شده است. عرصه‌های مورد نظر در این طرح در قسمت‌های جلگه‌ای و پایین دست سری قرار گرفته و ارتفاع از سطح دریا بین ۱۰۰ تا ۳۰۰ متر متغیر است. منطقه از نظر مختصات جغرافیایی در طول ۴۹° ۰۴' ۰۵" تا ۴۹° ۰۸' ۲۰" شرقی و عرض ۳۷° ۱۵' ۳۵" تا ۳۷° ۱۶' ۱۰" شمالی واقع شده است (شکل ۱). ساختمان خاک به صورت دانه‌ای ریز و درشت و تیپ آن راندزین دکربنانه و حداکثر عمق خاک ۴۵ سانتی‌متر است. فاصله کاشت نهال‌ها ۶×۵ متر بود، به طوری که تعداد در هکتار عرصه ۳۲۰ اصله به دست آمد. متوسط دمای سالیانه این سری ۱۶/۲۸ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارندگی سالیانه نیز ۹۸۹/۷ میلی‌متر است. اقلیم منطقه براساس طبقه‌بندی آمبرژه خیلی مرطوب است (Booklet of Tanian forestry plan-Series 1, 2011).

شیوه اجرای پژوهش

به منظور جمع‌آوری داده‌های لازم از روش نمونه‌برداری انتخابی استفاده شد. با توجه به هزینه‌بر بودن فرایند جمع‌آوری داده‌ها، برای این منظور ۱۵ اصله از درختان صنوبر دلتوئیدس انتخاب شد. پس از عملیات قطع درختان، قطر یقه با استفاده از دستگاه کالیپر با دقت ۱ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. سپس به منظور خارج کردن کنده‌ها و ریشه‌ها از زمین، از دستگاه بیل مکانیکی مدل کوماتسو PC200 استفاده شد. در مرحله بعد به منظور تفکیک کنده و ریشه از یک دستگاه اره موتوری اشتیل (STIHL) ساخت آلمان با اندازه تیغه متوسط (طول تیغه ۳۲ اینچ) استفاده شد. پس از جدا کردن کنده و ریشه، برای وزن‌کشی و اندازه‌گیری وزن اجزای مختلف درختان از جمله کنده و ریشه از یک دستگاه ترازوی

کیلوگرم است. در پژوهشی دیگر، Oliveira et al. (2018) با بررسی مقدار زی‌توده روزمینی و زیرزمینی نهال‌های (چهارساله) دو ژنوتیپ مختلف صنوبر شامل AF2 (*Populus × canadensis* Monch) و Monviso (*P. × generosa* Henry × *P. nigra*) در اسپانیا نشان دادند که مقدار زی‌توده روزمینی در نهال‌های AF2 و Monviso به ترتیب ۲۴۴۱/۲ و ۱۹۱۱/۵ گرم در سال و مقدار زی‌توده زیرزمینی به ترتیب ۳۶۰/۲ و ۳۳۰/۵ گرم در سال است. Jha et al. (2018) به برآورد زی‌توده و اندوخته کربن زیرزمینی گونه صنوبر (*P. euramericana* Guinier) در دو سیستم مختلف کاشت شامل آگروفارستری و تک‌کشتی در فرانسه پرداختند و نشان دادند که مقدار زی‌توده در دو سیستم به ترتیب ۱۳۲ و ۱۳۰ کیلوگرم به ازای هر اصله درخت و مقدار اندوخته کربن به ترتیب ۶۶/۴۵ و ۶۰/۹۲ کیلوگرم به ازای هر اصله درخت است. بیشتر پژوهش‌ها در زمینه برآورد مقدار زی‌توده و اندوخته کربن در اندام‌های برگ و تنه درختان بوده و تاکنون تحقیق چندانی درباره اندام‌های ریشه و کنده درختان که وظیفه جذب مواد غذایی از خاک و نگهداری درخت در زمین را دارند، انجام نگرفته است. حال با توجه به بهره‌برداری نشدن از جنگل‌های طبیعی کوهستانی و کمبود چوب در صنعت و همچنین افزایش قیمت چوب، قسمت زیرزمینی (ریشه) گزینه مناسبی برای رفع این مشکل است. هدف این پژوهش، برآورد مقدار زی‌توده و اندوخته کربن اندام‌های روزمینی (کنده) و زیرزمینی (ریشه) درختان صنوبر دلتوئیدس است که در تحقیقات کمتر به آن توجه شده است، درحالی که این اندام‌ها با توجه به گسترش زراعت چوب در کشور می‌توانند بخشی از نیاز صنایع چوب را برطرف کنند.

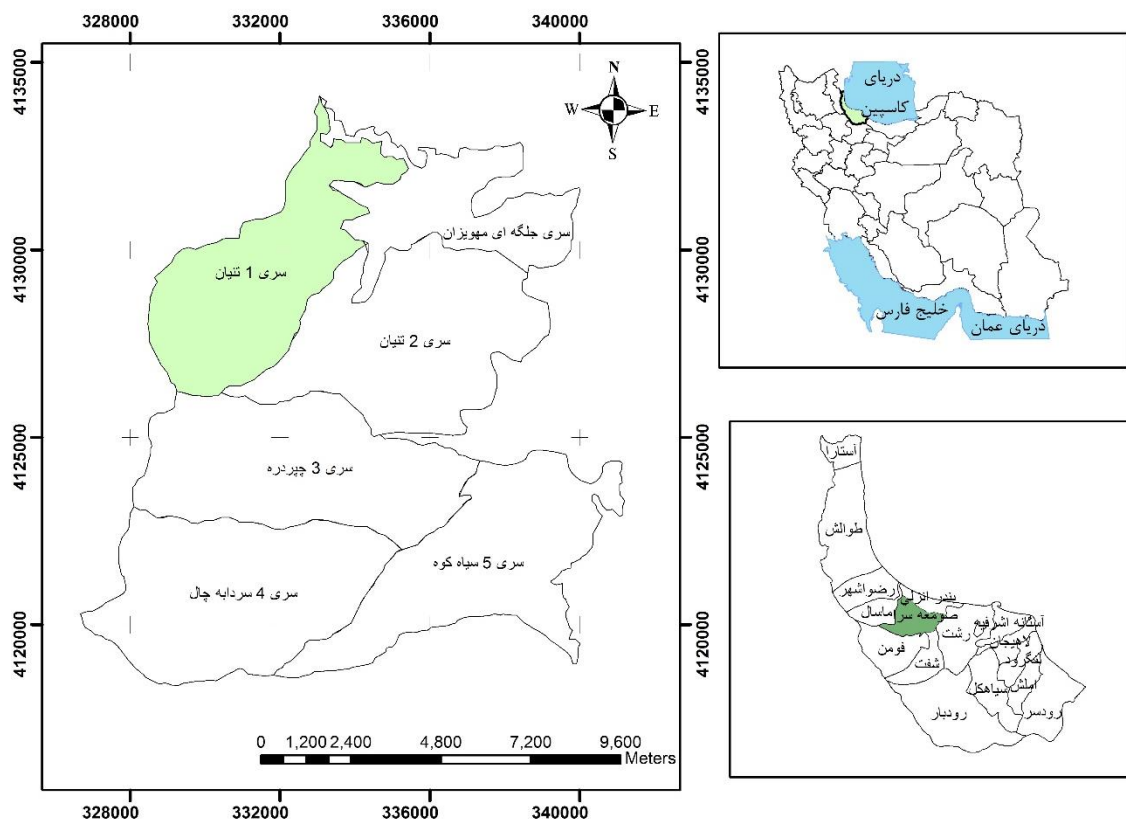
مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش

سری یک جنگل‌های تنیان در حوضه آبخیز شماره ۱۳ تنیان و در محدوده استحقاظی اداره منابع

است که حداقل قطر ریشه در این پژوهش که با عنوان اندام ریشه اندازه‌گیری شد ۲ سانتی‌متر بود.

دیجیتالی مدل Px3000 با دقت گرم و با ظرفیت وزنی حداکثر ۴۰ کیلوگرم استفاده شد. شایان ذکر



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه تحت بررسی

$$WD_c = \frac{WF_c \times WD_s}{WF_s} \quad \text{رابطه ۱}$$

در این رابطه WD_c : وزن خشک هر جزء از درخت، WF_c : وزن تر هر جزء از درخت، WD_s : وزن خشک هر نمونه و WF_s : وزن تر هر نمونه است.

اندازه‌گیری مقدار اندوخته کربن ریشه و کنده درختان صنوبر دلتوئیدس

به منظور اندازه‌گیری مقدار اندوخته کربن موجود در کنده و ریشه درختان صنوبر دلتوئیدس، نمونه‌های خشک‌شده ریشه و کنده به‌طور جداگانه در کوره الکتریکی در دمای ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت سه ساعت قرار داده شد. نمونه‌های سوخته‌شده پس از خنک شدن در دستگاه دسیکاتور توزین شدند. در این

اندازه‌گیری مقدار زی‌توده ریشه و کنده درختان صنوبر دلتوئیدس

برای اندازه‌گیری زی‌توده کنده و ریشه گونه صنوبر دلتوئیدس، نمونه‌هایی از کنده و ریشه (۳ تا ۵ گرم) را جدا شد و وزن تر هر کدام از بخش‌ها به‌طور جداگانه با ترازوی دیجیتالی توزین شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در داخل آون با درجه حرارت ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند (شکل ۲) و پس از آن بلافاصله وزن خشک نمونه‌ها توزین شد (Adl, 2007; Panahi et al., 2013; Siddiq et al., 2021). در این مرحله با استفاده از رابطه بین وزن تر و خشک نمونه‌ها (رابطه ۱)، مقدار زی‌توده (وزن خشک کل) محاسبه شد.

رابطه و با استفاده از وزن خشک نمونه‌ها، مقدار کل اندوخته کربن موجود در ریشه و کنده درختان صنوبر محاسبه شد.

روش کاهش وزن ناشی از احتراق، مقدار ماده آلی را نشان می‌دهد که ۵۰ درصد آن به‌عنوان کربن آلی در نظر گرفته شد (Singh et al., 2011; Maghsoudlou et al., 2020; Siddiq et al., 2021). با استفاده از این



شکل ۲- توزین نمونه‌ها و قرار دادن آنها در دستگاه آون

روش تحلیل

به‌منظور بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و بررسی همگنی واریانس داده‌ها از آزمون لون استفاده شد. به‌منظور بررسی رابطه همبستگی بین متغیرهای اندازه‌گیری شده از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد. همچنین به‌منظور مقایسه میانگین زی‌توده و اندوخته کربن کنده و ریشه گونه صنوبر دلتوئیدس از آزمون t جفتی استفاده شد. برای بررسی روابط آلومتریک بین متغیرهای قطر یقه با زی‌توده و اندوخته کربن اندام‌های کنده و ریشه گونه صنوبر دلتوئیدس از روابط رگرسیونی خطی ساده، لگاریتمی، نمایی و توانی استفاده شد. شکل کلی مدل‌های رگرسیونی استفاده شده شامل توابع خطی ساده (رابطه ۲)، لگاریتمی (رابطه ۳)، نمایی (رابطه ۴) و توانی (رابطه ۵) به‌صورت روابط زیر است (Mirabdollahi Shamsi et al., 2011; Sohrabi & Shirvani, 2012).

$$Y_i = b_0 + b_1 X_i \quad \text{رابطه ۲}$$

$$Y_i = b_0 + b_1 \ln(X_i) \quad \text{رابطه ۳}$$

$$Y_i = b_0 \times e^{b_1 X_i} \quad \text{رابطه ۴}$$

$$Y_i = b_0 \times X_i^{b_1} \quad \text{رابطه ۵}$$

در این مدل‌ها Y_i : متغیر وابسته (زی‌توده کنده یا ریشه)، X_i : متغیر مستقل قطر یقه، b_0 و b_1 : مؤلفه‌های مدل است.

تجزیه و تحلیل‌های آماری در نرم‌افزار IBM SPSS 22 انجام گرفت و نمودارهای مربوط به روابط آلومتریک در نرم‌افزار Excel 2013 ترسیم شد.

به‌منظور برآورد ارزش ریالی اندوخته کربن ریشه و کنده درختان صنوبر دلتوئیدس با توجه به قیمت

کنده، زی توده ریشه، اندوخته کربن کنده و اندوخته کربن ریشه گونه صنوبر دلتوئیدس به ترتیب ۲/۱۵، ۲۲/۱۸، ۱/۰۵ و ۱۰/۹۴ کیلوگرم به ازای هر اصله درخت است. دیگر آمارهای توصیفی در جدول ۱ نشان داده شده است.

همچنین نتایج مقایسه میانگین نشان داد که اختلاف معنی داری بین میانگین زی توده و اندوخته کربن درختان صنوبر دلتوئیدس بین دو اندام ریشه و کنده وجود دارد (جدول ۲).

جهانی کربن یعنی ۴۷/۲ دلار آمریکا به ازای هر تن (هر دلار معادل ۲۶۰۰۰۰ ریال)، ارزش این مقدار کربن ترسیب یافته به دست آمد (Maghsoudlou et al., 2020).

نتایج

نتایج متغیرهای اندازه گیری شده نشان داد که میانگین قطر برابر سینه و قطر یقه به ترتیب ۴۶/۲ و ۴۹/۴ سانتی متر است. همچنین میانگین زی توده

جدول ۱- آمارهای کمی متغیرهای اندازه گیری شده (به ازای تک درخت)

مشخصه	میانگین (کیلوگرم)	انحراف معیار	درصد ضریب تغییرات
زی توده کنده	۲/۱۵	۱/۰۸	۵۰/۴۲
زی توده ریشه	۲۲/۱۸	۸/۹۰	۴۰/۱۳
ذخیره کربن کنده	۱/۰۵	۰/۵۳	۵۰/۴۲
ذخیره کربن ریشه	۱۰/۹۴	۴/۳۹	۴۰/۱۳

جدول ۲- مقایسه میانگین زی توده و اندوخته کربن ریشه و کنده درختان صنوبر دلتوئیدس

متغیر	t	درجه آزادی	معنی داری
زی توده	-۹/۱۹۴	۱۴	۰/۰۰*
اندوخته کربن کنده	-۹/۱۹۶	۱۴	۰/۰۰*

* اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۵

متغیرهای وابسته زی توده و اندوخته کربن گونه صنوبر دلتوئیدس با قطر یقه معنی دار است.

همبستگی بین متغیرهای وابسته زی توده، اندوخته کربن با متغیر مستقل قطر یقه در جدول ۳ ارائه شده است. همان طور که نتایج نشان می دهد همبستگی بین

جدول ۳- ضرایب همبستگی بین متغیرهای زی توده و اندوخته کربن کنده و ریشه با قطر یقه درختان صنوبر دلتوئیدس

متغیر	زی توده کنده	زی توده ریشه	اندوخته کربن کنده	اندوخته کربن ریشه
ضریب همبستگی	۰/۸۴۹*	۰/۶۶۵*	۰/۸۴۹*	۰/۶۶۵*

* همبستگی معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۵

مدل توانی و مدل نمایی نسبت به دیگر مدل ها از ضریب تبیین بیشتری برخوردار بودند و به عنوان مدل مناسب تر انتخاب شدند (جدول ۴).

روابط آلومتریک متغیر زی توده ریشه و کنده روابط رگرسیونی برای متغیرهای زی توده ریشه و کنده درختان صنوبر دلتوئیدس نشان داد که به ترتیب

جدول ۴- نتایج معادلات آلومتریک برای متغیر زی توده ریشه و کنده

اندام درخت	مدل	معادله مدل	ضریب تبیین (R ²)	ضریب تبیین تعدیل یافته (R ² adj)	اشتباه معیار برآوردها
ریشه	خطی	$Y = 1/155 + 0/426D$	۰/۴۴۲	۰/۳۹۹	۶/۹۰۰
	لگاریتمی	$Y = -57/485 + 20/642 \ln(D)$	۰/۴۹۳	۰/۴۵۴	۶/۵۷۸
	توانی	$Y = 0/288 \times D^{1/104}$	۰/۵۸۵	۰/۵۵۳	۰/۲۹۲
	نمایی	$Y = 6/770 \times e^{-0/22D}$	۰/۵۰۵	۰/۴۶۷	۰/۳۱۹
کنده	خطی	$Y = -1/12 + 0/066D$	۰/۷۲۱	۰/۶۹۹	۰/۵۹۵
	لگاریتمی	$Y = -8/767 + 2/829 \ln(D)$	۰/۶۲۴	۰/۵۹۵	۰/۶۹۱
	توانی	$Y = 0/013 \times D^{1/301}$	۰/۶۸۲	۰/۶۵۸	۰/۲۷۹
	نمایی	$Y = 0/453 \times e^{-0/29D}$	۰/۷۳۳	۰/۷۱۲	۰/۲۵۶

Y: زی توده ریشه (کیلوگرم)، D: قطر یقه (سانتی متر)

به ترتیب مدل های توانی و نمایی دارای ضریب تبیین بیشتری نسبت به دیگر مدل ها هستند (جدول ۵).

- روابط آلومتریک متغیر اندوخته کربن ریشه و کنده نتایج روابط آلومتریک متغیرهای اندوخته کربن ریشه و کنده درختان صنوبر دلتوئیدس نشان داد که

جدول ۵- نتایج معادلات آلومتریک برای متغیر اندوخته کربن ریشه و کنده درختان صنوبر دلتوئیدس

اندام درخت	مدل	معادله مدل	ضریب تبیین (R ²)	ضریب تبیین تعدیل یافته (R ² adj)	اشتباه معیار برآوردها
ریشه	خطی	$Y = 0/570 + 0/210D$	۰/۴۴۲	۰/۳۹۹	۳/۴۰۵
	لگاریتمی	$Y = -28/365 + 10/186 \ln(D)$	۰/۴۹۳	۰/۴۵۴	۳/۲۴۶
	توانی	$Y = 0/142 \times D^{1/104}$	۰/۵۸۵	۰/۵۵۳	۰/۲۹۲
	نمایی	$Y = 3/340 \times e^{-0/22D}$	۰/۵۰۵	۰/۴۶۷	۰/۳۱۹
کنده	خطی	$Y = -0/550 + 0/033D$	۰/۷۲۱	۰/۶۹۹	۰/۲۹۲
	لگاریتمی	$Y = -4/307 + 1/390 \ln(D)$	۰/۶۲۴	۰/۵۹۵	۰/۳۳۹
	توانی	$Y = 0/006 \times D^{1/301}$	۰/۶۸۲	۰/۶۵۸	۰/۲۷۹
	نمایی	$Y = 0/222 \times e^{-0/29D}$	۰/۷۳۳	۰/۷۱۲	۰/۲۵۶

Y: زی توده کنده (کیلوگرم)، D: قطر یقه (سانتی متر)

نتایج نشان داد مقدار کربن ترسیب یافته در اندام های ریشه و کنده به ترتیب برابر ۴۲۶۳۱۳۴۲/۰۸ و ۴۰۹۱۶۷۳/۶ ریال است (جدول ۶).

- برآورد ارزش ریالی اندوخته کربن ریشه و کنده درختان صنوبر دلتوئیدس با توجه به قیمت جهانی کربن و تعداد در هکتار درختان صنوبر دلتوئیدس در منطقه تحقیق (۳۲۰ اصله)، ارزش مقدار کربن ترسیب یافته به دست آمد که

جدول ۶- ارزش ریالی کربن ترسیب یافته در اندام‌های ریشه و کنده درختان صنوبر دلتوئیدس

متغیر	ریشه	کنده	کل
کربن ترسیب یافته (تن در هکتار)	۳/۵۰۰	۰/۳۳۳	۳/۸۳۶
ارزش (ریال)	۴۲۶۳۱۳۴۲/۰۸	۴۰۹۱۶۷۳/۶	۴۶۷۲۳۰۱۵/۶۸

بحث

در بیشتر تحقیقات در ایران مقدار زی‌توده اندام‌های هوایی به‌عنوان جایگزینی برای مقدار اندوخته کربن در نظر گرفته شده و تحقیقات چندانی در زمینه مقدار زی‌توده و اندوخته کربن اندام‌های زیرزمینی انجام نگرفته است. در این پروژه با استفاده از مقدار زی‌توده اندام‌های زیرزمینی به برآورد مقدار اندوخته کربن اندام‌های زیرزمینی پرداخته شده است. تعیین مشخصه‌های ساختاری اکوسیستم‌های جنگلی از جمله شاخص مقدار زی‌توده و اندوخته کربن در ریشه و کنده گونه صنوبر دلتوئیدس می‌تواند نقطه شروعی برای چنین تحقیقاتی در گونه‌های جنگلکاری‌ها و مقایسه توان آنها در ذخیره دی‌اکسید کربن اتمسفر باشد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که میانگین زی‌توده روزمینی (کنده) و زیرزمینی (ریشه) گونه صنوبر دلتوئیدس به ترتیب برابر ۲/۱۵ و ۲۲/۱۸ کیلوگرم به‌ازای هر اصله به‌دست آمد. در پژوهش Jojansson & Hjelm (2012) در گونه صنوبر (*P. trichocarpa*) و گونه هیبرییدی (*P. maximowiczii* × *P. trichocarpa*) مقدار زی‌توده کنده به ترتیب ۲۱ و ۴۱ کیلوگرم و مقدار زی‌توده ریشه به ترتیب ۷ و ۱۳/۵ کیلوگرم به‌ازای هر اصله درخت به‌دست آمد که با نتایج این پژوهش تفاوت دارد. از دلایل تفاوت نتایج می‌توان به ارتفاع محل قطع درخت (ارتفاع کنده) و قطر ریشه اشاره کرد؛ در پژوهش Jojansson & Hjelm (2012) ارتفاع کنده در حدود ۵۰ سانتی‌متر و قطر ریشه‌های بیشتر از ۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد، در حالی که در پژوهش حاضر ارتفاع کنده کمتر از ۳۰ سانتی‌متر و قطر ریشه‌ها

بیشتر از ۲ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. بنابراین با افزایش ارتفاع کنده و کاهش قطر ریشه اندازه‌گیری شده، مقدار زی‌توده بیشتر خواهد بود که نتایج این پژوهش نیز این مطلب را تأیید کرد. در پژوهشی دیگر، Forteir et al. (2013) مقدار زی‌توده زیرزمینی گونه صنوبر را بین ۱۱ تا ۲۹/۶ تن در هکتار بیان می‌کنند که با نتایج زی‌توده زیرزمینی گونه صنوبر دلتوئیدس در پژوهش حاضر ۷/۰۹ تن در هکتار تفاوت دارد. از دلایل تفاوت نتایج افزون‌بر متفاوت بودن گونه‌ها، می‌توان به قطر ریشه‌های اندازه‌گیری شده اشاره کرد که در پژوهش حاضر، حداقل قطر ریشه که اندازه‌گیری شد ۲ سانتی‌متر بود، در حالی که در پژوهش Forteir et al. (2013) ریشه‌هایی با قطر کمتر از ۲ میلی‌متر نیز اندازه‌گیری شدند.

بررسی اندوخته کربن در اندام‌های کنده و ریشه نیز نشان داد که میانگین اندوخته کربن روزمینی و زیرزمینی گونه صنوبر دلتوئیدس به ترتیب برابر ۱/۰۵۶ و ۱۰/۹۴۶ کیلوگرم به‌ازای هر اصله به‌دست آمد. Jha et al. (2018) مقدار اندوخته کربن گونه صنوبر (*P. euramericana*) را در دو سیستم مختلف آگروفارستری و تک‌کشتی به ترتیب ۶۶/۴۵ و ۶۰/۹۲ کیلوگرم به‌ازای هر اصله درخت برآورد کردند که با نتایج به‌دست‌آمده در مورد گونه صنوبر دلتوئیدس در پژوهش حاضر همخوانی ندارد. متفاوت بودن نوع گونه‌ها و همچنین قطر ریشه‌های در نظر گرفته شده از دلایل تفاوت نتایج دو پژوهش است؛ به‌طوری که قطر ریشه کمتر از ۲ میلی‌متر نیز در پژوهش Jha et al. (2018) در نظر گرفته شد، در حالی که در پژوهش حاضر ریشه‌هایی با قطر بیشتر از ۲ سانتی‌متر

مربوط به مدل‌هایی با تنها یک متغیر پیش‌بینی‌کننده است که در این پژوهش نیز از یک متغیر قطر یقه به‌عنوان متغیر پیش‌بینی‌کننده در برآورد زی‌توده و اندوخته کربن ریشه و کنده گونه صنوبر دلتوئیدس استفاده شد که نتایج ضریب تبیین تعدیل‌یافته در مورد گونه صنوبر دلتوئیدس پذیرفتنی است. همچنین Calvo-Alvarado et al. (2008) و Pokorný & Tomaskova (2007) و Socha & Wezyk (2007) نشان دادند که بیشتر از ۸۰ درصد تغییرات زی‌توده گونه کاج جنگلی (*Pinus sylvestris* L.) براساس متغیر قطر برابر سینه توجیه‌پذیر است.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که بین متغیرهای وابسته زی‌توده و اندوخته کربن اندام‌های ریشه و کنده درختان صنوبر دلتوئیدس ارتباط معنی‌داری وجود دارد و براساس آنالیز رگرسیون‌های خطی و غیرخطی، مدل‌هایی به‌دست آمد که با دقت زیادی شاخص‌های ذکر شده را برآورد می‌کنند. نتایج این پژوهش نشان‌دهنده توانایی اندازه‌گیری مقدار زی‌توده و اندوخته کربن اندام‌های زیرزمینی و روزمینی شامل ریشه و کنده درختان صنوبر دلتوئیدس با استفاده از معادلات آلومتریک است. به‌طور کلی باید بیان کرد که افزون بر نوع گونه، شرایط رویشگاهی، تراکم و فاصله کاشت درختان، ابعاد و سن درختان نیز از عوامل تأثیرگذار بر مقدار زی‌توده و اندوخته کربن درختان است، چراکه با افزایش سن، ابعاد درختان نیز بیشتر می‌شود که بر مقدار زی‌توده و اندوخته کربن تأثیرگذار خواهد بود. با توجه به اینکه اندازه‌گیری همه درختان موجود در توده‌های جنگلی وقتگیر و پرهزینه است و امکان اندازه‌گیری همه درختان وجود ندارد (Temesgen et al., 2005)، اقدام به ساخت و توسعه مدل‌های مختلف می‌شود که به مدیران جنگل اجازه می‌دهد به‌طور دقیق‌تر و در مدت زمان کمتری متغیرهای مورد نظر از جمله مقدار زی‌توده و اندوخته کربن اندام‌های زیرزمینی و روزمینی را برآورده کرده و در تصمیم‌گیری‌های خود لحاظ کنند.

اندازه‌گیری شد. به‌طور کلی هرچه قطر ریشه کمتر در نظر گرفته شود، حجم آن افزایش می‌یابد و این افزایش حجم ریشه سبب افزایش زی‌توده ریشه می‌شود و متعاقب آن اندوخته کربن ریشه نیز افزایش خواهد یافت. از طرف دیگر تفاوت تراکم در هکتار درختان نیز از دلایل متفاوت بودن نتایج است.

در بررسی روابط آلومتریک مشخص شد که متغیر مستقل قطر یقه با متغیرهای وابسته زی‌توده و اندوخته کربن همبستگی معنی‌داری دارد. بررسی روابط آلومتریک نشان داد که از بین مدل‌های ذکر شده، مدل توانی به‌منظور برآورد مقدار زی‌توده و اندوخته کربن ریشه گونه صنوبر از مقدار ضریب تبیین بیشتری برخوردار بود و مدل مناسب معرفی شد. به‌طور کلی مقدار ضریب تبیین (R^2) به‌دست‌آمده بیانگر این است که ۵۸/۵ درصد از تغییرات زی‌توده و اندوخته کربن ریشه گونه صنوبر دلتوئیدس با استفاده از مدل توانی و براساس متغیر قطر یقه توجیه می‌شود. همچنین نتایج نشان داد که در برآورد مقدار زی‌توده و اندوخته کربن گونه صنوبر دلتوئیدس، همه مدل‌های بررسی شده از دقت و ضریب تبیین خوبی برخوردارند. به‌طور کلی نتایج تحقیقات مختلف نشان داده است که روابط ایجاد شده برای پیش‌بینی مقادیر زی‌توده در اندام‌های چوبی بسیار قوی‌تر از روابطی است که برای پیش‌بینی مقادیر زی‌توده در اندام‌های غیرچوبی شامل برگ و سرشاخه‌ها ایجاد می‌شوند. بنابراین به‌دلیل تغییرات زیاد زی‌توده شاخ‌وبرگ و وابستگی زیاد آن به شرایط رویشگاه، برآورد مقدار زی‌توده برگ با دقتی که در برآورد مقدار زی‌توده تنه اصلی وجود دارد، مشکل است (Socha & Wezyk, 2007; Navar, 2009). Parsapour et al. (2013) از رابطه رگرسیونی توانی به‌منظور برآورد زی‌توده چهار گونه صنوبر در استان چهارمحال و بختیاری استفاده کردند که نتایج، روابطی قوی را در برآورد زی‌توده قسمت‌های مختلف درخت به‌ویژه قسمت‌های چوبی براساس قطر تاج (با ضریب تبیین ۰/۸۸) نشان داد. Kumar Sarker et al. (2013) بیان کردند که بهترین مدل‌ها با بیشترین ضریب تبیین

References

- Adl, H.R. (2007). Estimation of leaf biomass and leaf area index of two major species in Yasuj forests. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 15(4), 417-426.
- Berhongaray, G., Janssens, I.A., King, J.S., & Ceulemans, R. (2013). Fine root biomass and turnover of two fast-growing poplar genotypes in a short-rotation coppice culture. *Plant and Soil*, 373, 269–283.
- Booklet of Tanian forestry plan-Series 1. (2011). Department of natural resources and watershed Someh sara, 347p.
- Brooks, R. (1998). *Carbon Sequestration, what's that? UI Extension Forestry Information Series*. Forest Management 32, 2 pp.
- Cannell, M.G.R., Milne, R., Hargreaves, K.J., Brown, T.A.W., Cruickshank, M.M., Bradley, R.I., Spencer, T., Hope, D., Billett, M.F., Adger, W.N., & Subak, S. (1999). National inventories of terrestrial carbon sources and sinks, the U.K. experience. *Climatic Change*, 42, 505-530.
- Calvo-Alvarado, J., Mcdowell, N., & Waring, R. (2008). Allometric relationships predicting foliar biomass and leaf area: sapwood area ratio from tree height in five Costa Rican rain forest species. *Tree Physiology*, 28, 1601-1608.
- Cienciala, E., Apltauer, J., Exnerová, Z., & Tatarinov, F. (2008). Biomass functions applicable to oak trees grown in Central-European forestry. *Journal of Forest Science*, 54(3), 109–120.
- Cole, T.G., & Ewel, J.J. (2006). Allometric equations for four valuable tropical tree species. *Forest Ecology and Management*, 229, 351-360.
- Forteir, J., Truax, B., Gagnon, D., & Lambert, F. (2013). Root biomass and soil carbon distribution in hybrid poplar riparian buffers, herbaceous riparian buffers and natural riparian woodlots on farmland. *Springerplus*, 2(539), 1-19.
- Husch, B., Beers, T.W., & Kershaw, J.A. (2003). *Forest mensuration*. 4th Edition, John Wiley & Sons Inc., 443 pp.
- Jahanpour, F., Badehian, Z., & Soosani, J. (2019). Investigating the efficiency of the carbon sequestration in above-ground biomass of some populous clones. *Iranian Journal of Forest*, 11(2), 195-205.
- Jha, K.K. (2018). Biomass production and carbon balance in two hybrid poplar (*Populus euramericana*) plantations raised with and without agriculture in southern France. *Journal of Forestry Research*, 29, 1689-1701.
- Jojansson, T., & Hjelm, B. (2012). Stump and root biomass of poplar stands. *Forests*, 3, 166-178.
- Ketterings, Q.M., Coe, R., Noordwijk, M.V., Ambagau, Y., & Palm, C.A. (2001). Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology and Management*, 146, 199-209.
- Kumar Sarker, S., Das, N., Chowdhury, M.Q., & Haque, M.M. (2013). Developing allometric equations for estimating leaf area and leaf biomass of *Artocarpus chaplasha* in Raghunandan Hill Reserve, Bangladesh. *Southern Forests: a Journal of Forest Science*, 75, 51-57.
- Maghsoudlou Nezhad, M., Bonyad, A., & Shataee, SH. (2020). Estimation stock and economic value of carbon storage of *Juniperus excelsa* in Gorgan Chahar Bagh. *Journal of Forest and Wood Products*, 72(4), 301-311.
- Mirabdollahi Shamsi, M., Bonyad, A.E., Torkaman, J., & Bakhshandeh navrood B. (2011). Modeling of effective variables on bark thickness of *Fagus orientalis* Lipsky in the Asalem forest area. *Journal of Wood & Forest Science and Technology*, 18(3), 79-90.
- Moghadam, M. (2006). terricolous plants ecology. Tehran University Press, 512 pp (In Persian).

- Navar, J. (2009). Allometric equations and expansion factors for tropical dry forest trees of eastern Sinaloa, Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10, 45-52.
- Oliveira, N., Rodríguez-Soalleiro, R., Pérez-Cruzado, C., Cañellas, I., Sixto, H., & Ceulemans, R. (2018). Above- and below-ground carbon accumulation and biomass allocation in poplar short rotation plantations under Mediterranean conditions. *Forest Ecology and Management*, 428, 57-65.
- Panahi, P., Pourhashemi, M., & Hassani Nejad, M. (2011). Estimation of leaf biomass and leaf carbon sequestration of *Pistacia atlantica* in National Botanical Garden of Iran. *Iranian Journal of Forest*, 3(1), 1-12.
- Panahi, P., Pourhashemi, M., & Hassaninejad, M. (2013). Comparison of specific leaf area in three native oaks of Zagros in national botanical garden of Iran. *Iranian Forest Ecology*, 1(2), 12-26.
- 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.
- Pato, M., Salehi, A., Zahedi Amiri, Gh., & Banj Shafiei, A. (2017). The economic value of carbon storage functions in different land uses of northern Zagros forests. *Journal of Forest Research and Development*, 2(4), 367-377.
- Petit, J.R., Jouzel, J., Raynaud, D., Barkov, N.I., Barnola, J.M., Basile, I., Bender, M., Chappellaz, J., Davis, M., Delaygue, G., Delmotte, M., Kotlyakov, V.M., Legrand, M., Lipenkov, V.Y., Lorius, C., Pépin, L., Ritz, C., Saltzman, E., & Stievenard, M. (1999). Climate and atmospheric history of past 420000 years from the Vostock ice core, Antarctica. *Nature*, 399, 429-436.
- Pokorný, R., & Tomášková, I. (2007). Allometric relationships for surface area and dry mass of young Norway spruce aboveground organs. *Journal of Forest Science*, 53, 548-554.
- Ribeiro, S.C., Soares, C.P.B., Fehrmann, L., Jacovine, L.A.G., & Von Gadow, K. (2015). Aboveground and belowground biomass and carbon estimates for clonal Eucalyptus trees in Southeast Brazil. *Revista Árvore*, 39(2), 353-363.
- Siddiq, Z., Hayat, M.U., Khan, A.U., Mahmood, R., Shahzad, L., Ghaffar, R., & Cao, K.F. (2021). Models to estimate the above and below ground carbon stocks from a subtropical scrub forest of Pakistan. *Global Ecology and Conservation*, p.e01539.
- Sohrabi, H., & Shirvani, A. (2012). Allometric equations for estimating standing biomass of Atlantic Pistache (*Pistacia atlantica* var. *mutica*) in Khojir National Park. *Iranian Journal of Forest*, 4(1), 55-64.
- Singh, V., Tewari, A., Kushwaha, S.P.S., & Dadhwal, V.K. (2011). Formulating allometric equations for estimating biomass and carbon stock in small diameter trees. *Forest Ecology and Management*, 261, 1945-1949.
- Socha, J., & Wezyk, P. (2007). Allometric equations for estimating the foliage biomass of Scots Pine. *European Journal of Forest Research*, 126, 263-270.
- Sun, R., Chen, J.M., Zhou, Y., & Liu, Y. (2004). Spatial distribution of net primary productivity and evapotranspiration in Changbaishan natural reserve, China using Landsat ETM+ data. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 30, 731-742.
- Temesgen, H., Lemay, V., & Mitchell, S.J. (2005). Tree crown ratio models for multi-species and multi-layered stands of southeastern British Columbia. *The Forestry Chronicle*, 81(1), 133-141.



Research Article

Estimation stock and economic value of carbon storage of root and stump of *Populus deltoids* in poplar plantation of Guilan province

R. Naghdi^{1*}, M. Mirzaei², A.H. Aghajani³, and J. Torkaman⁴

¹ Prof., Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, Iran

² Ph.D. Graduated in Forestry Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, Iran

³ MS.c. Graduated in Forestry Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, Iran

⁴ Associate Prof., Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, Iran

(Received: 27 February 2021, Accepted: 30 May 2021)

Abstract

Trees are one of the most important carbon reservoirs on the earth and carbon sequestration into plant biomass is an easiest and economically most practical way for mitigating the CO₂ from atmosphere. This study aims at determining the biomass and carbon storage in stump and roots of *Populus deltoides* in Tanian poplar plantations of Guilan province. For this purpose, 15 poplar trees were selected based on selection sampling method 15. After the cutting and moving the logs from the stump to somewhere outside the plantation, excavator machinery (KOMATSU PC 200) was used to remove the stumps and roots from the soil. After separating the stumps and roots, mentioned parts were weighed using a digital scale. In order to estimate the amount of biomass and carbon storage, some samples of various components of poplar trees were then fallen down and weighed. After drying the samples in oven (80 °C), the dry weight of the samples was determined. After burning an enough amount of dried samples in the electric kiln, the weight of organic matter and carbon of the stump and root samples were obtained. Results showed that the mean of stump biomass, root biomass, stump and root carbon sequestration for each tree were 2.15, 22.18, 1.05 and 10.94 kg per tree, respectively. Results indicated there was a positive and significant correlation between the biomass and carbon sequestration of stump and root with collar diameter. The amount of carbon storage in the root and stump parts was 3.836 tons per hectare and the economic value of carbon storage was calculated as 46723015.68 Rials per hectare.

Keywords: Carbon sequestration, afforestation, biomass, allometric equations.