

## برآورد زی توده گونه تبریزی (*Populus nigra*) کشت شده در حوزه آبخیز رودخانه قزل اوزن با روش آلومتریک

### چکیده

صنوبرها و هیبریدهای آن‌ها به دلیل رشد سریع، تکثیر رویشی آسان، قابلیت بالای دستکاری صفات و توزیع گسترده در نیم کره شمالی از نظر اقتصادی و ظرفیت ذخیره سریع زی توده بالارزش هستند. در این تحقیق باهدف برآورد زی توده گونه تبریزی اطراف حوزه آبخیز رودخانه قزل اوزن در خلخال، آماربرداری از پایه‌های تبریزی به صورت خطی انجام شد و مشخصات کمی قطر برابر سینه و ارتفاع تنه درختان در سال ۱۴۰۰ برداشت گردید. برآورد میزان ذخیره زی توده به روش آلومتریک و با استفاده از پایه‌های قطع شده در باغ‌ها، انجام شد. بدین منظور، ۳۳ پایه از باغ‌های اطراف هر رودخانه انتخاب و پس از اندازه‌گیری قطر برابر سینه و ارتفاع تنه، سه دیسک به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر از ابتدا، وسط و انتهای تنه تهیه و با توجه به وزن خشک و حجم دیسک‌های هر پایه و با تعیین حجم تنه پایه، زی توده آن مشخص گردید. نتایج ارزیابی مقاطع مقادیر برآوردی و واقعی داده‌ها نشان داد میزان برآورد زی توده با متغیر مستقل ارتفاع تنه دارای خطای کمتری نسبت به برآورد با متغیر مستقل قطر برابر سینه است. اگرچه مقدار ضریب تعیین ارزیابی مقاطع مقادیر برآوردی و واقعی با قطر برابر سینه بیشتر از ارتفاع تنه را نشان داد ولی با توجه به عدم برآورد مقادیر بیش از ۱۵۰ کیلوگرم زی توده توسط متغیر قطر برابر سینه، این متغیر دارای خطای زیادی بوده و مناسب برای برآورد زی توده در منطقه مورد بررسی نمی‌باشد. نتایج آزمون F نشان داد که متوسط میزان برآورد ذخیره زی توده تنه در رویشگاه‌های مورد مطالعه در دو متغیر مستقل مورد بررسی (قطر برابر سینه و ارتفاع تنه) از اختلاف معنی‌داری برخوردار بوده است و نتایج آزمون دانکن نیز نشان داد که میانگین زی توده تنه در چهار رویشگاه مورد مطالعه در هر متغیر مستقل مورد بررسی (قطر و ارتفاع تنه) در سطح معنی‌داری برابر با ۹۵ درصد در سه گروه مختلف دسته‌بندی شده‌اند.

**واژگان کلیدی:** حوزه آبخیز قزل‌اوزن، خلخال، روابط آلومتریک، زی توده

### مقدمه

تخریب جنگل اغلب منجر به کاهش عملکرد بوم‌سازگان، کالاهای و خدمات برای جوامع محلی و منطقه‌ای شده و گونه‌های سریع‌الرشد یکی از گزینه‌هایی هستند که به زمین کمک می‌کنند تا چرخه کربن خود را حفظ کند. صنوبر به‌عنوان یک گونه و محصول مزایای زیادی برای ترسیب کربن، تهیه مواد اولیه برای تولید کننده چوب صنعتی و پایداری اکوسیستم دارد (Pragasan and Karthick, 2013). رشد درختان به عامل مهمی برای جذب و ذخیره کربن اتمسفر در پوشش گیاهی، خاک و محصولات زیست‌توده عمل می‌کند. اندوخته شدن کربن در زی توده گیاهی ساده‌ترین و به‌لحاظ اقتصادی عملی‌ترین راهکار برای کاهش دی‌اکسیدکربن اتمسفری است. مهم‌ترین تأثیر پوشش گیاهی به‌خصوص درختان تأثیر بر آب و هوا و مقدار دی‌اکسیدکربن آن است. گیاهان سبز به‌وسیله فتوسنتز، کربن را از اتمسفر گرفته و طی مراحل چرخه کربن، اتم کربن و اکسیژن را از هم جدا می‌کنند؛ اکسیژن به هوا باز می‌گردد و از کربن برای ساختن زی توده استفاده می‌کنند (Zabek and Prescott, 2006). درک مقادیر ذخیره زی توده در اکوسیستم‌های خشکی و مکانیزم‌های موثر بر آن اهمیت فوق‌العاده‌ای دارد. سرعت ذخیره زی توده، مقدار و کیفیت ترسیب کربن بستگی به تعامل میان آب و هوا، خاک، گونه‌های درختی، ترکیبات

امین خادمی<sup>\*۱</sup>  
مرتضی معدنی پور کرمانشاهی<sup>۲</sup>  
بهرروز کرد<sup>۳</sup>

۱. گروه مهندسی فضای سبز، واحد ملایر، دانشگاه آزاد اسلامی، ملایر، ایران.
۲. گروه مهندسی محیط زیست، واحد پرنده، دانشگاه آزاد اسلامی، پرنده، ایران.
۳. گروه مهندسی فضای سبز، واحد ملایر، دانشگاه آزاد اسلامی، ملایر، ایران.

\* نویسنده مسئول مکاتبات

aminkhademi28@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۲۲

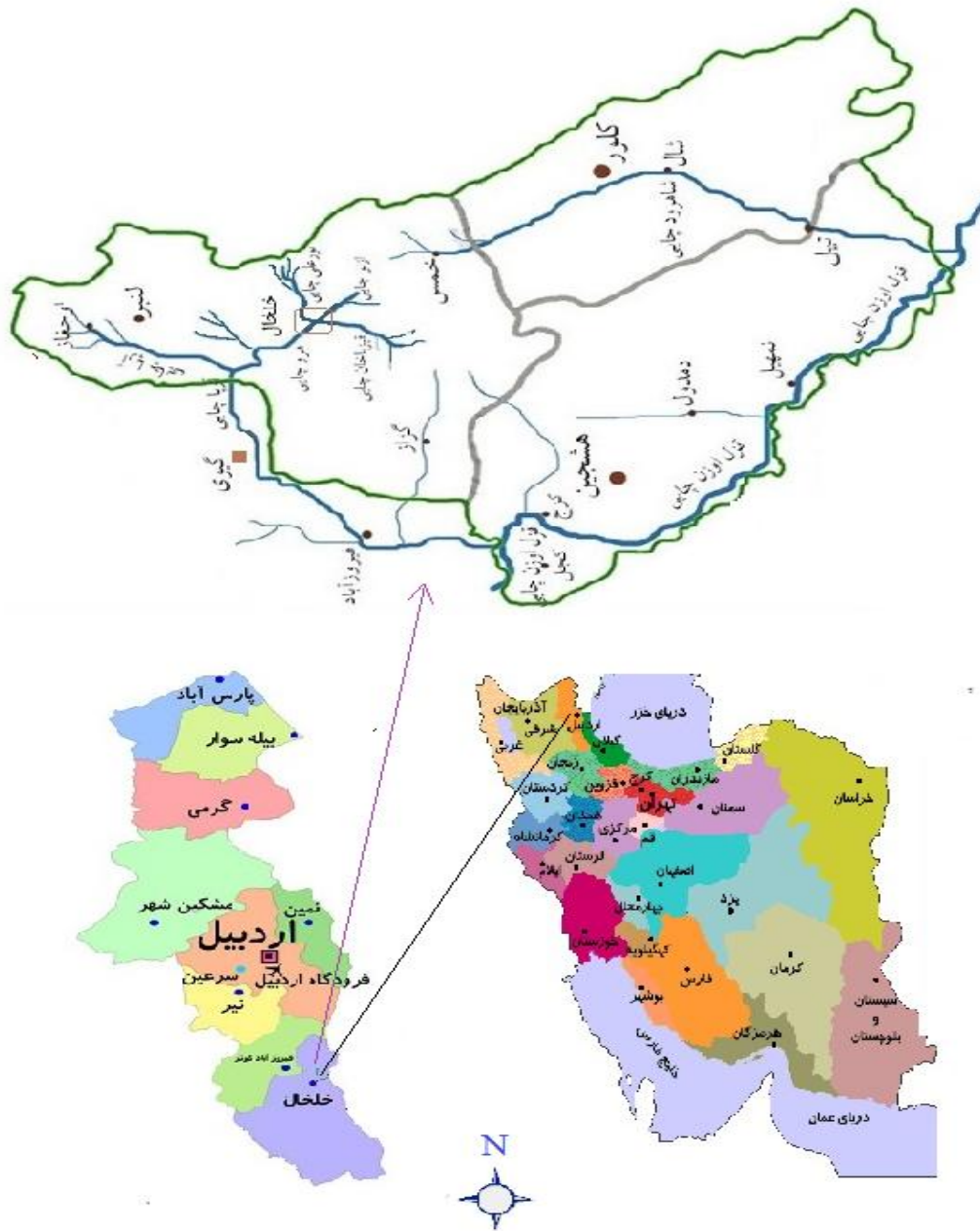
این مقاله برگرفته از پژوهش مستقل می باشد.

شیمیایی لاشبرگ و شیوه مدیریت آن‌ها دارد. صنوبر کاری قابلیت بسیار زیادی برای ذخیره کربن داشته و همچنین یک راهبرد مقرون به صرفه و سازگار با محیط‌زیست برای ترسیب کربن می‌باشد و در صورت استفاده از پوشش گیاهی و کاشت درختان در قالب جنگل کاری می‌توان علاوه بر ایجاد فضای سبز، تولید چوب و مزایای محیط‌زیستی، به هدف ذخیره کربن نیز دست یافت (خادمی و همکاران، ۱۳۹۹). برآورد زی توده برای تشخیص ساختار توده مهم بوده و به عنوان یک شاخص مهم برای ارزیابی رویشگاه از نظر بیواکولوژیکی و اقتصادی در نظر گرفته می‌شود. دقیق‌ترین شیوه برای تخمین زی توده درخت، روشی است که در آن درخت را قطع و آن را به تفکیک اندام‌ها تقسیم، خشک و توزین می‌نمایند (اسلام‌دوست و همکاران، ۱۳۹۴). اما این روش به دلیل دشواری و هزینه زیاد و نیز عدم تطابق آن با ضوابط محیط‌زیستی چندان مطلوب نیست. روش آلومتریکی یکی از روش‌هایی است که معایب روش قطع کامل را ندارد و تخریب کمتری را سبب می‌شود (Wertz et al., 2020). روابط آلومتریکی ابزاری برای برآورد وزن کل درخت و یا اندام‌های درخت از طریق متغیرهای مستقلی مانند قطر برابر سینه و یا ارتفاع است که در توده قابل اندازه‌گیری هستند. روابط آلومتریکی در واقع معادلات رگرسیونی هستند که بطور مستقیم اندازه گیری‌هایی نظیر قطر و گاهی ارتفاع را به زی توده کل درخت تبدیل می‌کنند (Sivabalan et al., 2021).

بررسی‌های متعددی در ایران و سایر کشورها در زمینه روابط آلومتریکی برای برآورد زی توده انجام شده است از جمله نتایج تحقیقات خادمی و همکاران (۱۳۹۹) در جنگل‌های شاخه‌زاد اوری نشان داد که سطح مقطع و قطر برابر سینه با ضریب همبستگی ۰/۶۵ و ۰/۷۷ بیشترین همبستگی را با زی توده اندام‌های هوایی دارند. صنوبر به عنوان گونه‌ای تند رشد از جمله درختانی است که به دلیل دارا بودن صفاتی مانند قدرت تولید جست فراوان، نیاز به مراقبت کم، دامنه اکولوژیکی به نسبت زیاد، امکان دورگه‌گیری و دوره بهره‌برداری کوتاه مدت می‌تواند با کاهش فشار برداشت چوب نقش بسیار مهمی در حفظ و صیانت از عرصه‌های جنگلی کشور ایفا نماید و در عین حال زی توده زیادی در مدت زمانی کوتاه تولید کند. این بررسی باهدف ارائه روابط آلومتریکی برای برآورد زی توده گونه صنوبر اطراف رودخانه‌های هروچایی، نورعلی چایی، قیزباخان چایی و ازنو چایی که از سرشاخه‌های رودخانه قزل اوزن در خلخال هستند، در سال ۱۴۰۰ صورت گرفت.

## مواد و روش‌ها

شهر خلخال در جنوب استان اردبیل قرار دارد، منطقه مورد مطالعه در محدوده ارتفاعی ۱۷۵۰ تا ۱۳۰۰ متر از سطح دریا و در عرض جغرافیایی ۳۱' ۳۷° تا ۳۳' ۳۷° شمالی و طول جغرافیایی ۳۰' ۴۸° تا ۳۵' ۴۸° شرقی واقع شده است (شکل ۱). بر اساس آمارهای هواشناسی ایستگاه سینوپتیک خلخال میزان بارندگی سالیانه در منطقه ۳۸۴/۶ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت سالیانه ۸/۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. پتانسیل تبخیر و تعرق سالانه ۱۲۰۰ میلی‌متر و تعداد روزهای یخبندان ۹۲/۵ روز در سال است. نوع اقلیم منطقه ( $Q_2 = 57/2$ ) نیمه‌مرطوب سرد و ماه‌های خشک از خرداد ماه شروع و تا شهریور ادامه دارد (سازمان هواشناسی کشور، ۱۴۰۰).



شکل ۱- نمایی از منطقه مورد مطالعه (حوزه آبخیز رودخانه قزل اوزن خلخال، سال ۱۴۰۰).

به منظور برآورد زی توده و ترسیب کربن پایه های تبریزی کشت شده در باغ های اطراف رودخانه های هروچایی، نورعلی چایی، قیزباخان چایی و از نوچایی در چهار جهت شمال غربی، شمال شرقی، جنوب غربی و جنوب شرقی شهر خلخال آماربرداری به صورت خطی انجام پذیرفت. باتوجه به اینکه طول مسیر رود از نوچایی و باغ های اطراف آن حدود ۵ کیلومتر بود، نمونه برداری در سه رودخانه دیگر نیز از محل اتصال به هم به طول ۵ کیلومتر صورت پذیرفت و در هر سمت رود در فاصله ۵۰ متری یک پایه مورد اندازه گیری قرار گرفت (۱۰۰ پایه در هر سمت رود و در مجموع ۸۰۰ پایه در چهار مسیر رودخانه) و مشخصات کمی قطر برابر سینه و ارتفاع تنه پایه ها برداشت شد. تعیین میزان ذخیره زی توده و ترسیب کربن به روش آلومتریک صورت گرفت. بدین منظور در مسیر هر رودخانه از بین پایه های قطع شده تعداد

۱۱۲ پایه در چهار طبقه قطری (۱۵، ۲۵، ۳۵ و ۴۵ سانتی متر) به صورت تصادفی انتخاب و پس از اندازه گیری قطر برابر سینه و ارتفاع تنه سه دیسک به ضخامت ۱۰ سانتی متر از ابتدا، وسط و انتهای تنه تهیه گردید (خادمی و همکاران، ۱۳۹۹). قطر هر دیسک و وزن تر دیسکها اندازه گیری شدند و دیسکها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۸۰ درجه سلسیوس در کوره چوب خشک کنی نگهداری شدند تا وزن خشک هر دیسک تعیین گردد و با توجه به وزن خشک و حجم دیسکهای هر پایه و با تعیین حجم تنه هر پایه، زی توده آن مشخص گردید (خادمی و همکاران، ۱۳۹۹; He et al., 2021) (رابطه ۱).

$$B_t = \frac{w_d \times v_t}{v_d} \quad \text{رابطه ۱}$$

$B_t =$  زی توده هر تنه (تن)،  $W_d =$  وزن خشک دیسک (تن)،  $V_t =$  حجم تنه (مترمکعب) و  $V_d =$  حجم دیسک (مترمکعب)

تجزیه و تحلیل دادهها با استفاده از نرم افزار آماری SPSS نسخه ۲۳ انجام شد. به منظور تحلیل آماری ابتدا دادهها از نظر نرمال بودن با استفاده از آزمون کولموگراف اسمیرنوف مورد بررسی قرار گرفتند. ابتدا از ۱۱۲ دیسک تهیه شده تعداد ۸۰ نمونه که شامل ۵ نمونه از هر طبقه قطری در هر مسیر رودخانه بوده اند، به عنوان نمونه های آموزش و ۳۲ نمونه که شامل ۲ نمونه از هر طبقه قطری در هر مسیر رودخانه بوده اند، به عنوان نمونه های تست (احراز علمی) تعیین گردیدند. با توجه به نرمال بودن دادهها، ابتدا رابطه رگرسیونی بین ۸۰ نمونه آموزشی برقرار و معادلات مناسب به آنها برازش گردید. با استفاده از معادله های بدست آمده همبستگی بین میزان ذخیره زی توده تنه با قطر برابر سینه، ارتفاع تنه و قطر برابر سینه و ارتفاع تنه تعیین شدند. با استفاده از مدل رگرسیونی بدست آمده، مقادیر زی توده برای ۳۲ نمونه تست نیز برآورد گردید.

به منظور ارزیابی اعتبار مدل و برآوردها، از روش Cross-validation و پارامترهای آماری MAE، MBE و RMSE استفاده شد. مقدار MBE، انحراف نتایج و MAE، خطای نتایج را نشان می دهند. در شرایطی که پارامترهای مذکور برابر صفر و یا نزدیک به صفر باشد، مؤید آن است که روش یا مدل استفاده شده واقعیت را به خوبی شبیه سازی نموده است. مقادیر منفی و یا مثبت قابل توجه MBE به ترتیب نشان دهنده برآورد بیشتر و کمتر از مقادیر واقعی می باشد. نحوه محاسبه این پارامترها به شرح روابط ۲، ۳ و ۴ می باشد:

$$MBE = \frac{\sum_{x=1}^n [\hat{z}(x) - z(x)]}{n} \quad \text{رابطه ۲:}$$

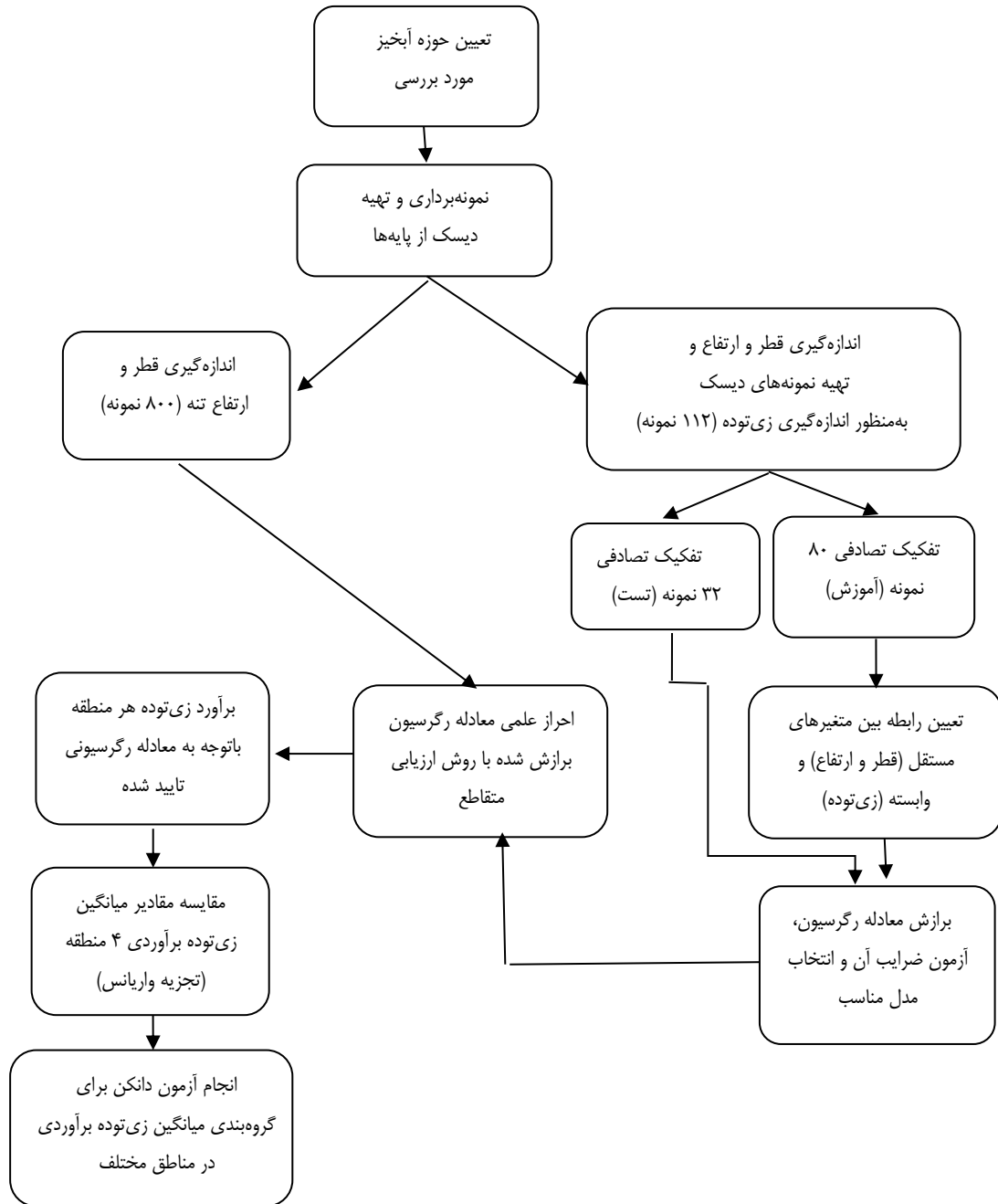
$$MAE = \frac{\sum_{x=1}^n |\hat{z}(x) - z(x)|}{n} \quad \text{رابطه ۳:}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{x=1}^n [\hat{z}(x) - z(x)]^2}{n}} \quad \text{رابطه ۴:}$$

که در آنها:

$\hat{z}(x)$ : مقدار برآورد شده در نقطه  $x$ ،  $Z(x)$ : مقدار اندازه گیری شده در نقطه  $x$ ،  $n$ : تعداد نمونه ها.

باتوجه به مدل احراز علمی شده، مقادیر زی توده باتوجه به مشخصه های اندازه گیری شده برای ۸۰۰ پایه برآورد شدند. به منظور مقایسه میانگین ذخیره زی توده در چهار رودخانه منتهی به حوزه آخیز مورد بررسی از آزمون های تجزیه واریانس و دانکن استفاده شد (شکل ۲).



شکل ۲- مدل مفهومی از فرایند انجام تحقیق.

## نتایج

نتایج بدست آمده از اندازه گیری مشخصه های آماری ۸۰ پایه قطع شده انتخابی (نمونه دیسک) برای برآورد میزان زی توده و تعیین روابط آلومتریک نشان می دهد که میانگین قطر برابر سینه ۲۹/۹ سانتی متر، ارتفاع تنه ۸/۱ متر و میانگین زی توده هر پایه ۸۰/۵ کیلوگرم می باشد. همچنین مشخصه های آماری ۳۲ پایه قطع شده به عنوان نمونه های احراز علمی مدل نشان می دهد که میانگین قطر برابر سینه ۳۱/۳ سانتی متر، ارتفاع تنه ۸/۰ متر و میانگین زی توده هر پایه ۸۴ کیلوگرم می باشد. مشخصه ضریب تغییرات متغیر زی توده در هر دو نمونه آموزش و تست بیش از ۸۰ درصد می باشد (جدول ۱).

جدول ۱- مهم ترین پارمترهای آماری داده های آموزش و تست  
(حوزه آبخیز رودخانه قزل اوزن خلخال، سال ۱۴۰۰).

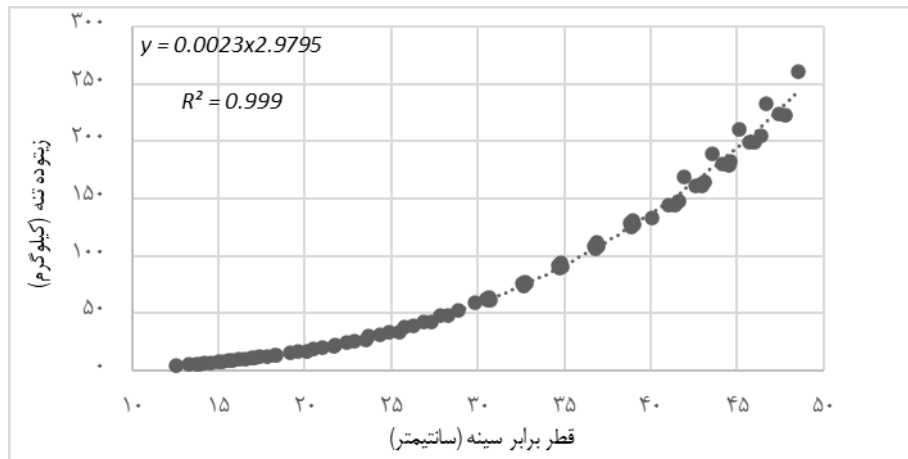
نوع داده	پارامتر	نام متغیر	
		ارتفاع تنه (متر)	زی توده (کیلوگرم)
نمونه دیسک (آموزش)	تعداد	۸۰	۸۰
	میانگین	۲۹/۹	۸۰/۵
	دامنه	۳۵/۹	۲۵۶
	انحراف معیار	۱۰/۹	۷۱/۶
	ضریب تغییرات	۳۶/۷	۸۸/۹
	چولگی	۰/۰۶۰	۰/۷۵
نمونه احراز علمی (تست)	کشدگی	-۱/۳۳	-۰/۶۶۰
	تعداد	۳۲	۳۲
	میانگین	۳۱/۳	۸۳/۹
	دامنه	۳۰/۵	۲۰۴
	انحراف معیار	۱۰/۹	۶۷/۵
	ضریب تغییرات	۳۴/۹	۸۰/۴
	چولگی	۰/۰۵	۰/۷۱
	کشدگی	-۱/۳۱	-۰/۶۵

جدول ۲، نوع معادله، میزان ضریب تعیین و نتایج آزمون ضرایب معادلات برازش شده را نشان می دهد. نوع رابطه قطر برابر سینه با زی توده و ارتفاع تنه با زی توده به صورت خطی با ضریب تعیین ۰/۹۹ می باشد در حالی که رابطه بین دو متغیر مستقل قطر برابر سینه و ارتفاع تنه با متغیر وابسته زی توده به صورت توانی و ضریب تعیین ۰/۹۶ را نشان می دهند. با توجه به معادله های رگرسیونی قطر برابر سینه و ارتفاع تنه رابطه معنی داری با زی توده تنه در سطح اطمینان ۹۵ درصد از خود نشان می دهند، اما معادله قطر و ارتفاع تنه با توجه به سطح معنی داری رابطه معنی داری با زی توده تنه از خود نشان نمی دهد. که بر این اساس در برآورد زی توده تنه در رویشگاه های مورد مطالعه از این رابطه استفاده نگردید (شکل های ۳ و ۴ و جدول ۲).

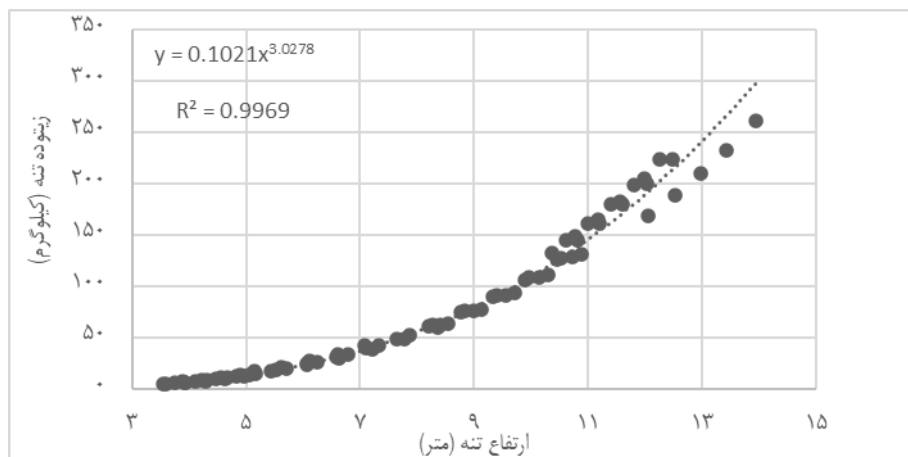
**جدول ۲- معادلات رگرسیونی متغیرها و آزمون ضرایب آن در نمونه‌های بررسی شده در حوضه آبخیز رودخانه قزل اوزن خلخال (سال ۱۴۰۰).**

نوع معادله	متغیر وابسته	متغیر مستقل	معادله	ضریب تعیین	ضریب	مقادیر آماره t	sig
توانی	زی توده	قطر	$B = 0.0023d^{2.9597}$	۰/۹۹	ثابت	۳۱/۹۴	۰/۰۰۰
توانی	زی توده	ارتفاع	$B = 0.1021h^{3.0278}$	۰/۹۹	ثابت	۱۸/۱۷	۰/۰۰۰
خطی	زی توده	قطر و ارتفاع	$B = 3.932d + 8.844h - 108.818$	۰/۹۶	قطر	۲/۱۶۴	۰/۰۳۴
		ارتفاع			ارتفاع	۱/۳	۰/۱۹۸

B = زی توده هر پایه (کیلوگرم)، d = قطر برابر سینه (سانتی‌متر)، h = ارتفاع تنه (متر)

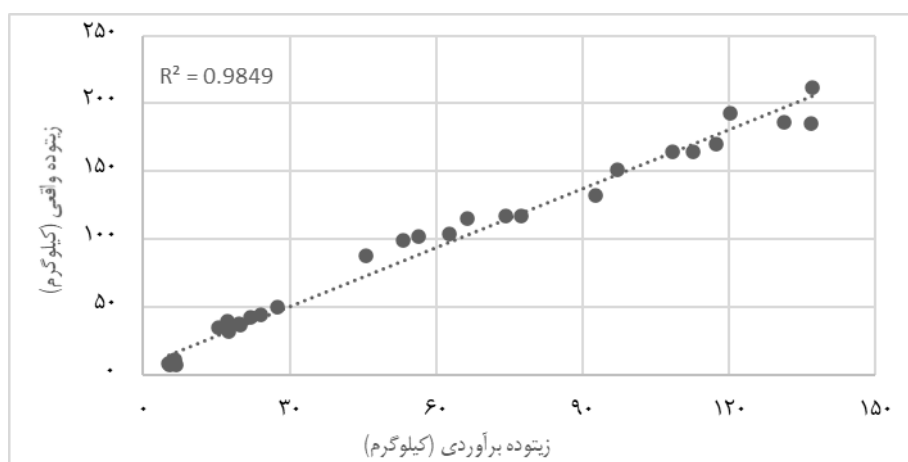


**شکل ۳- رابطه بین قطر برابر سینه و زی توده تنه تبریزی (Populus nigra) در حوضه آبخیز رودخانه قزل اوزن خلخال (سال ۱۴۰۰).**

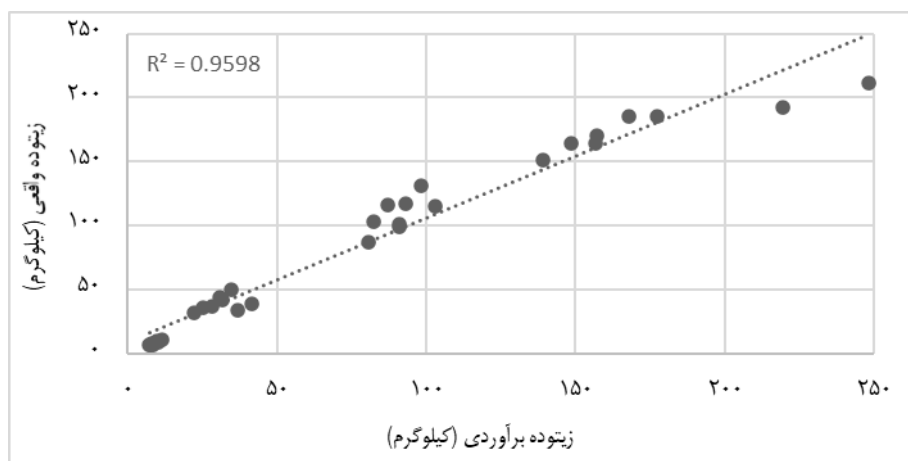


**شکل ۴- رابطه بین ارتفاع زی توده تنه تبریزی (Populus nigra) در حوضه آبخیز رودخانه قزل اوزن خلخال (سال ۱۴۰۰).**

باتوجه به معنی داری معادله های رگرسیونی قطر برابر سینه با زی توده تنه و همچنین ارتفاع تنه با زی توده تنه، مقادیر برآوردی زی توده با استفاده از معادلات بدست آمده برای ۳۲ نمونه تست نیز انجام شد که نتایج ارزیابی متقاطع مقادیر برآوردی و واقعی داده ها در شکل های ۵ و ۶ مشاهده می گردد. مقدار ضریب تعیین مقادیر واقعی و برآوردی با متغیرهای مستقل قطر برابر سینه و ارتفاع تنه به ترتیب ۰/۹۸۴۹ و ۰/۹۵۹۸ را نشان می دهد. حداکثر مقدار برآوردی زی توده با قطر برابر سینه، کمتر از ۱۵۰ کیلوگرم را نشان می دهد. درحالی که حداکثر مقدار واقعی زی توده با متغیر مستقل قطر برابر سینه بیش از ۲۰۰ کیلوگرم را نشان می دهد (شکل ۵). حداکثر مقدار برآوردی زی توده با متغیر مستقل ارتفاع تنه، کمتر از ۲۰۰ کیلوگرم و حداکثر مقدار واقعی زی توده با متغیر ارتفاع تنه نیز بیش از ۲۰۰ کیلوگرم را نشان می دهد (شکل ۶). همانطور که در جدول ۳ مشاهده می شود متغیر ارتفاع تنه با مقادیر ۱/۵۲، ۱/۱۴ و ۰/۷- (به ترتیب برای شاخص های برآوردی خطای (RMSE، MAE و MBE) دارای مقادیر خطای کمتری نسبت به قطر برابر سینه می باشد.



شکل ۵- مقایسه مقادیر واقعی و برآوردی زی توده با قطر برابر سینه تبریزی (*Populus nigra*) در حوزه آبخیز رودخانه قزل اوزن خلخال (سال ۱۴۰۰).



شکل ۶- مقایسه مقادیر واقعی و برآوردی زی توده با ارتفاع تبریزی (*Populus nigra*) در حوزه آبخیز رودخانه قزل اوزن خلخال (سال ۱۴۰۰).

## جدول ۳- ارزیابی متقاطع متغیرهای بررسی شده در حوزه آبخیز رودخانه قزل اوزن خلخال (سال ۱۴۰۰).

نام متغیر مستقل	RMSE	MAE	MBE
قطر برابر سینه	۱۱/۳۴	۹/۲۶	-۹/۲۶
ارتفاع تنه	۱/۵۲	۱/۱۴	-۰/۷۰

باتوجه به نتایج به دست آمده از روابط آلومتریک میانگین ذخیره زی توده تنه بر اساس متغیر مستقل قطر برابر سینه نشان می‌دهد که میانگین زی توده برآوردی برای هر پایه در صنوبر کاری‌های اطراف باغ‌های موجود در رودخانه‌های ازنوچایی، قیزباخان چایی، نورعلی چایی و هروچایی به ترتیب ۴۶/۲، ۵۴/۴، ۶۰/۴ و ۶۷/۵ کیلوگرم می‌باشد و بر اساس متغیر مستقل ارتفاع تنه، میانگین زی توده برآوردی برای هر پایه در صنوبر کاری‌های اطراف باغ‌های موجود در رودخانه‌های ازنوچایی، قیزباخان چایی، نورعلی چایی و هروچایی به ترتیب ۴۷/۷، ۵۶/۳، ۶۴/۷ و ۷۸/۶ کیلوگرم می‌باشد (جدول ۴).

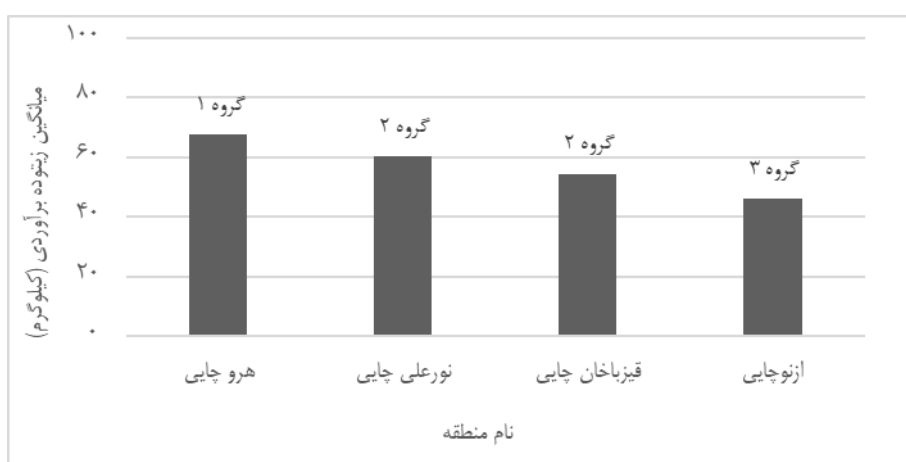
## جدول ۴- مهم‌ترین پارامترهای آماری مقادیر زی توده مناطق بررسی شده در حوزه آبخیز رودخانه قزل اوزن خلخال (سال ۱۴۰۰).

نام متغیرها	منطقه	تعداد	میانگین (کیلوگرم)	انحراف معیار	حدود اطمینان ۹۵٪		حداکثر	حداقل
					حد پایین	حد بالا		
ازنوچایی	۲۰۰	۴۶/۲	۳۵/۵	۳۹/۱	۵۳/۲	۲/۵	۲۲۶/۶	
زی توده قیزباخان چایی	۲۰۰	۵۴/۴	۴۶/۱	۴۶/۶	۶۲/۲	۲/۸	۲۴۷/۶	
برآوردی با نورعلی چایی	۲۰۰	۶۰/۴	۵۸/۹	۵۲/۱	۶۸/۶	۳/۶	۲۴۸/۸	
قطر هرو چایی	۲۰۰	۶۷/۵	۶۳/۰	۵۸/۷	۷۶/۳	۳/۷	۲۴۹/۴	
کل	۸۰۰	۵۷/۱	۴۷/۷	۵۳/۱	۶۱/۱	۲/۵	۲۴۹/۴	
ازنوچایی	۲۰۰	۴۷/۷	۳۶/۱	۳۹/۹	۵۵/۶	۲/۹	۲۶۱/۷	
قیزباخان چایی	۲۰۰	۵۶/۳	۴۸/۰	۴۶/۹	۶۵/۸	۲/۷	۳۷۳/۰	
زی توده نورعلی چایی	۲۰۰	۶۴/۷	۴۸/۷	۵۵/۱	۷۴/۳	۲/۲	۳۰۸/۱	
برآوردی با هرو چایی	۲۰۰	۷۸/۶	۵۸/۱	۶۶/۳	۹۰/۹	۳/۲	۴۴۹/۲	
ارتفاع کل	۸۰۰	۶۱/۸	۷۱/۹	۵۶/۹	۶۶/۸	۲/۲	۴۴۹/۲	

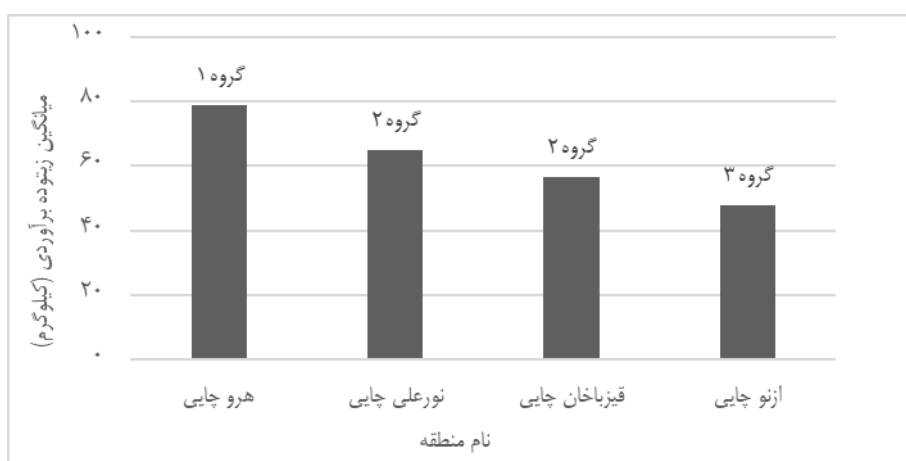
نتایج آزمون تجزیه واریانس نشان می‌دهد که متوسط میزان برآورد ذخیره زی توده تنه در رویشگاه‌های مورد مطالعه در دو متغیر مستقل مورد بررسی (قطر برابر سینه و ارتفاع تنه) از اختلاف معنی‌داری برخوردار هستند (جدل‌های ۵ و ۷). نتایج آزمون دانکن نشان می‌دهد میانگین زی توده تنه در دو رویشگاه قیزباخان چایی و نورعلی چایی در یک گروه و مناطق هروچایی و ازنوچایی در گروه‌های جداگانه قرار گرفته‌اند (در مجموع در سه گروه). هروچایی و ازنو چایی با هر دو متغیر مستقل مورد بررسی به ترتیب دارای بیشترین و کمترین میانگین زی توده می‌باشند (جدول ۵ و شکل‌های ۷ و ۸).

جدول ۵: تجزیه واریانس مقایسه مقادیر میانگین زی توده برآوردی گونه تبریزی (*Populus nigra*) در حوزه آبخیز رودخانه قزل اوزن خلخال (سال ۱۴۰۰).

نام متغیرها	منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	Sig.
قطر- زی توده	بین گروهها	۴۹۲۶۶٫۲	۳	۱۶۴۲۲٫۱	۵٫۰	۰٫۰۰۲
	درو گروهها	۲۶۱۳۷۶۴٫۲	۷۹۶	۳۲۸۳٫۶		
	کل	۲۶۶۳۰۳۰٫۴	۷۹۹			
ارتفاع- زی توده	بین گروهها	۱۰۳۷۱۰٫۶	۳	۳۴۵۷۰٫۲	۶٫۸	۰٫۰۰۱
	درو گروهها	۴۰۳۰۹۶۷٫۴	۷۹۶	۵۰۶۴٫۰		
	کل	۴۱۳۴۶۷۸٫۰	۷۹۹			



شکل ۷- نتایج آزمون دانکن برای مقادیر برآوردی زی توده با متغیر مستقل قطر برابر سینه گونه تبریزی (*Populus nigra*) در حوزه آبخیز رودخانه قزل اوزن خلخال (سال ۱۴۰۰).



شکل ۸- نتایج آزمون دانکن برای مقادیر برآوردی زی توده با متغیر مستقل ارتفاع تنه گونه تبریزی (*Populus nigra*) در حوزه آبخیز رودخانه قزل اوزن خلخال (سال ۱۴۰۰).

## بحث و نتیجه‌گیری

روش مستقیم تعیین زی‌توده درختان شامل، توزین اجزای درخت، حفاری سیستم‌های ریشه و به‌دست آوردن وزن‌های تازه و تجزیه و تحلیل آزمایشگاهی اجزا برای تعیین وزن خشک کوره است. توسعه این روش‌های نمونه‌برداری گامی اساسی به سوی جمع‌آوری موفق و منسجم داده‌های زی‌توده در جنگل‌های دست‌کاشت به‌منظور استخراج روابط آلومتریک برای پیش‌بینی زی‌توده اندام‌های هوایی و زیرزمینی درختان است (Trinh *et al.*, 2021). اندازه‌گیری زی‌توده درختی، یک شاخص بسیار مهم برای ارزش‌گذاری فرایندهای اقتصادی و بوم‌شناختی، جنگل و جنگل‌کاری‌ها محسوب می‌شود. درختان صنوبر در مقایسه با سایر درختان جنگلی در زمان نسبتاً کوتاه به ابعاد مناسب مورد نیاز صنایع مختلف می‌رسند و با توجه به تخریب جنگل‌ها و افزایش نیاز به تامین چوب مورد نیاز صنایع، ناگزیر به‌استفاده از گونه‌های سریع‌الرشد هستیم که صنوبر یکی از بهترین گزینه‌ها است. تنوع گونه‌ای در جنس صنوبر امکان انتخاب بهترین گونه‌ها و رقم‌ها را در هر منطقه فراهم نموده است (Truax *et al.*, 2012). در بسیاری از مناطق شمال غرب و غرب کشور از جمله شهرستان خلخال، گونه‌های مختلف صنوبر از جمله تبریزی به‌عنوان بادشکن در اطراف باغ‌های میوه کشت می‌گردد.

گرمایش جهانی باعث شده که امروزه جوامع سیاسی و علمی به مطالعه موضوع ذخیره کربن جهانی و تعادل کربن در جهان بپردازند که در این میان تخمین دقیق زی‌توده برای ذخیره کربن و بیان روند تعادلی کربن امری بسیار لازم و ضروری می‌باشد. افزایش گرمای جهانی منجر به توجه ویژه‌ای برای استفاده از جنگل‌کاری به‌عنوان روشی برای کاهش غلظت دی‌اکسیدکربن اتمسفری شده است (He *et al.*, 2021). در میان متغیرهای مستقل مدل‌های آلومتریک معمولاً قطر برابر سینه به‌عنوان بارزترین متغیر محسوب می‌شود، چرا که هم همبستگی خیلی زیاد با زی‌توده دارد و هم اندازه‌گیری آن نسبت به دیگر متغیرهای مستقل آسان‌تر است (Bao Huy *et al.*, 2016; Cao *et al.*, 2020 خادمی و همکاران، ۱۳۹۹). نتایج تحقیقات Antonia و همکاران (۲۰۲۳) مشخص کرد که برای برآورد زی‌توده درختان کوچک به روش آلومتریک مدل‌های چند متغیره بهترین ظرفیت پیش‌بینی زی‌توده اندام‌های هوایی را در مقایسه با مدل‌های تک متغیری دارند.

باتوجه به معادله‌های رگرسیونی قطر برابر سینه و ارتفاع تنه رابطه معنی‌داری با زی‌توده تنه در سطح اطمینان ۹۵ درصد از خود نشان می‌دهند و اما معادله قطر و ارتفاع تنه با توجه به سطح معنی‌داری ۹۵ درصد، رابطه معنی‌داری با زی‌توده تنه از خود نشان نداد و بر همین اساس در برآورد زی‌توده تنه در رویشگاه‌های مورد مطالعه از این رابطه استفاده نگردید. نتایج بررسی مدل‌های رگرسیونی یوسفوندمفرد و همکاران (۱۳۹۷) نشان داد که متغیر مستقل قطر برابر سینه، برای زی‌توده خشک کل درخت و تاج، مدل‌ها و روابط بهتری تولید می‌کند، این درحالی است که در زی‌توده خشک تنه، متغیر ارتفاع درخت برآزش بهتری داشت. Yueting و همکاران (۲۰۲۱) عنوان می‌کنند که ارتفاع درختان و زی‌توده بالای زمین، شاخص‌های مهمی برای نظارت بر تغییرات و روند ذخیره‌سازی کربن جنگل هستند و متغیر ارتفاع درخت در بهبود عملکرد برآورد زی‌توده اندام‌های هوایی موثر هست. نتایج بررسی Bin و همکاران (۲۰۲۳) نشان داد که در جنگل‌های ثانویه با سن کمتر از ۲۰ سال، متغیرهای قطر برابر سینه، ارتفاع و تراکم شاخه‌ها مهم‌ترین عامل برای برآورد میزان ذخیره زی‌توده اندام‌های هوایی با استفاده از روش آلومتریک هستند.

نتایج ارزیابی مقاطع مقادیر برآوردی و واقعی داده‌ها نشان داد میزان برآورد زی‌توده با متغیر مستقل ارتفاع تنه دارای خطای کمتری نسبت به برآورد با متغیر مستقل قطر برابر سینه می‌باشد. اگرچه مقدار ضریب تعیین ارزیابی مقاطع مقادیر برآوردی و واقعی با قطر برابر سینه بیشتر از ارتفاع تنه را نشان می‌دهد ولی باتوجه به عدم برآورد مقادیر بیش از ۱۵۰ کیلوگرم زی‌توده توسط متغیر قطر برابر سینه، این متغیر دارای خطای زیادی بوده و مناسب برای برآورده زی‌توده در منطقه موردبررسی نمی‌باشد.

باتوجه به نتایج به‌دست آمده از روابط آلومتریک میانگین ذخیره زی‌توده تنه بر اساس متغیر مستقل قطر برابر سینه نشان داد که میانگین زی‌توده برآوردی برای هر پایه در صنوبر کاری‌های اطراف باغ‌های موجود در رودخانه‌های از نوچایی، قیزباخان چایی، نورعلی چایی و هروچایی به‌ترتیب ۴۶/۲، ۵۴/۴، ۶۰/۴ و ۶۷/۵ کیلوگرم می‌باشد و این اعداد بر اساس متغیر مستقل ارتفاع تنه به‌ترتیب ۴۷/۷، ۵۶/۳، ۶۴/۷ و

۷۸/۶ کیلوگرم می باشد. نتایج آزمون F نشان داد که متوسط میزان برآورد ذخیره زی توده تنه در رویشگاه های مورد مطالعه در دو متغیر مستقل مورد بررسی (قطر برابر سینه و ارتفاع تنه) از اختلاف معنی داری برخوردار است و نتایج آزمون دانکن نشان داد، میانگین زی توده تنه در چهار رویشگاه مورد مطالعه در هر متغیر مستقل مورد بررسی (قطر و ارتفاع تنه) در سه گروه مختلف قرار دارند.

نتایج تحقیقات زیادی از جمله Benbi و همکاران (۲۰۱۲)، Fortier و همکاران (۲۰۱۰) و Sarangle و همکاران (۲۰۱۸) نشان دهنده تأثیر مثبت جنگل کاری و درختکاری در ترسیب کربن اتمسفری می باشند. کاشت درختان سریع الرشد و ایجاد جنگل های ثانویه (واکاری و احیا) به طور خیلی مؤثری در ذخیره زی توده و ترسیب کربن مطرح می باشد. Soares و همکاران (۲۰۱۸) نیز به اهمیت جنگل کاری، واکاری و انتخاب گونه های مناسب در افزایش ذخیره کربن تأکید کرده و متذکر شده اند که درخت کاری زمین های متروکه می تواند ذخیره زی توده و در نتیجه ذخیره کربن را افزایش دهد.

فاصله کاشت و مدیریت متفاوت مزارع و باغ های صنوبر می تواند بر میزان ذخیره زی توده و ترسیب کربن در اندام های مختلف گیاه تاثیر بگذارد. Truax و همکاران (۲۰۱۲) در بررسی ذخیره زی توده در فاصله های مختلف کاشت صنوبر در چین به این نتیجه رسید که بیشترین میزان ذخیره زی توده و ترسیب کربن به ترتیب در تراکم کاشت ۱۱۱۱، ۵۰۰، ۶۲۵ و ۸۳۳ پایه در هکتار اتفاق می افتد. بیشترین میزان ذخیره زی توده به ترتیب در تنه، ریشه، شاخه و برگ بوده و در توده های ۱۰ ساله و تراکم کاشت ۱۱۱۱ پایه در هکتار ۱۴۶ تن در هکتار زی توده ذخیره گردیده که به ترتیب ۵/۳، ۱/۶ و ۲۴/۲ درصد بیشتر از تراکم های ۸۳۳، ۶۲۵ و ۵۰۰ پایه در هکتار بود. Heidari و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی میزان زی توده در فاصله های کاشت صنوبر (*Populus alba L.*) در غرب ایران به این نتیجه رسیدند که بیشترین میزان زی توده در فاصله های کاشت ۰/۵ × ۰/۵ و ۱ × ۱ متر صورت می گیرد. نتایج بررسی پارساپور و همکاران (۱۳۹۲) نشان داد که بیشترین ذخیره زی توده و کربن در اندام های هوایی گونه کبوده به ترتیب مربوط به تنه اصلی، شاخه، سرشاخه، پوست و برگ درختان بود و بیشترین اندوخته زی توده و کربن روی زمینی مربوط به درختان با فاصله کاشت ۰/۵ × ۰/۵ متر می باشد. در منطقه مورد مطالعه برای دستیابی به تنه صاف و بلند، شاخه های جانبی هر ساله هرس می گردد و فاصله کاشت حدود یک متر لحاظ می شود. بنابراین باتوجه به تیمار انجام شده، عمده ذخیره زی توده در قسمت تنه قرار دارد. Yajun و همکاران (۲۰۲۳) در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که ذخیره میزان زی توده و کربن در رویشگاه ها تحت تاثیر سن درختان، موقعیت شیب و عملیات تنک کردن قرار داشته و با بالا رفتن سن به دلیل بیشتر شدن فتوسنتز زی توده افزایش یافته و همچنین عملیات پرورشی تنک کردن باعث بهبود روند رشد درخت و در نتیجه افزایش میزان زی توده خواهد شد. از عوامل مهم در موفقیت جنگل کاری ها و درختکاری، فاصله کاشت است. فاصله کاشت و در نتیجه تراکم مناسب توده، در میزان زی توده، تولید درختان خوش فرم، باکیفیت، دارای تنه راست و کم گره اهمیت ویژه ای دارد. این عامل همچنین با کاهش نرخ مرگ و میر نهال ها در مراحل رویشی بالاتر و افزایش کارایی مراقبت های پرورشی، به ویژه تنک کردن، در استقرار موفق توده و کاهش هزینه تولید بسیار موثر است (فعال خواه و همکاران، ۱۳۹۵).

باتوجه به اینکه طبق تحقیقات مختلف فاصله کاشت و روش های مختلف مدیریتی می تواند بر میزان ذخیره زی توده تاثیر گذار باشد، توصیه می شود قبل از کشت وسیع گونه های صنوبر در یک منطقه از میزان رویش در فواصل کاشت با کشت های آزمایشی آگاهی پیدا کرد تا بیشترین میزان محصول و زی توده حاصل گردد. یافته های تحقیق می تواند به عنوان اطلاعات پایه برای توسعه مدل های پیش بینی برای برآورد زی توده در صنوبر کاری ها و تیمارهای مختلف و مدیریت پایدار سیستم های کاربری زمین در مناطق مشابه مورد استفاده قرار گیرد.

## منابع

- اسلام دوست، ج.، سهرابی، ه.، حسینی، س.م. و مرادی، ز. ۱۳۹۴. ارزیابی روش‌های مختلف تعیین ضریب شکل برای برآورد حجم درختان صنوبر و دارتالاب دست کاشت (منطقه کلوده - استان مازندران). بوم‌شناسی کاربردی، ۱۱۲(۴): صفحات ۶۷-۷۵
- پارساپور، م. ک.، سهرابی، ه.، سلطانی، ع. و ایرانش، ی. ۱۳۹۲. روابط آلومتریکی به‌منظور برآورد زی‌توده چهار گونه صنوبر در استان چهارمحال و بختیاری. فصلنامه علمی - پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۳۱(۳): صفحات ۵۲۸-۵۱۷.
- خادمی، ا.، معدنی پور کرمانشاهی، م. و کرد، ب. ۱۳۹۹. روابط آلومتریکی زی‌توده راش (*Fagus orientalis* L.) در توده‌های بهره‌برداری شده و شاهد جنگل صفارود استان مازندران. بوم‌شناسی جنگل‌های ایران، ۱۶(۳): صفحات ۱۱۴-۱۰۳.
- فعال‌خواه، ا.، کاکرودی، ا.، علیجانپور، ا. و بانج شفیعی، ع. ۱۳۹۵. تاثیر فاصله کاشت بر ویژگی‌های کمی و کیفی درختان صنوبر تبریزی. فصلنامه علمی - پژوهشی پژوهش و توسعه جنگل، ۲(۴): صفحات ۳۳۷-۳۵۱.
- رستمی کیا، ی.، رحمتی، ع. و طبری کوچک سرایی، م. ۱۳۹۶. مشخصه‌های رویشی کلن‌های بومی و غیربومی صنوبر در نهالستان اردبیل. مجله پژوهش‌های گیاهی، ۳۰(۲): صفحات ۱۴-۱.
- یوسفوندمفرد، م.، سوسنی، ج.، اخوان، ر.، ابراری واجاری، ک.، سپهوند، ا. و جهان‌پور، ف. ۱۳۹۷. برآورد زی‌توده چوبی اندام‌های هوایی کلن‌های صنوبر با استفاده از روابط آلومتریکی. نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل، ۲۵(۲): صفحات ۱۰۹-۹۷.
- Antonia, N., Cory, W., John, T., Josephine, E. and Matthew, Low. 2023.** Allometric models for aboveground biomass estimation of small trees and shrubs in African savanna ecosystems. *Trees, Forests and People*, 11: 1-10.
- Bin, L., Wensheng, B. and Runguo, Z. 2023.** Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of younger secondary tropical forests. *Global Ecology and Conservation*, 41: 1-11.
- Bao Huy, K., Poudel, K., Nguyen, D., Phung, V. and Hailemariam, T. 2016.** Allometric Equations for Estimating Tree Aboveground Biomass in Tropical Dipterocarp Forests of Vietnam. *Forests*, 180: 1-19.
- Benbi, D., Brar, K. and Toor, A. 2012.** Soil carbon pools under poplar-based agroforestry, rice-wheat, and maize-wheat cropping systems in semi-arid India. *Nutrient Cycling and Agroecosystem*, 92: 92-107.
- Cao, L., Liu, X., Li, H. and Lei, Y. 2020.** Biomass Growth Models for Evergreen Broad-leaved Forests in Guangdong. *For. Res.*, 33: 61-67.
- Fortier, J., Gagnon, D., Truax, B. and Lambert, F., 2010.** Nutrient accumulation and carbon sequestration in 6-year-old hybrid poplars in multi-clonal agricultural riparian buffer strips. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 137: 276-287.
- He, X., Lei, X. and Dong, L. 2021.** How large is the difference in large-scale forest biomass estimations based on new climate-modified stand biomass models? *Ecol. Indic.*, 126: 107-129.
- Heidari, A., Safari Kouchi, S., Moradian Fard, F., Rostami Shahraji, T. and Iranmanesh, Y. 2017.** Biomass and Carbon Allocation of 10-Year-Old Poplars (*Populus alba* L.) Plantations in the South West of Iran. *Forest Research*, 6(2): 1-6.
- Sarangle, S., Rajasekaran, A., Benbi, D. and Chauhan, S. 2018.** Biomass and carbon stock, carbon sequestration potential under selected land use systems in Punjab. *Forestry Research and Engineering: International Journal*, 2: 75-80.
- Sivabalan, K., Suhaimi, Hassan., Hamdan, Y. and Jagadeesh, Pasupuleti. 2021.** A review of the characteristic of biomass and classification of bioenergy through direct combustion and gasification as an alternative power supply. *Journal of Physics: Conference Series*, 1831: 125-151.
- Soares, J., Oliveira, A., Dieckmann, S., Krüger, D. and Orioli, F. 2018.** Evaluation of the performance of hybrid CSP/ biomass power plants. *Int. J. Low-Carbon Technol*, 13: 380-387.
- Pragasan, L. and Karthick, A. 2013.** Carbon stock sequestered by tree plantations in university campus at Coimbatore, India. *International Journal of Environmental Science*. 3: 1700-1710.
- Trinh, H., David, L., Grahame, A. and Tom, L. 2021.** Field methods for above and belowground biomass estimation in plantation forests. *MethodsX*, 8: 101- 117.
- Truax, B., Gagnon, D., Fortier, J. and Lambert, F. 2012.** Yield in 8-year-old hybrid poplar plantations on abandoned farmland along climatic and soil fertility gradients. *For Ecol Manag*, 267: 228-239.

**Wertz, B., Bembenek, M., Karaszewski, Z., Ochal, W., Skorupski, M. and Strzelinski, P. 2020.** Impact of Stand Density and Tree Social Status on Aboveground Biomass Allocation of Scots Pine *Pinus sylvestris*. *Forests*, 11: 750-765.

**Yajun, Z., Tingxi, L., Okke, B., Limin, D., Yixuan, W., Xia, L. and Mingyang, L. 2023.** spatiotemporal fusion of multi-source remote sensing data for estimating aboveground biomass of grassland. *Ecological Indicators*, 146: 1-12.

**Yueting, W., Zhengqi, G. and Xiaoli, Z. 2021.** Estimation of tree height and aboveground biomass of coniferous forests in North China using stereo ZY-3, multispectral Sentinel-2, and DEM data, *Ecological Indicators*, 126: 547-567.

**Zabek, L. and Prescott, C. 2006.** Biomass equations and carbon content of aboveground leafless biomass of hybrid poplar in coastal British Columbia. *For Ecol Manag*, 223: 291-302.

## Estimating biomass of Poplar species (*Populus nigra*) cultivated in Qezel-Ozan watershed utilizing the allometric method

Amin Khademi<sup>1\*</sup>

Morteza Madanipour-  
Kermanshahi<sup>2</sup>

Behrouz Kord<sup>3</sup>

1. Department of Green Space  
Engineering, M.C., Islamic Azad  
University, Malayer, Iran.

2. Department of Environment  
Engineering, P.C., Islamic Azad  
University, Parand, Iran.

3. Department of Green Space  
Engineering, M.C., Islamic Azad  
University, Malayer, Iran.

\*Corresponding author:

aminkhademi28@yahoo.com

Received date: February/04/2023

Reception date: May/12/2025

### Abstract

Poplars and their hybrids due to their fast growth, easy vegetative propagation, high potential for Change features and wide distribution in the Northern Hemisphere, and rapid biomass storage capacity are economically valuable. With the objective of estimating the biomass of Poplar species around the watershed of the Qezel-Ozan River in Khalkhal, statistical surveying of Poplar stands was done in a transect manner in 2020. The quantitative characteristics of the diameter at the breast and the height of the tree trunks were collected. The amount of biomass storage was estimated by allometric method and using cut trees. 32 trees were selected from the gardens around each river and after measuring the diameter at the breast and the height of the trunk, three discs with a thickness of 10 cm were provided from the beginning, middle, and end of the trunk. According to the dry weight and volume of the discs and trunk of each tree, biomass was determined. The cross-evaluation of the estimated and actual values of the data showed that the amount of biomass estimation with the independent variable of trunk height has less error than the estimation with the breast at diameter independent variable. Although the coefficient of determination value of the cross-evaluation shows the estimated and actual values with the diameter equal to the breast at a diameter more than the height of the trunk, this variable has a large error and is not suitable for the amount of biomass in the investigated area. The results of the F test revealed that the average amount of trunk biomass reserves in the studied habitats have a significant difference in the two independent variables (breast at diameter and trunk height) and the results of Duncan's test demonstrated that the average trunk biomass in the four studied habitats for each independent variable was investigated and categorized into three groups at a significance level of 95%.

**Keywords:** watershed of the Qezel-Ozan River, Khalkhal, allometric relationships, biomass