مقاله پژوهشی

علوم و تکنولوژی محیط زیست, دوره بیست و چهارم, شماره ده، دی ماه ۱۴۰۱ (۱۰۴-۹۳)

اندازه گیری و مدل‌سازی زیتوده و ذخیره کربن کنده و ریشه درختان صنوبر دلتوئیدس (*Populus deltoides*)

جاوید بهریان[۱]

امیرحسین فیروزان [*۲]

firouzan@liau.ac.ir

رامین نقدی[۳]

سیدآرمین هاشمی[٤]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۵/۲۸ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۸/۱۱**

چکیده

زمینه و هدف: تغییرات اقلیمی و گرمایش جهانی در نتیجه افزایش گازهای گلخانه‌ای اتفاق می‌افتد که آثار زیانباری بر حیات انسان روی کره زمین دارد و این در حالی است که جنگل‌ها تأثیر بسیار مهمی در ذخیره‌سازی کربن دارند. هدف این پژوهش، اندازه‌گیری و مدل-سازی زیتوده و ذخیره کربن کنده و ریشه درختان صنوبر دلتوئیدس (*Populus deltoides*) در جنگلکاری‌های شهرستان لنگرود در استان گیلان بوده است.

روش بررسی: بدین منظور با استفاده از روش نمونه‌برداری انتخابی، ۹۳ اصله درخت صنوبر از طبقات قطری مختلف در بهار ۱۴۰۰ انتخاب و پس از عملیات قطع و خروج مقطوعات، از یک دستگاه بیل مکانیکی جهت خارج کردن کنده و ریشه درختان از خاک استفاده شد. به‌منظور برآورد میزان زیتوده و ذخیره کربن ریشه و کنده درختان، نمونه‌هایی از این اندام‌ها جدا و توزین شد و پس از خشک کردن در داخل آون، وزن خشک نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. میزان کربن کنده و ریشه درختان، پس از سوزاندن نمونه‌های خشک شده در کوره الکتریکی محاسبه شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد میزان زیتوده کنده و ریشه به‌ترتیب ۷/۹۹ و ۶۵/۵ و میزان ذخیره کربن کنده و ریشه به ترتیب ۳/۹۲ و ۳۲/۳۲ کیلوگرم به ازای هر اصله درخت برآورد شده است. نتایج روابط آلومتریک نشان داد که مدل‌های به‌دست آمده برای برآورد زیتوده و ذخیره کربن کنده و ریشه با استفاده از سه متغیر قطر کنده، قطر برابرسینه و حجم درختان از ضریب تبیین بالایی برخوردار هستند اما مدل به-

۱- دانشجوی دکترای جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان، ایران.

۲- استادیار گروه علوم و مهندسی جنگل، مدیریت جنگل، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان، ایران. *(مسوول مکاتبات)

۳- استاد گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه سرا، ایران.

۴- دانشیار، گروه علوم و مهندسی جنگل، مدیریت جنگل ،واحد لاهیجان ، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان ایران.

دست آمده با استفاده از ارتفاع کنده ضریب تبیین قابل قبولی ارائه نداد. به‌طور کلی نتایج نشان داد که میزان کربن ذخیره شده در اندام-های کنده و ریشه به ترتیب ۱/۵۶۸ و ۱۲/۹۲۸ تن در هکتار به‌دست آمد.

بحث و نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که آگاهی از مقادیر زیتوده و ذخیره کربن درختان صنوبر دلتوئیدس اهمیت زیادی در ارزش‌گذاری و نیز برنامه‌های مدیریتی جهت توسعه زراعت چوب و استفاده از این اندام‌ها جهت تأمین بخشی از نیاز صنایع چوب خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: ذخیره کربن، زیتوده، زراعت چوب، جنگلکاری.

J. Env. Sci. Tech., Vol 24, No.10, January, 2023

Measurement and modeling of biomass and carbon storage of root and stump of poplar trees (*Populus deltoids*)

Javid Bahrian [1]
Amir Hossein Firouzan [2 *]
firouzan@liau.ac.ir
Ramin Naghdi [3]
Seyedarmin Hashemi[4]

Admission Date: November 2, 2022 Date Received: December 19, 2021

Abstract

Background and Objective: Climate change and global warming occur as a result of increasing greenhouse gases that have detrimental effects on human life on the planet, while forests have a very important impact on carbon storage. The purpose of this study was to measure and modeling of biomass and carbon storage of root and stump of *Populus deltoids* trees in plantations of Langaroud county, Guilan province.

Material and Methodology: For this purpose, based on selection sampling method, 93 trees were selected from different diameter classes in spring of 2021 and after cutting and removing the sections, an excavator was used to remove the stumps and roots of the trees from the soil. To estimate the amount of biomass and carbon storage of tree roots and stumps, samples of these organs were fallen down and weighed, and after drying in the oven, the dry weight of the samples was measured. After burning an enough amount of dried samples in electric kiln, the weight of organic matter and carbon of the stump and root samples were obtained.

Findings: Results showed that mean of stump and root biomass were 7.99 and 65.5, and mean of stump and root carbon sequestration were 3.92 and 32.32 kg/tree, respectively. The results showed that the obtained models for estimating biomass and carbon storage of stumps and roots using three variables of stump diameter, DBH and volume of trees have a high coefficient of determination, but the model obtained using stump height did not provide an acceptable coefficient of determination. The results showed that the amount of carbon storage in the stumps and roots were 1.568 and 12.928 tons/hectare, respectively.

Discussion and Conclusion: The results showed that knowledge of biomass and carbon storage of poplar trees is very important in valuation and management programs for the development of wood farming and the use of these organs to provide part of the needs of the wood industry.

Keywords: Carbon storage, biomass, wood farming, plantation.

1- PhD Student in Forestry Faculty of Natural Resources, Islamic Azad University, Lahijan Branch, Iran.
2-Assistant Professor, , Department of Forest Science and Engineering,Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran. *(*CorrespondingAuthor*)
3- Professor, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh sara, Iran.
4- Associte professor , Department of Forest Science and Engineering, Forest Management ,Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran

مقدمه

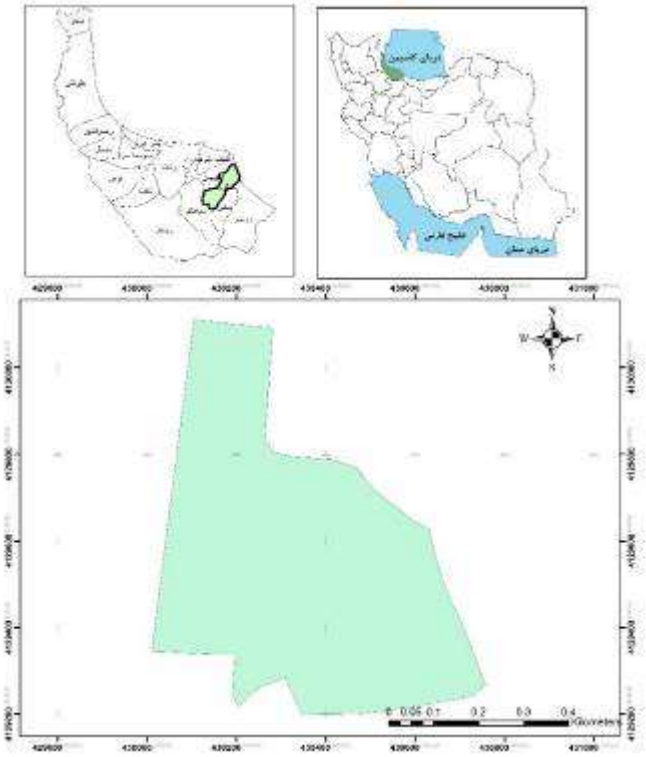
یکی از مهمترین موضوعات سال‌های اخیر، گرمایش جهانی در اثر افزایش گازهای گلخانه‌ای است. با توجه به نقش بسزای دی اکسید کربن در این مساله، این گاز مهمترین گاز گلخانه‌ای محسوب می‌شود (۱). افزایش کربن در زیتوده درختان می‌تواند تا حد قابل توجهی غلظت دی اکسید کربن در اتمسفر را کاهش داده و صرف نظر از کاهش گاز مذکور باعث افزایش تولید جنگل شده و دستاوردهای زیست محیطی دیگری نیز ارائه می-دهد (۲). علاوه بر این، زیتوده درختی شاخص بسیار مهمی برای ارزیابی ساختار جنگل و ارزش‌گذاری فرآیندهای اقتصادی و اکولوژیک مانند چرخه عناصر غذایی، تولید جنگل و ذخیره سوختی محسوب می‌شود (۳). مطالعه زیتوده در اکوسیستم‌های جنگلی به این دلیل اهمیت دارد که مقدار زیتوده نشان دهنده توان تولید در واحد سطح یا زمان و به عبارتی دیگر بیانگر مقدار ذخایر کربن موجود در جنگل است و هم بر چرخه‌های بیوژئوشیمیایی در جنگل تأثیر می‌گذارد (۴). در اثر جنگلکاری، احیا و رشد جنگل، سالیانه یک گیگا تن کربن اندوخته می‌شود (۵). از این‌رو افزایش سرانه جنگل از راه جنگل‌کاری با گونه‌های مختلف درختی که امروزه در دستور کار بسیاری از کشورهای جهان قرار گرفته است، علاوه بر ایجاد فضای سبز با کارکردهای متنوع سبب اندوخته کربن و کنترل دمای کره زمین می‌شود (۶). با توجه به روند کاهش روزانه سطح جنگل‌های طبیعی کشور و افزایش سالانه نیاز به چوب، باید برای تأمین این نیاز، به جنگلکاری با گونه‌های تندرشدی چون صنوبر پرداخت تا در کنار تأمین چوب و جلوگیری از خروج ارز، از تخریب جنگل‌های طبیعی کشور پیشگیری شود. بیشتر مطالعات انجام شده در ارتباط با برآورد میزان زی‌توده و اندوخته کربن در اندام‌های برگ و تنه درختان بوده است و تاکنون مطالعه زیادی در ارتباط با اندام‌های ریشه و کنده درختان که وظیفه جذب مواد غذایی از خاک و نگهداری درخت در زمین را دارا می‌باشند، انجام نشده است.

میناکشی و همکاران (۲۰۱۰) با بررسی میزان ذخیره کربن سه گونه درختی صنوبر دلتوئیدس، اکالیپتوس (*Eucalyptus tereticornis*) و ساج (*Tectona grandis*) نشان دادند که مقدار ذخیره کربن به ترتیب ۷۶۵، ۸۳۴ و ۱۰۵۱ کیلوگرم در هکتار است (۷). فورتیر و همکاران (۲۰۱۳) با بررسی گونه صنوبر هیبریدی *Populus x* spp. در چهار رویشگاه مختلف کشور کانادا بیان کردند که میزان زیتوده زیرزمینی (ریشه) این گونه بین ۱۱ تا ۲۹/۶ تن در هکتار متغیر می‌باشد (۸). در پژوهشی دیگر در کشور اسپانیا، اولیویرا و همکاران (۲۰۱۸) با بررسی نهال‌های (چهار ساله) دو ژنوتیپ مختلف صنوبر شامل AF2 (*Populus* × *canadensis* Monch) و Monviso (*P.* × *generosa Henry* × *P. nigra L.*) نشان دادند که میزان زیتوده روزمینی در نهال‌های AF2 و Monviso به ترتیب ۲۴۴۱/۲ و ۱۹۱۱/۵ گرم در سال و میزان زیتوده زیرزمینی به ترتیب ۳۶۰/۲ و ۳۳۰/۵ گرم در سال می‌باشد (۹). جهانپور و همکاران (۲۰۱۹) مقدار ترسیب کربن در زیتوده هوایی برخی ارقام جنگلکاری شده صنوبر در دو گروه کلن تاج باز و تاج بسته را مورد بررسی قرار دادند که نتایج نشان داد در گروه تاج بسته رقم *P. nigra* 42.5.3 و در گروه تاج باز کلن *P. X. pacher* به ترتیب با مقدار ۲۴۶۰/۸ و ۱۹۸۷/۹ کیلوگرم در هکتار است (۱۰). با توجه به عدم بهره برداری از جنگل‌های طبیعی کوهستانی و کمبود چوب در صنعت و همچنین افزایش قیمت چوب، ضرورت قسمت زیرزمینی (ریشه) گزینه مناسبی برای رفع این مشکل می‌باشد. از طرفی دیگر با توجه به بررسی‌های انجام گرفته و جایگاه مهم درختان در ذخیره کربن اتمسفری و همچنین با توجه به اهمیت صنوبرکاری در کارکردهای مختلفی از قبیل تولید چوب، ترسیب کربن و ... این پژوهش با هدف برآورد میزان زیتوده و اندوخته کربن اندام‌های روزمینی (کنده) و زیرزمینی (ریشه) درختان صنوبر دلتوئیدس انجام گرفت که در مطالعات کمتر مورد توجه قرار گرفته است در حالی که این اندام‌ها با توجه به گسترش زراعت چوب در کشور می‌توانند بخشی از نیاز صنایع چوب را برطرف نمایند.

روش بررسی

منطقه مورد مطالعه

عرصه مورد نظر با مساحت ۳۸/۹۶ هکتار در بخش چاف و چمخاله شهرستان لنگرود در استان گیلان واقع شده است. از نظر مختصات جغرافیایی در طول "۱۲'۳۶ °۵۰ تا "۰۷ '۱۳ °۵۰ شرقی و در عرض "۲۹ '۱۸ °۳۷ تا "۵۵ '۱۸ °۳۷ شمالی واقع شده است (شکل ۱). در اواسط دهه ۱۳۶۰ با استفاده از گونه صنوبر دلتوئیدس و در مساحت کمتری با گونه زربین و سرو نقره‌ای فاصله با فاصله کاشت ۵×۵ متر جنگلکاری شده بود به طوری که تعداد در هکتار درختان ۴۰۰ اصله به‌دست آمد. از گونه‌های درختچه‌ای و علفی موجود در عرصه می‌توان به گونه-های ازگیل، ولیک، آلوچه، تمشک، آقطی، جگن و گرامینه‌ها اشاره کرد. از آنجایی که عرصه مورد نظر نزدیک به اراضی ساحلی می‌باشد، بافت خاک در قسمت سطحی از نوع شنی و لوم بوده و در قسمت عمیق‌تر از نوع شنی و ماسه‌ای می‌باشد. ارتفاع از سطح دریا عرصه مورد مطالعه ۲۲- متر است. میانگین دمای سالانه ۱۶/۸ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالانه ۱۳۰۳/۹ میلی‌متر می‌باشد. براساس طبقه‌بندی آمبرژه، اقلیم منطقه دارای آب‌و هوای گرم و معتدل است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

Figure 1. Location of study area

روش پژوهش

با استفاده از روش نمونه‌برداری انتخابی، تعداد ۹۳ اصله درخت صنوبر در طبقات قطری مختلف در بهار ۱۴۰۰ انتخاب شد. پس از اندازه‌گیری قطر برابر سینه و محاسبه حجم درختان با استفاده از جدول حجم یک عامله، درختان قطع شدند. سپس قطر و ارتفاع کنده نیز مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. از دستگاه بیل مکانیکی به منظور خارج کردن کنده‌ها از زمین و از دستگاه اره موتوری جهت جدا کردن اندام ریشه از کنده درختان استفاده شد. حداقل قطر ریشه که تحت عنوان اندام ریشه مورد اندازه‌گیری قرار گرفت، دو سانتی‌متر بود. پس از جدا کردن اندام‌های ریشه و کنده درختان صنوبر، هر کدام از این اندام‌ها توزین شد.

به منظور اندازه‌گیری میزان زیتوده ریشه و کنده درختان صنوبر، ابتدا نمونه‌های ۳ تا ۵ گرمی از اندام‌های کنده و ریشه درختان جدا و سپس با استفاده از ترازو دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ توزین شدند. در مرحله بعد، نمونه‌های جدا شده به مدت ۴۸ ساعت در داخل دستگاه آون با درجه حرارت ۸۰ درجه سانتی-گراد قرار داده شد و پس از خارج کردن، نمونه‌های خشک شده بلافاصله توزین شدند (۱۱). در مجموع، میزان زیتوده (وزن خشک کل) با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد:

$$WD_c = \frac{WF_c \times WD_s}{WF_s} \quad (۱)$$

که 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 می‌باشد.

به منظور اندازه‌گیری میزان ذخیره کربن ریشه و کنده درختان صنوبر از روش احتراق استفاده شد (۱۱). بدین ترتیب که نمونه‌های خشک شده اندام‌های ریشه و کنده در داخل کوره الکتریکی و در دمای ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. بعد از سه ساعت از فرآیند سوختن، نمونه‌ها خارج شده و پس از خنک شدن در دستگاه دسیکاتور توزین شدند. در این روش کاهش وزن ناشی از سوختن، مقدار ماده آلی را نشان می‌دهد که ۵۰ درصد آن به عنوان کربن آلی در نظر گرفته شد (۱۱، ۱۲). با استفاده از این رابطه و با استفاده از وزن خشک نمونه‌ها، میزان کل اندوخته کربن موجود در ریشه و کنده درختان صنوبر محاسبه شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

از آزمون آزمون کولموگروف-اسمیرنوف به منظور بررسی نرمال بودن داده‌ها و از آزمون لون جهت بررسی همگنی داده‌ها استفاده شد. از آزمون همبستگی پیرسون به منظور بررسی رابطه بین متغیرهای مستقل و وابسته استفاده شد که در این پژوهش متغیرهای مستقل قطر کنده، قطر برابرسینه، ارتفاع کنده و حجم درخت و متغیرهای وابسته زیتوده ریشه، زیتوده کنده، ذخیره کربن ریشه و ذخیره کربن کنده بودند. به منظور بررسی روابط آلومتریک بین متغیرهای قطر کنده، ارتفاع کنده، قطر برابرسینه و حجم درختان با زیتوده و ذخیره کربن اندام-های ریشه و کنده درختان از رابطه رگرسیونی توانی (رابطه ۲) استفاده شد که متداول‌ترین فرم معادله مورد استفاده تک متغیره است (۱۳):

$$Y = a \times X^b \quad (۲)$$

که در این مدل‌ها Y: متغیر وابسته، X: متغیر مستقل، a و b: ضرایب معادله رگرسیون می‌باشد.

یافته‌ها

نتایج نشان داد که میانگین مشخصه‌های قطر کنده، ارتفاع کنده، قطر برابرسینه به‌ترتیب ۳۴/۲۵، ۱۶/۷۶ و ۳۲/۳۰ سانتی-متر و میانگین حجم ۰/۸۷ مترمکعب به ازای هر اصله درخت به‌دست آمد. میانگین مشخصه‌های زیتوده ریشه، زیتوده کنده، ذخیره کربن ریشه و ذخیره کربن کنده نیز به‌ترتیب ۶۵/۵۰، ۷/۹۹، ۳۲/۳۲ و ۳/۹۲ کیلوگرم به ازای هر اصله درخت به‌دست آمد (جدول ۱).

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

Table 1. Descriptive statistics of measured variables

مشخصه	میانگین	انحراف معیار	درصد ضریب تغییرات
قطر کنده (cm)	۳۴/۲۵	۱۰/۵۳	۳۰/۷۴
ارتفاع کنده (cm)	۱۶/۷۶	۳/۱۷	۱۸/۹۱
قطر برابرسینه (cm)	۳۲/۳۰	۱۰/۴۸	۳۲/۴۴
حجم درخت (m^3)	۰/۸۷	۰/۶۲	۷۱/۲۶

زیتوده ریشه (kg)	۶۵/۵۰	۴۸/۹۳	۷۴/۷۰
زیتوده کنده (kg)	۷/۹۹	۴/۰۸	۵۱/۰۶
ذخیره کربن ریشه (kg)	۳۲/۳۲	۲۴/۱۴	۷۴/۶۹
ذخیره کربن کنده (kg)	۳/۹۲	۲/۰۰	۵۱/۰۲

بررسی همبستگی بین متغیرهای وابسته و مستقل نشان داد که به استثنای رابطه بین قطر کنده با زیتوده و ذخیره کربن ریشه، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین سایر متغیرهای وابسته با متغیرهای مستقل قطر کنده، ارتفاع کنده، قطر برابرسینه و حجم درختان صنوبر وجود دارد (جدول ۲).

جدول ۲- همبستگی بین متغیرهای وابسته با متغیرهای مستقل درختان صنوبر دلتوئیدس

Table 2. Correlation between of dependent variable wit independent variables of *Populus deltoides*

متغیر مستقل	متغیرهای وابسته			
	زیتوده ریشه	زیتوده کنده	اندوخته کربن ریشه	اندوخته کربن کنده
قطر کنده	۰/۸۳۷*	۰/۶۹۱*	۰/۸۳۷*	۰/۶۹۱*
ارتفاع کنده	۰/۰۱۱ns	۰/۳۵۴*	۰/۰۱۱ns	۰/۳۵۴*
قطر برابرسینه	۰/۸۳۸*	۰/۶۹۲*	۰/۸۳۸*	۰/۶۹۲*
حجم درخت	۰/۸۴۶*	۰/۶۸۶*	۰/۸۴۶*	۰/۶۸۶*

* و ns به ترتیب همبستگی و عدم همبستگی معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵

نتایج معادلات آلومتریک برای متغیر زیتوده ریشه براساس سه متغیر قطر کنده، قطر برابرسینه و حجم درخت نشان داد که مدل‌های به دست آمده از ضریب تبیین بالایی برخوردار هستند (جدول ۳).

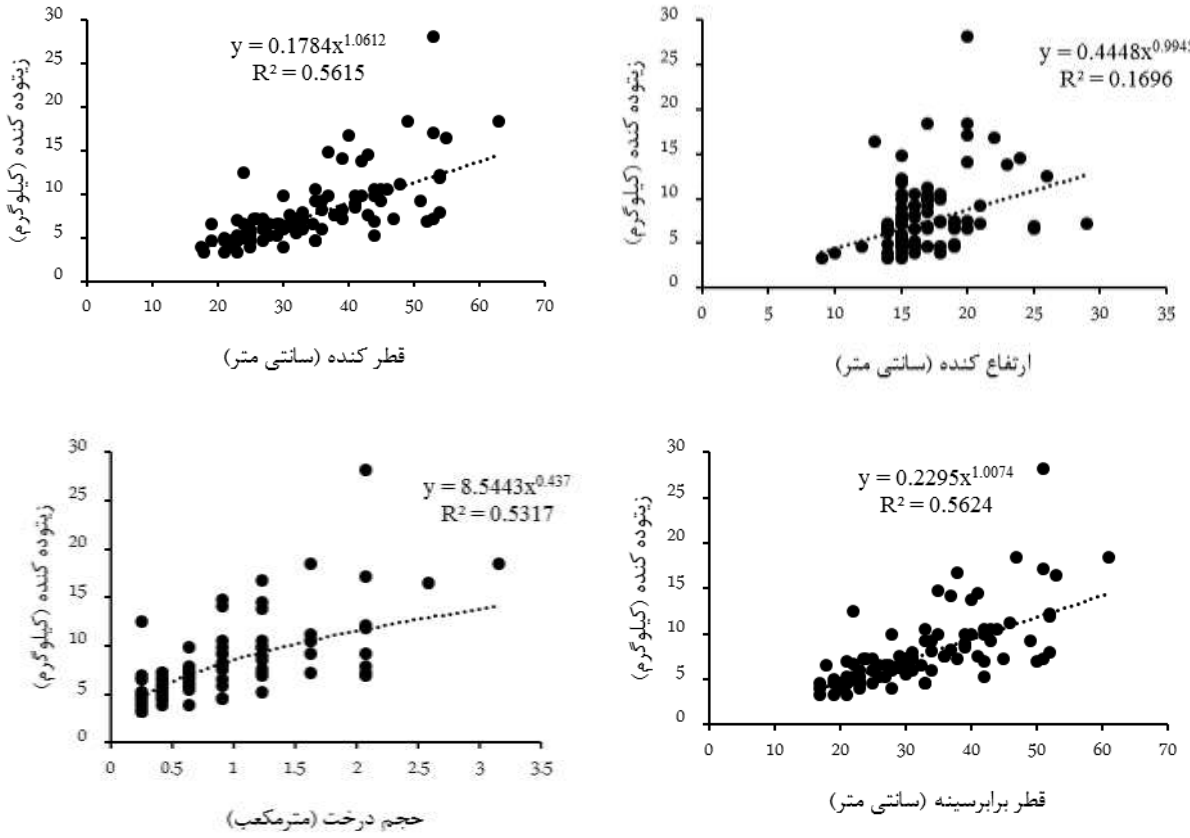
جدول ۳- نتایج معادلات آلومتریک برای متغیر زیتوده ریشه درختان صنوبر دلتوئیدس

Table 3. Results of allometric equations for root biomass of *Populus deltoides*

متغیر وابسته	متغیر مستقل	مدل رگرسیون	ضریب تبیین (R^2)
زیتوده ریشه	قطر کنده	$Y = ۰/۰۴۲\times D^{۲/۰۴۱}$	۰/۸۰۴
	قطر برابرسینه	$Y = ۰/۰۶۸\times D^{۱/۹۳۷}$	۰/۸۰۵
	حجم درخت	$Y = ۷۱/۱۲۹\times V^{۰/۸۴۹}$	۰/۷۷۶

Y: زیتوده (کیلوگرم)، D: قطر کنده و قطر برابرسینه (سانتی‌متر)، V: حجم درخت (مترمکعب)

نتایج معادلات آلومتریک برای متغیر زیتوده کنده براساس چهار متغیر قطر کنده، ارتفاع کنده، قطر برابرسینه و حجم درختان صنوبر دلتوئیدس در شکل ۲ ارائه شده است. با توجه به نتایج، مدل‌های به دست آمده براساس متغیرهای قطر کنده، قطر برابرسینه و حجم درخت از ضریب تبیین قابل قبولی برخوردار هستند.



شکل ۲- نتایج معادلات آلومتریک برای متغیر زیتوده کنده درختان صنوبر دلتوئیدس

Figure 2. Results of allometric equations for stump biomass of *Populus deltoides*

نتایج معادلات آلومتریک برای متغیر ذخیره کربن ریشه درختان صنوبر دلتوئیدس در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج نشان از کارایی مدل‌های به دست آمده در برآورد ذخیره کربن ریشه درختان صنوبر دلتوئیدس داد.

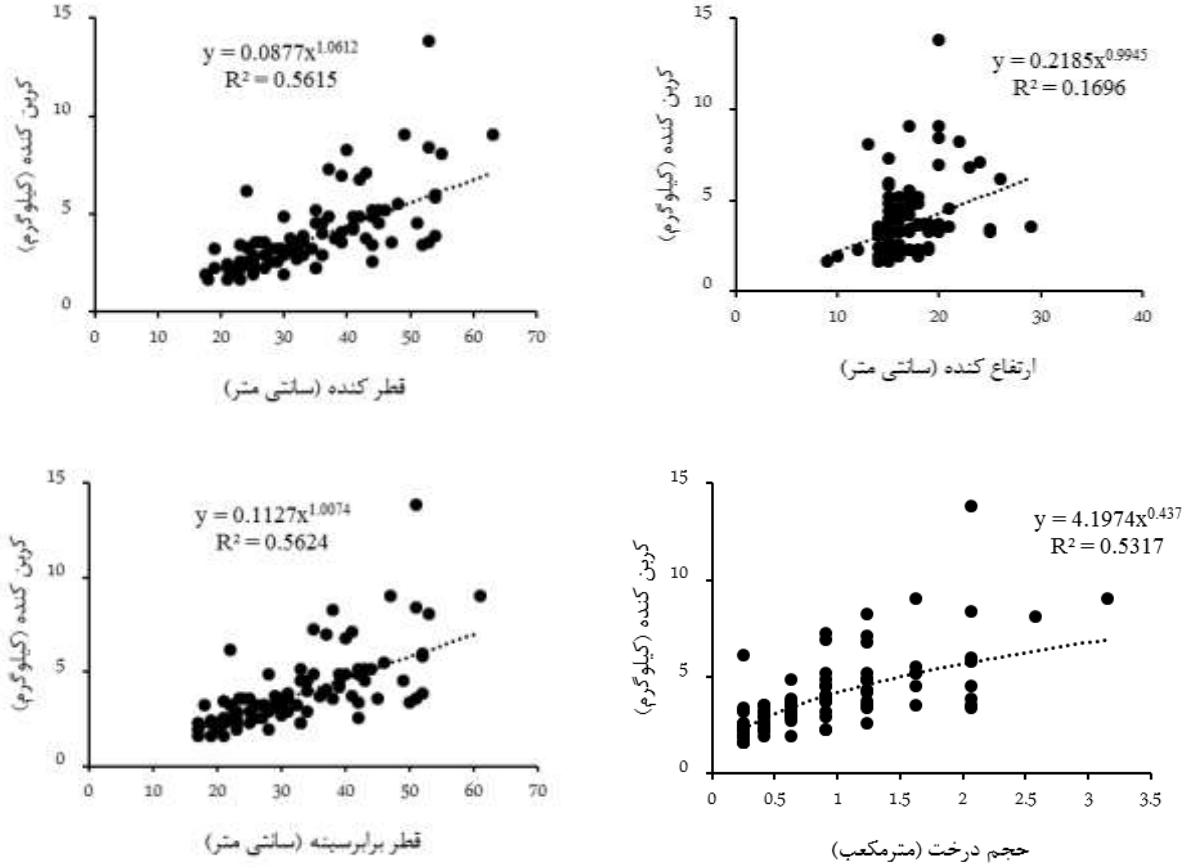
جدول ۴- نتایج معادلات آلومتریک برای متغیر ذخیره کربن ریشه درختان صنوبر دلتوئیدس

Table 4. Results of allometric equations for root carbon sequestration of *Populus deltoides*

متغیر وابسته	متغیر مستقل	مدل رگرسیون	ضریب تبیین (R^2)
ذخیره کربن ریشه	قطر کنده	$Y = ۰/۰۲۱\times D^{۲/۰۴۱}$	۰/۸۰۴
	قطر برابرسینه	$Y = ۰/۰۳۳\times D^{۱/۹۳۷}$	۰/۸۰۵
	حجم درخت	$Y = ۳۵/۰۹\times V^{۰/۸۴۹}$	۰/۷۷۶

Y: زیتوده (کیلوگرم)، D: قطر کنده و قطر برابرسینه (سانتی‌متر)، V: حجم درخت (مترمکعب)

نتایج معادلات آلومتریک برای متغیر ذخیره کربن کنده نشان داد که مدل‌های به‌دست آمده براساس متغیرهای قطر کنده، قطر برابرسینه و حجم درخت از ضریب تبیین قابل قبولی برخوردار بوده در حالی که مدل به‌دست آمده براساس متغیر ارتفاع کنده ضریب تبیین پایینی داشت (شکل ۳).



شکل ۳- نتایج معادلات آلومتریک برای متغیر ذخیره کربن کنده درختان صنوبر دلتوئیدس

Figure 3. Results of allometric equations for stump carbon sequestration of *Populus deltoides*

بحث و نتیجه‌گیری

از آنجا که درختان، ذخیرگاه بزرگ کربن در زمینه کاهش انتشار کربن اتمسفری به شمار می‌روند، نحوه محاسبه موجودی ذخایر کربن آن‌ها از مهم‌ترین موضوع‌های پژوهشی محققان اکولوژی است. در بیشتر مطالعات انجام‌شده در ایران میزان زیتوده اندام‌های هوایی به‌عنوان جایگزینی برای میزان ذخیره کربن در نظر گرفته‌شده است و مطالعات معدودی در ارتباط با میزان زیتوده و ذخیره کربن اندام‌های زیرزمینی انجام شده است که در این پژوهش با استفاده از میزان زیتوده اندام‌های زیرزمینی به برآورد میزان ذخیره کربن اندام‌های زیرزمینی پرداخته شده است. نتایج نشان داد که میانگین زیتوده و ذخیره کربن ریشه درختان صنوبر به ترتیب ۶۵/۵ و ۳۲/۳۲ کیلوگرم به ازای هر اصله درخت به دست آمد، در حالی که میانگین زیتوده و ذخیره کربن کنده درختان صنوبر به ترتیب ۷/۹۹ و ۳/۹۲ کیلوگرم به ازای هر اصله درخت برآورد شد. از دلایل زیاد بودن زیتوده و ذخیره کربن اندام ریشه نسبت به اندام کنده می‌توان به ارتفاع کم کنده (۱۶/۷۶ سانتی‌متر) و همچنین قطر ریشه درختان (دو سانتی‌متر) اشاره کرد که با نتایج پژوهش جانسون و هیلم (۲۰۱۲) همخوانی ندارد (۱۴). در پژوهش جانسون و هیلم (۲۰۱۲) که بر روی دو گونه صنوبر هیبریدی انجام شد، ارتفاع کنده درختان ۵۰ سانتی‌متر و حداقل قطر ریشه پنج سانتی‌متر و تعداد نمونه‌ها نیز ۷۲ نمونه مورد بررسی قرار گرفته بود، در حالی که در پژوهش حاضر ارتفاع کنده به مراتب کمتر از پژوهش جانسون و هیلم (۲۰۱۲) بود و قطر ریشه نیز دو سانتیمتر در نظر گرفته شده بود و همین عوامل سبب تفاوت در میزان زیتوده ریشه و کنده درختان شده است. در پژوهشی دیگر، نیاما و همکاران (۲۰۱۰) میزان زیتوده

روزمینی و زیرزمینی درختان در ذخیره‌گاه جنگلی Pasoh را به ترتیب برابر ۵۳۶ و ۹۵/۹ تن در هکتار برآورد کردند که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی ندارد (۱۵). از دلایل تفاوت نتایج می‌تواند به نوع گونه اشاره کرد که در پژوهش حاضر زیتوده روزمینی و زیرزمینی تنها یک گونه مورد بررسی قرار گرفت در حالی که در پژوهش نیاما و همکاران (۲۰۱۰) میزان زیتوده همه گونه‌ها با هم در نظر گرفته شده بود. همچنین در مورد زیتوده روزمینی باید بیان کرد که در پژوهش حاضر تنها به برآورد زیتوده اندام کنده درخت پرداخته شده بود در حالی که در پژوهش نیاما و همکاران (۲۰۱۰) همه اندام‌های روزمینی درخت در نظر گرفته شده بود. در ارتباط با میزان زیتوده زیرزمینی نیز باید بیان کرد که در پژوهش حاضر قطر ریشه مورد اندازه‌گیری بیشتر از دو سانتی‌متر در نظر گرفته شده بود در حالی که در پژوهش نیاما و همکاران (۲۰۱۰) قطر ریشه بیشتر از پنج میلی‌متر در نظر گرفته شده بود.

بررسی ذخیره کربن در اندام‌های کنده و ریشه درختان صنوبر دلتوئیدس در پژوهش حاضر نشان داد که میانگین ذخیره کربن کنده و ریشه درختان صنوبر دلتوئیدس به ترتیب برابر ۳/۹۲ و ۳۲/۳۲ کیلوگرم به ازای هر اصله به‌دست آمد. ریبیرو و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی ذخیره کربن اندام‌های روزمینی (تنه، پوست درخت، برگ) و زیرزمینی (ریشه) گونه اکالیپتوس در کشور برزیل بیان کردند که میانگین ذخیره کربن اندام‌های روزمینی و زیرزمینی به ترتیب برابر ۱۳۳/۶ و ۳۷/۸۴ کیلوگرم است که با نتایج تحقیق حاضر متفاوت می‌باشد (۱۶). از دلایل تفاوت نتایج می‌توان به نوع گونه بررسی شده و همچنین شرایط رویشگاهی و سیستم ریشه‌ای دو گونه اشاره کرد. ضمن این که در بررسی ریبیرو و همکاران (۲۰۱۵) اندام‌های روزمینی شامل تنه، پوست درخت و برگ درختان بود در حالی که در بررسی حاضر تنها بخش کنده درختان مدنظر قرار گرفته بود. علی رغم متفاوت بودن گونه‌های مورد بررسی باید بیان کرد که ابعاد درختان و همچنین سن درختان از عوامل تأثیرگذار بر میزان زیتوده و ذخیره کربن درختان می‌باشد چرا که با افزایش سن، ابعاد درختان نیز بیشتر شده و در نتیجه بر میزان زیتوده و ذخیره کربن تأثیرگذار خواهد بود. در پژوهشی دیگر که بر روی میزان ذخیره کربن گونه صنوبر *P. euramericana* در کشور فرانسه انجام شد، جیا و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند که میزان ذخیره کربن بین ۶۱ تا ۶۶ کیلوگرم به ازای هر اصله درخت متغیر می‌باشد که همسو با نتایج این پژوهش نیست (۱۷). از دلایل تفاوت نتایج علاوه بر متفاوت بودن گونه‌های بررسی شده می‌توان به قطر ریشه‌های بررسی شده اشاره کرد که در پژوهش جیا و همکاران (۲۰۱۸) قطر ریشه تا دو میلی-متر نیز در محاسبات وارد شد در حالی که در پژوهش حاضر حداقل قطر ریشه دو سانتی‌متر در نظر گرفته شده بود.

روابط آلومتریک به‌دست آمده برای متغیر زیتوده و ذخیره کربن ریشه و کنده درختان صنوبر دلتوئیدس نشان داد که معادلات به‌دست آمده براساس مدل توانی با استفاده از سه متغیر قطر کنده، قطر برابرسینه و حجم درخت از ضریب تبیین قابل قبولی برخوردار هستند در حالی که معادلات به دست آمده براساس متغیر ارتفاع کنده از ضریب تبیین بسیار پایینی برخوردار بود. از دلایل پایین بودن ضریب تبیین می‌توان به دامنه تغییرات متغیر ارتفاع کنده اشاره کرد به طوری که کمترین درصد ضریب تغییرات مربوط به متغیر ارتفاع کنده بود. به طور کلی نتایج مطالعات 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 به دلیل تغییرات زیاد زیتوده شاخ و برگ و وابستگی زیاد آن به شرایط رویشگاه، برآورد میزان زیتوده برگ با دقتی که در برآورد میزان زیتوده تنه اصلی وجود دارد، مشکل است (۱۸). از طرفی دیگر بیان شده است که مدل‌هایی که تنها با یک متغیر پیش‌بینی کننده ارائه می‌شوند از ضریب تبیین بالاتری برخوردار هستند و به همین دلیل در این پژوهش از معادلات تک متغیره استفاده شد که نتایج آن قابل قبول بود. در پژوهش سوچا و ویزیک (۲۰۰۷) از قطر برابرسینه درختان به عنوان متغیر مستقل در محاسبه زیتوده درختان کاج جنگلی استفاده شد که ضریب تبیین بالایی را نشان داد و همسو با نتایج این پژوهش است (۱۹). از آنجا که معادلات آلومتریک وابسته به ویژگی‌های رویشگاه بوده و با توجه به شرایط آب و هوایی

مختلف احتمالاً تغییر می‌کنند، به‌علاوه ویژگی‌های گونه‌های مختلف با هم متفاوت بوده که خود باعث اختصاصی‌تر شدن این معادلات می‌گردد، لازم است تا معادلات بدست آمده برای گونه‌های مختلف، در همان رویشگاه یا خارج از آن رویشگاه برای پایه‌های دیگری از همان گونه به کار گرفته شود تا صحت و دقت آنها در برآورد زیتوده یا محتوی کربن درختان بررسی شود. نتایج به‌دست آمده از مقادیر زیتوده و ذخیره کربن کنده و ریشه درختان صنوبر نشان داد که آگاهی از مقادیر زیتوده و ذخیره کربن درختان صنوبر دلتوئیدس اهمیت زیادی در ارزش‌گذاری و نیز برنامه‌های مدیریتی جهت توسعه زراعت چوب و استفاده از این اندام‌ها جهت تأمین بخشی از نیاز صنایع چوب خواهد داشت.

References

1. Backeus, S., Wikstrom, P. & Lamas, T. 2005. A model for regional analysis of carbon sequestration and timber production. Forest Ecology and Management, 216: 28-40.
2. Upadhyay, T., Sankhayan, P.L. & Solberg, B. 2005. A review of carbon sequestration dynamics in the Himalayan region as a function of land-use change and forest/ soil degradation with special reference to Nepal. Agriculture, Ecosystems and Environment, 105: 449–465.
3. Chambers, J.Q., Santos, J.S., Ribeiro, R.J. & Higuchi, N. 2001. Tree damage, allometric relationships, and above-ground net primary production in central Amazon forest. Forest Ecology and Management, 152(1–3): 73–84.
4. Husch, B., Beers, T.W. & Kershaw, J.A. 2003. Forest mensuration. 4th Edition, John Wiley & Sons Inc., 443 pp.
5. 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. (In Persian)
6. 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. (In Persian)
7. Meenakshi Kaul., G. M., Mohren, J. & Dadhwal, V. K. 2010. Carbon storage and sequestration potential of selected tree species in India. Mitig Adapt Strateg Glob Change, 15: 489–510.
8. 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. Springer PLUS, 2(539): 1-19.
9. 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.
10. 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. (In Persian)
11. Siddiq, Z., Hayyat, 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.

12. 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. (In Persian)
13. Pajtik, J., Konopka, B. & Lukac, M. 2008. Biomass functions and expansion factors in young Norway spruce (Picea abies [L.] Karst) trees. Forest Ecology and Management, 256: 1096-1103.
14. Johansson, T. & Hjelm, B. 2012. Stump and root biomass of poplar stands. *Forests*, 3: 166-178.
15. Niiyama, K., Kajimoto, T., Matsuura, Y., Yamashita, T., Matsuo, N., Yashiro, Y., Ripin, A., Kassim, A.R. & Noor, N.S. 2010. Estimation of root biomass based on excavation of individual root systems in a primary dipterocarp forest in Pasoh Forest Reserve, Peninsular Malaysia. Journal of Tropical Ecology, 26:271–284.
16. 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.
17. 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.
18. Navar, J. 2009. Allometric equations and expansion factors for tropical dry forest trees of eastern Sinaloa, Mexico. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 10: 45-52.
19. Socha, J. & Wezyk, P. 2007. Allometric equations for estimating the foliage biomass of Scots Pine. European Journal of Forest Research, 126: 263-270.