

## معادلات آلومتریکی برای برآورد زی توده روی زمین درخت پالونیا فورتونئی ( *Paulownia fortunei*) در طرح جنگلداری دکتر بهرام‌نیا

جهانگیر محمدی<sup>۱\*</sup>، علی‌اکبر محمدعلی پورملکشاه<sup>۲</sup>، نیشتمان حاتمی<sup>۲</sup>

۱. استادیار دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان

۲. دانشجوی دکتری علوم جنگل و جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۴/۳۰، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۱۱

### چکیده

این تحقیق با هدف تعیین مناسب‌ترین مدل آلومتریکی برای برآورد زی توده روی زمین پالونیا فورتونئی در طرح جنگلداری دکتر بهرام‌نیا اجرا شد. برای تحقیق ۱۶ پایه درخت پالونیا انتخاب شد. پس از قطع، هر درخت به قسمت‌های مختلف تنه، شاخه، برگ و میوه تقسیم و توزین شد. سپس به منظور تعیین چگالی خشک، از قسمت‌های مختلف تنه، شاخه، برگ و میوه نمونه‌هایی گرفته شد که در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت (برای دیسک‌های تنه و شاخه اصلی) و دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت (برای بخش‌های دیگر) خشک شدند. در مرحله بعد وزن خشک هر بخش از درخت جداگانه محاسبه و زی توده کل درخت از جمع وزن خشک همه اندام‌های هوایی حاصل شد. به منظور تعیین مدل آلومتریکی زی توده کل درختان پالونیا از سه متغیر قطر برابرسینه، ارتفاع و چگالی خشک به صورت جداگانه و ترکیبی استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که از میان مدل‌های مختلف، مدل شماره ۲۱ با استفاده همزمان از دو متغیر قطر برابرسینه و ارتفاع به عنوان متغیر مستقل با ضریب تبیین ۰/۹۴۷ و درصد میانگین مجذور مربعات خطای ۲۶/۰۷ درصد بهترین برازش را نشان داد. با اضافه کردن چگالی خشک به متغیرهای قطر برابرسینه و ارتفاع درختان، نتایج بهبود نیافت. همچنین نتایج نشان داد که از بین سه متغیر قطر برابرسینه، ارتفاع درختان و چگالی خشک، متغیر قطر برابرسینه بیشترین برازش را با زی توده کل درختان پالونیا داشت.

واژه‌های کلیدی: پالونیا، زی توده، طرح جنگلداری دکتر بهرام‌نیا، معادلات آلومتریکی.

### مقدمه

سوخته می‌شوند، کربن ذخیره شده در آنها آزاد می‌شود و به اتمسفر برمی‌گردد. این چرخه طبیعی از کربن توسط تعادل پایدار بین فرایندهای بیولوژیکی و غیرآلی حفظ و کنترل می‌شود. حدود ۸۶ درصد از کربن روی زمین و ۷۳ درصد کربن زیر زمین در جنگل‌ها ذخیره شده است، بنابراین جنگل‌ها ذخیره‌گاه مهمی برای کربن جهانی هستند [۱]. ابعاد جدید مدیریت جنگل، راه‌های ارزیابی مکرر از جوامع برای کاهش یا سازگاری با تغییرات اقلیم و بررسی مجدد تعادل بین تولید چوب و خدمات اکوسیستم است و همه

کربن موجود در اتمسفر زمین با عنوان گاز دی‌اکسید کربن، درصد بسیار کمی از کربن (حدود ۰/۰۴ درصد) را تشکیل می‌دهد. با این حال تأثیر بسیار مهمی در زندگی روی کره زمین دارد. در طول فتوسنتز، گیاهان دی‌اکسید کربن را از اتمسفر جذب و به کربوهیدرات تبدیل و اکسیژن را آزاد می‌کنند و هنگامی که این گیاهان یا درختان می‌میرند یا

\* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۳۶۵۰۵۱۶۲۹

بیشتر شده است. در این زمینه، گونه‌های تندرشد مانند پالونیا به لحاظ نشان دادن توان تولید حجم زیاد چوب در واحد سطح در کمترین زمان ممکن، کانون توجه محققان در بیشتر کشورهای جهان قرار گرفته است. همچنین لزوم حفظ و جلوگیری از نابودی جنگل‌های بومی ایران از یک سو و کمبود چوب مورد نیاز کارخانه‌ها از سوی دیگر، تمایلات را برای کاشت بیشتر گونه‌های تندرشد و قابل استفاده در صنایع بیشتر می‌کند. از تحقیقات انجام گرفته در ایران در این زمینه می‌توان به تحقیقات واحدی و همکاران (۲۰۱۳)، Sohrabi and Shirvani (۲۰۱۲)، Iranmanesh و همکاران (۲۰۱۴)، Eslandoust و همکاران (۲۰۱۴) و دریایی و سهرابی (۲۰۱۵) اشاره کرد [۳، ۵، ۸، ۹، ۱۰]. نتایج تحقیقات مذکور نشان داد که ضریب تبیین حاصل شده بین ۰/۷۲ تا ۰/۹۹۳ متغیر است. در خارج از کشور نیز تحقیقات زیادی برای تعیین معادلات آلومتریک برای برآورد زی توده گونه‌های مختلف از جمله Kenzo و همکاران (۲۰۰۹)، Litton و Boone Kauffman (۲۰۰۸)، Zewdie و همکاران (۲۰۰۹)، Navar (۲۰۰۹)، Djomo و همکاران (۲۰۱۰)، Aguilar و همکاران (۲۰۱۲)، Kuyah و همکاران (۲۰۱۲)، Rutishauser و همکاران (۲۰۱۳)، Fayolle و همکاران (۲۰۱۳)، García-Morote و همکاران (۲۰۱۴)، Mugasha و همکاران (۲۰۱۵)، Stankova و همکاران (۲۰۱۶) و Lupi و همکاران (۲۰۱۶)، Stas و همکاران (۲۰۱۷) و همکاران (۲۰۱۷) انجام گرفته است [۲، ۴، ۶، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱]. نتایج همه تحقیقات نشان داد که میزان ضریب تبیین حاصل شده برای گونه‌های مختلف بین ۰/۶۷ تا ۰/۹۹ متغیر است. نتایج بررسی منابع در مورد تعیین معادلات آلومتریک برای برآورد زی توده نشان داد که نتایج با توجه به منطقه تحقیق و توده‌های جنگلی تحت بررسی متفاوت است. Zuazo و همکاران (۲۰۱۳)، پتانسیل درختان شاخه‌زاد پالونیا (*Paulownia elongate x fortune*) را برای تولید زی توده خشک در مناطق مدیترانه‌ای نیمه خشک جنوب

تصمیم‌گیری‌های مربوط به اقلیم نیازمند برآورد زی توده و ذخیره کربن از گذشته، حال و آینده جنگل، با عنوان سناریوهای مدیریتی مختلف است [۲]. همچنین تغییرات اقلیم در دهه‌های گذشته، نیاز به اطلاعات درباره زی توده جنگل‌ها در نواحی مختلف برای تعریف یک سیاست اقلیمی مناسب را افزایش داده است و این اطلاعات به برآوردهای اطمینان بخش از ذخیره کربن در اکوسیستم‌های جنگلی نیاز دارد. برآورد زی توده اهمیت زیادی در ارزیابی ساختار و عملکردهای اکوسیستم‌های جنگلی دارد [۳] و شاخص بسیار مهمی برای ارزش‌گذاری فرایندهای اقتصادی و بوم‌شناختی مانند چرخه عناصر غذایی، تولید جنگل و ذخیره سوختی است و یک شاخص پایداری اکولوژیکی محسوب می‌شود. به‌طور معمول معادلات آلومتریک زی توده در سطح درخت از نمونه‌برداری تجربی و روش‌های رگرسیون خطی و غیرخطی استفاده می‌کنند و ابزاری مهم برای کمی کردن زی توده و ذخیره کربن در اکوسیستم‌های زمینی هستند [۱] و این معادلات اغلب به هر یک از گونه‌های موجود یا گروهی از گونه‌های موجود مربوط می‌شود و بیشتر تحقیقات به این نتیجه رسیده‌اند که معادلات آلومتریک مربوط به هر تک‌گونه سبب بهبود برآورد زی توده در جنگل می‌شود، زیرا شکل ظاهری و چگالی گونه‌های مختلف با هم تفاوت دارد [۴، ۵]. در نتیجه انتخاب مدل آلومتریک مناسب در کاهش عدم اطمینان‌ها در برآورد زی توده جنگل بسیار مهم است [۶]. امروزه پالونیا به‌عنوان گونه‌ای تندرشد و تولیدکننده کوتاه‌مدت محصولات چوبی، در بسیاری از مناطق جهان بسیار مورد توجه قرار گرفته است. پالونیا گونه بومی کشور چین از ۲۶۰۰ سال پیش به خوبی شناخته شده و به عنوان گونه‌ای با نیاز کم به آب مطرح است [۷]. این گونه کاربردهای فراوانی در صنایع روکش‌سازی، تخته چندلایه و خمیر کاغذ دارد. با افزایش چشمگیر جمعیت، تقاضا برای مصرف فرآورده‌های لیگنوسلولزی و بهره‌گیری از چوب‌های تولیدی در دوره‌های بهره‌برداری کوتاه‌مدت (زراعت چوب) برای تأمین ماده اولیه مورد نیاز صنایع یادشده

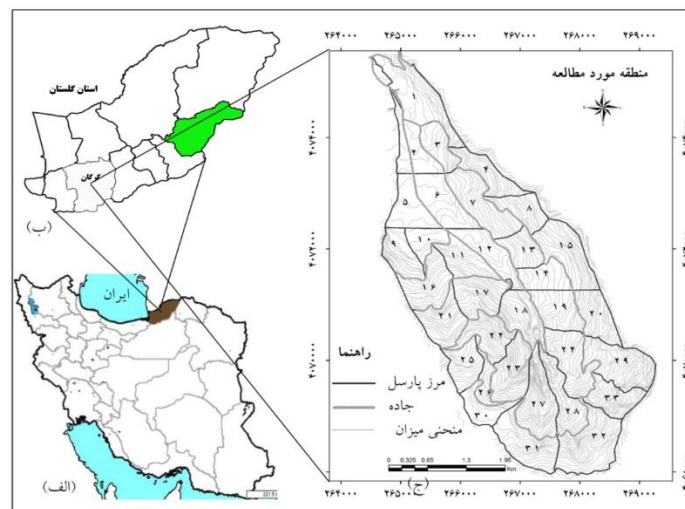
بهترین معادله برای یکی از گونه‌های مهم اقتصادی و تندرشد برای برآورد زی توده درخت پالونیا فورتونئی در طرح جنگلداری دکتر بهرام‌نیا است.

## مواد و روش‌ها

### مشخصات منطقه تحقیق

منطقه تحقیق واقع در سری یک طرح جنگلداری دکتر بهرام‌نیا (شصت کلاته) در حوزه آبخیز ۸۵ اداره کل منابع طبیعی استان گلستان و در جنوب شرقی شهر گرگان با طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۲۵ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۲ دقیقه شمالی است (شکل ۱). بر مبنای سیستم مختصات UTM منطقه تحقیق در زون ۴۰ شمالی واقع است. منطقه تحقیق بر اساس اطلاعات ایستگاه کلیماتولوژی هاشم‌آباد در فاصله ۵ کیلومتری شمال منطقه طرح در جلگه، از نظر طبقه‌بندی اقلیمی آمبرژه دارای اقلیم مرطوب معتدل است و مقدار بارندگی متوسط سالانه ۶۴۹ میلی‌متر که بین ۵۲۸ تا ۸۱۷ میلی‌متر متغیر است. رویشگاه مورد نظر (جنگل کاری پالونیا) در پارسل ۵ سری یک طرح جنگلداری دکتر بهرام‌نیا واقع شده است (شکل ۱).

اسپانیا در یک دوره دوساله بررسی و تجزیه و تحلیل کردند. در این تحقیق، معادله آلومتریک برای برازش و محاسبه زی توده ارائه نشده و از نسبت وزن تر به وزن خشک برای محاسبه زی توده استفاده شده است. نتایج نشان داد که مقدار زی توده دو کلون (Cotevisa 2 and Suntzu 11) بین ۷/۲ تا ۱۴ تن در هکتار حاصل شد [۲۲]. معادلات آلومتریک در رویشگاه‌های مختلف و گونه‌های مختلف و حتی در موقعیت‌های مختلف و نامنظم بودن درختان از نظر سن، گونه، اندازه، تاج، کیفیت رویشگاه، تراکم توده و موقعیت نسبی درختان متفاوت‌اند. تا کنون تحقیقی درباره تعیین و برازش معادلات آلومتریک برای درختان پالونیا در ایران انجام نگرفته و در جهان هم فقط درباره نهال‌های پالونیا پژوهش شده و درباره درختان قطور و مسن نیز تحقیقی اجرا نشده است. همچنین با توجه به افزایش کشت این گونه تندرشد و چندمنظوره در ایران تحقیقات لازم در زمینه آگاهی از وضعیت درختان، بررسی مشخصه‌های کمی و کیفی، مانند تعیین معادلات آلومتریک و توان تولید زی توده این گونه ضروری به نظر می‌رسد. در حال حاضر اندازه‌گیری کمی زی توده به دلیل صرف زمان، هزینه و نیروی انسانی زیاد و اثرهای تخریبی آن به چالش بزرگی تبدیل شده است. بنابراین هدف از این تحقیق، تعیین معادلات آلومتریک و انتخاب



شکل ۱. موقعیت منطقه تحقیق در ایران و استان گلستان

## روش پژوهش

ابتدا با شناسایی اولیه منطقه، براساس طبقه قطری ۱۶ اصله درخت پالونیا (گونه فورتونئی) انتخاب شدند سپس مشخصه‌های قطر برابر سینه و ارتفاع کل تمام درختان انتخاب شده اندازه‌گیری و ثبت شد. پس از قطع، هر درخت به قسمت‌های مختلف تنه، شاخه، برگ و میوه تقسیم شد و هر قسمت به‌طور جداگانه با ترازوی دیجیتالی (با دقت ۱۰ گرم) وزن تر آنها اندازه‌گیری شد. پس از وزن کردن قسمت‌های مختلف درخت، به‌منظور اندازه‌گیری وزن خشک، از اندام‌های مختلف درخت، نمونه‌هایی به‌طور تصادفی گرفته شد و پس از وزن کردن با ترازو با دقت ۱ گرم، برای به‌دست آوردن وزن خشک به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه‌ها تا زمان رسیدن به وزن پایدار درون آون قرار گرفتند دیسک تنه و شاخه‌های اصلی ۴۸ ساعت در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد و سایر بخش‌ها ۷۰ درجه به مدت ۴۸ ساعت [۵]. براساس تحقیق معیری و همکاران (۲۰۱۸)، چگالی خشک درخت پالونیا ۰/۲۴ محاسبه شد [۲۳]. پس از تعیین وزن خشک نمونه‌ها، وزن خشک هر اندام با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد.

$$WD_c = \frac{WF_c \times WD_s}{WF_s} \quad (1)$$

$WD_c$ : وزن خشک هر قسمت از درخت،  $WF_c$ : وزن تر هر قسمت از درخت،  $WD_s$ : وزن خشک هر نمونه و  $WF_s$ : وزن تر هر کدام از نمونه‌هاست. برای محاسبه وزن خشک (زی‌توده) کل، وزن خشک همه اندام‌های هوایی با یکدیگر جمع شدند [۴].

به‌منظور مدل‌سازی زی‌توده درختان پالونیا فورتونئی، سه مشخصه اصلی قطر برابر سینه، ارتفاع کل و چگالی خشک به‌صورت جداگانه و ترکیبی برای برآزش مدل‌ها به‌کار گرفته شدند. براساس بررسی سوابق تحقیق ۲۹ معادله آلومتریک برای برآورد زی‌توده که در تحقیقات

دیگر استفاده شده است انتخاب شدند (جدول ۱). برای اعتبارسنجی مدل‌ها نیز از معیار ضریب تبیین اصلاح شده و درصد جذر میانگین مربعات خطا استفاده شد (رابطه‌های ۲ و ۳) و تمامی تجزیه و تحلیل‌های آماری در نرم‌افزار R انجام گرفت.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{n}} \quad (2)$$

$$RMSE\% = \frac{RMSE}{\bar{y}_i} \times 100 \quad (3)$$

به‌طوری که  $n$ : تعداد نمونه‌های ارزیابی،  $\bar{y}_i$ : مقدار تخمین زده شده و  $y_i$ : مقدار مشاهده شده است.

## نتایج و بحث

میانگین، حداقل و حداکثر مشخصه قطر برابر سینه به ترتیب (۳۹/۹، ۱۳ و ۷۲ سانتی‌متر)، ارتفاع به ترتیب (۱۴/۹، ۹ و ۲۱/۶ متر) و زی‌توده روی زمینی (۳۴۷/۲، ۴۳/۲ و ۸۵۹/۷ کیلوگرم در واحد درخت) است (جدول ۲).

جدول ۳ نتایج ضرایب حاصل از برآزش ۲۹ مدل رگرسیونی انتخاب شده را نشان می‌دهد. عملیات برآزش و مدل‌سازی با استفاده از سه متغیر مستقل قطر برابر سینه (DBH)، ارتفاع (H) و چگالی خشک ( $\rho$ ) با استفاده از مدل‌های مختلف به‌صورت جداگانه و ترکیبی صورت گرفت. نتایج مدل‌سازی با استفاده از مدل‌هایی که فقط از قطر برابر سینه به‌عنوان متغیر مستقل استفاده کرده‌اند نشان داد که مدل‌های شماره ۴، ۱۴ و ۱۷ با ضرایب تبیین ۰/۹۴۶، ۰/۹۴۶ و ۰/۹۴۶ و درصد جذر میانگین مربعات خطا به ترتیب ۲۶/۳۹، ۲۶/۴۱ و ۲۶/۵۵ درصد نسبت به مدل‌های دیگر بهتر توانسته‌اند زی‌توده روی زمینی پالونیا را تبیین کنند. نتایج نشان داد که ضرایب تبیین این سه مدل یکسان و درصد جذر میانگین مربعات خطا هم تفاوت زیادی با هم ندارند (حدود ۰/۲ درصد) و از بین این سه مدل، مدل توانی دارای کمترین درصد جذر میانگین مربعات خطاست که با نتایج واحدی و

جدول ۱. فهرست معادلات آلومتریک استفاده شده در این تحقیق برای برآورد زی توده روی زمین

شماره مدل	مدل	منبع
۱	$AGB = \beta_0 + \beta_1 DBH$	[۲۱]
۲	$AGB = \beta_1 DBH^2$	[۲۱]
۳	$AGB = \beta_0 + \beta_1 DBH^{\beta_2}$	[۲۱]
۴	$AGB = \beta_1 DBH^{\beta_2}$	[۲۱]
۵	$AGB = \beta_0 + \beta_1 H^{\beta_2}$	[۲۱]
۶	$AGB = \beta_0 + \beta_1 H + \beta_2 H^2$	[۲۱]
۷	$AGB = \beta_1 H^{\beta_2}$	[۲۱]
۸	$AGB = \beta_0 + \beta_1 DBH^2 \times H$	[۲۱]
۹	$AGB = \beta_1 DBH^2 \times H$	[۲۱]
۱۰	$AGB = \beta_1 DBH^{\beta_2} \times H^{\beta_3}$	[۲۱]
۱۱	$AGB = \beta_0 + (DBH^2 \times H)^{\beta_1}$	[۴]
۱۲	$AGB = \beta_1 DBH^{\beta_2} \times H$	[۴]
۱۳	$AGB = \beta_1 DBH^2 \times H^{0.5}$	[۴]
۱۴	$AGB = \beta_0 + \beta_1 DBH + \beta_2 DBH^2$	[۶]
۱۵	$AGB = \beta_0 \times (DBH^2 \times H)^{\beta_1}$	[۲۴]
۱۶	$AGB = \beta_0 + \beta_1 DBH + \beta_2 DBH^2 + \beta_3 (DBH \times H)$	[۱۶]
۱۷	$\ln AGB = \beta_0 + \beta_1 (\ln DBH)$	[۲۵]
۱۸	$\ln AGB = \beta_0 + \beta_1 (\ln DBH) + \beta_2 (\ln DBH)^2$	[۲۵]
۱۹	$\ln AGB = \beta_0 + \beta_1 (\ln DBH) + \beta_2 (\ln H)$	[۲۵]
۲۰	$\ln AGB = \beta_0 + \beta_1 (\ln DBH) + \beta_2 (\ln DBH)^2 + \beta_3 (\ln H)$	[۲۵]
۲۱	$\ln AGB = \beta_0 + \beta_1 (\ln DBH) + \beta_2 (\ln DBH)^2 + \beta_3 (\ln H) + \beta_4 (\ln H)^2$	[۲۵]
۲۲	$\ln AGB = \beta_0 + \beta_1 (DBH^2 \times H)$	[۲۵]
۲۳	$\ln AGB = \beta_0 + \beta_1 (DBH^2 \times H) + \beta_2 (DBH^2 \times H)^2$	[۲۵]
۲۴	$\ln AGB = \beta_0 + \beta_1 (DBH^2 \times H \times \rho)$	[۲۵]
۲۵	$\ln AGB = \beta_0 + \beta_1 (DBH^2 \times \rho)$	[۲۵]
۲۶	$\ln AGB = \beta_0 + \beta_1 (\ln DBH) + (\ln \rho)$	[۲۵]
۲۷	$\ln AGB = \beta_0 + \beta_1 (DBH^2 \times H) + (\ln \rho)$	[۲۵]
۲۸	$\ln AGB = \beta_0 + \beta_1 (DBH^2 \times \rho) + \beta_2 (\ln H)$	[۲۵]
۲۹	$\ln AGB = \beta_0 + \beta_1 (DBH)^2 + \beta_2 (DBH^2 \times H) + (\ln \rho)$	[۲۵]

DBH قطر برابر سینه بر حسب سانتی متر، H ارتفاع کل درختان بر حسب متر،  $\rho$  چگالی خشک و  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$  ضرایب مدل

جدول ۲. آماره‌های توصیفی مشخصه‌های قطر برابر سینه، ارتفاع درختان و زی توده درختان پالونیا

آماره‌های توصیفی	قطر برابر سینه (سانتی متر)	ارتفاع (متر)	زی توده (کیلوگرم)
میانگین	۳۹/۹	۱۴/۹	۳۴۷/۲
مدیان	۲۳/۲۵	۱۴/۷	۳۳۰/۹
دامنه	۵۹	۱۲/۳	۸۱۶/۵
ضریب تغییرات	۴۵/۹	۲۳/۷۶	۷۱/۶۶
انحراف از معیار	۱۸/۳۳	۳/۵۴	۲۴۸/۸
تعداد	۱۶	۱۶	۱۶

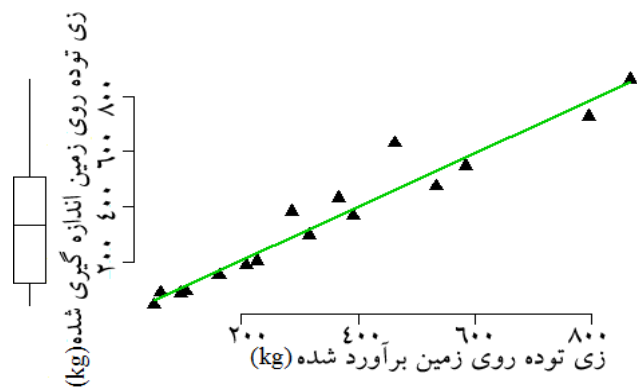
نمونه برداری شده نیز بستگی دارد [۱، ۱۲، ۱۶]. زمانی که تعداد درختان نمونه برداری شده کم (۹۰-۴۵ اصله) باشد، بهتر است ارتفاع اندازه‌گیری شود که سبب افزایش دقت مدل می‌شود [۱۷]. نتایج مدل‌سازی با سه پارامتر قطر برابر سینه، ارتفاع و چگالی خشک به‌عنوان متغیر مستقل نشان داد که مدل‌های ۲۵ و ۲۶ با ضریب تبیین یکسان ۰/۹۴۶ و درصد جذر میانگین مربعات خطای یکسان ۲۶/۵۵ درصد، نسبت به دیگر مدل‌هایی که از این سه پارامتر استفاده کرده‌اند بهتر توانسته‌اند زی‌توده روی زمین پالونیا را تبیین کنند (جدول ۳). نتایج نشان داد که با افزودن متغیر چگالی خشک چوب پالونیا، دو معیار ضریب تبیین و درصد جذر میانگین مربعات خطا تغییر نکرد و نتایج بهبود نیافت. نتایج مقایسه کل مدل‌های به‌کاررفته با استفاده از سه پارامتر قطر برابر سینه، ارتفاع و چگالی خشک با هم و به‌صورت جداگانه نشان داد که مدل‌های ۱۰، ۱۶ و ۲۱ با ضریب تبیین یکسان ۰/۹۴۷ و درصد جذر میانگین مربعات خطای به‌ترتیب ۲۶/۱۷، ۲۶/۱۶ و ۲۶/۰۷ درصد نسبت به سایر مدل‌ها بهتر توانستند زی‌توده روی زمین پالونیا را برآورد کنند و از بین این سه، مدل ۲۱ دارای کمترین درصد جذر میانگین مربعات خطاست (جدول ۳). نتایج این تحقیق نشان داد که براساس یافته‌های واحدی و همکاران (۲۰۱۳)، ایران‌منش و همکاران (۲۰۱۴)، دریایی و سهرابی (۲۰۱۵)، Navar (۲۰۰۹)، Djomo و همکاران (۲۰۱۰)، Aguilar و همکاران (۲۰۱۲) و Kenzo و همکاران (۲۰۰۹)، از میان متغیرهای قطر برابر سینه، ارتفاع و چگالی خشک، متغیر قطر برابر سینه نسبت به دیگر متغیرها، به‌تنهایی بیشترین برآزش را با زی‌توده پالونیا داشت [۳، ۴، ۵، ۶، ۸، ۱۱، ۱۴].

شکل ۲ مقادیر مشاهده‌شده زی‌توده در برابر مقادیر برآوردشده با استفاده از مدل ۲۱ را نشان می‌دهد. شکل ۳ ابر نقاط زی‌توده روی زمین را در برابر پارامترهای قطر برابر سینه و ارتفاع درختان و همچنین مدل‌های برآزش یافته ۴ و ۷ را نشان می‌دهد (شکل ۳).

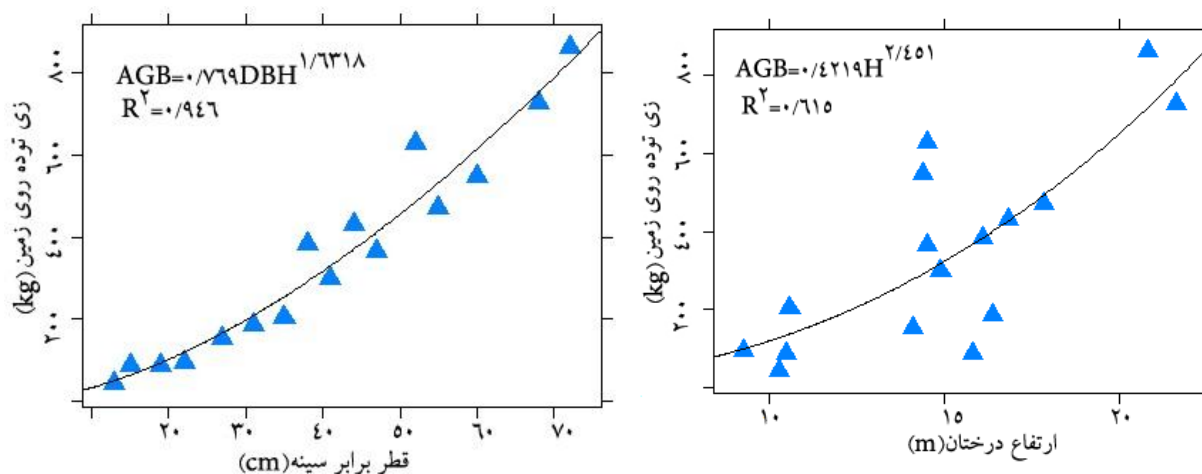
همکاران (۲۰۱۳)، Garcia-Morote و همکاران (۲۰۱۴)، Kuyah و همکاران (۲۰۱۲) و Navar (۲۰۰۹) مطابقت دارد [۲، ۴، ۵] (جدول ۳). نتایج مدل‌سازی با استفاده از مدل‌هایی که فقط از پارامتر ارتفاع به‌عنوان متغیر مستقل استفاده کرده‌اند، نشان داد که مدل‌های ۵، ۶ و ۷ نسبت به سایر مدل‌هایی که فقط از متغیر ارتفاع استفاده کرده‌اند دارای ضریب تبیین بیشتر (۰/۶۱۲، ۰/۶۱۴ و ۰/۶۱۵ به‌ترتیب) و درصد جذر میانگین مربعات خطای کمتر (۷۰/۵۵، ۷۰/۴۲ و ۷۰/۳۲ درصد به‌ترتیب) بودند (جدول ۳). می‌توان نتیجه گرفت که متغیر ارتفاع به‌تنهایی نمی‌تواند زی‌توده روی زمین درختان پالونیا را با دقت زیاد تبیین کند و درصد جذر میانگین مربعات خطای ۷۰ درصد مؤید این مطلب است. همچنین نتایج مدل‌سازی با استفاده از دو پارامتر قطر برابر سینه و ارتفاع درختان به‌عنوان متغیرهای مستقل نشان داد که مدل‌های ۱۰، ۱۶ و ۲۱ با ضرایب تبیین یکسان ۰/۹۴۷ و درصد جذر میانگین مربعات خطای به‌ترتیب ۲۶/۱۷، ۲۶/۱۶ و ۲۶/۰۷ درصد نسبت به سایر مدل‌ها با دو پارامتر قطر برابر سینه و ارتفاع بهتر توانستند زی‌توده روی زمین پالونیا را تبیین کنند (جدول ۳). از بین این سه، مدل ۲۱ دارای کمترین درصد جذر میانگین مربعات خطاست. با اضافه کردن متغیر ارتفاع به قطر برابر سینه و مدل‌سازی با استفاده از این دو متغیر به‌صورت هم‌زمان، میزان ضریب تبیین از ۰/۹۴۶ به ۰/۹۴۷ افزایش و درصد جذر میانگین مربعات خطا نیز از ۲۶/۳۹ به ۲۶/۰۷ کاهش یافت؛ این بهبود نتایج بسیار ناچیز بود و با یافته‌های Djomo و همکاران (۲۰۱۰)، Zewdie و همکاران (۲۰۰۹) و Litton و Boone و همکاران (۲۰۰۸) Kauffman همخوانی داشت [۶، ۱۵، ۲۱]؛ براساس یافته‌های Lupi و همکاران (۲۰۱۷)، Fayolle و همکاران (۲۰۱۳) و Mugasha و همکاران (۲۰۱۵)، با اضافه کردن متغیر ارتفاع به مدل، شاید افزایش چشمگیری در دقت مدل حاصل نشود، ولی انعطاف‌پذیری و دقت مدل افزایش می‌یابد؛ در مناطقی که ترکیب و تراکم توده تغییر کند، اثرگذاری متغیر ارتفاع بیشتر می‌شود که همچنین به ابعاد و نوع گونه درختی

جدول ۳. ضرایب مدل‌های رگرسیونی استفاده شده در این تحقیق

شماره مدل	ضرایب مدل						درصد مجذور میانگین مربعات خطا
	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	ضریب تبیین	
۱	-۱۷۵/۹	۱۳/۱	-	-	-	۰/۹۳	۲۹/۷۴
۲	-	۰/۱۷۱۶	-	-	-	۰/۹۴	۳۱/۵۹
۳	۵۰/۸۸۵۳	۰/۱۵۵۱	-	-	-	۰/۹۴	۲۷/۹
۴	-	۰/۷۶۹	۱/۶۳۱۸	-	-	۰/۹۴۶	۲۶/۳۹
۵	-۷۲/۴۷۱	۱/۷۹۴	-	-	-	۰/۶۱۲	۷۰/۵۵
۶	۷۹/۹۹	-۲۰/۵	۲/۴۵۷	-	-	۰/۶۱۴	۷۰/۴۲
۷	-	۰/۴۲۱۹	۲/۴۵۱	-	-	۰/۶۱۵	۷۰/۳۲
۸	۱۱۲/۹	-۰/۰۰۷۲۲۳	-	-	-	۰/۸۸۵	۳۸/۵
۹	-	-۰/۰۰۹۰۲۳	-	-	-	۰/۸۸۵	۵۳/۳۴
۱۰	-	۰/۷۰۸۱	۱/۵۵۸۵	۰/۱۳۲۲	-	۰/۹۴۷	۲۶/۱۷
۱۱	۳۶/۰۱۵	۰/۵۸۴	-	-	-	۰/۹۳۷	۲۸/۴۹
۱۲	-	۰/۳۳۴۵	۱/۱۲۳۵	-	-	۰/۹۱۱	۳۳/۹۲
۱۳	-	-۰/۰۳۹۷۷	-	-	-	۰/۹۲	۴۰/۹۵
۱۴	-۴۳/۴۱۶	۵/۲۷۱۶	۰/۰۹۴۳	-	-	۰/۹۴۶	۲۶/۴۱
۱۵	۰/۵۶۵۹	۰/۶۲۹۶	-	-	-	۰/۹۳۵	۲۹/۱۲
۱۶	-۵۲/۶۵	۵/۰۹۰۴۸	۰/۰۷۴۲۸	۰/۰۸۵۲۶	-	۰/۹۴۷	۲۶/۱۶
۱۷	-۰/۳۶۵۹	۱/۶۵۴	-	-	-	۰/۹۴۶	۲۶/۵۵
۱۸	۰/۶۵۲۸۲	۱/۰۴۷۳۲	۰/۰۸۸۲۲	-	-	۰/۹۴۴	۲۶/۹۹
۱۹	۰/۷۴۶۹	۱/۵۶۴۲	۰/۲۶۲۴	-	-	۰/۹۴۵	۲۶/۶۸
۲۰	-۰/۰۳۰۷۷	۱/۱۵۷۳۲	۰/۰۵۹۹۸	۰/۲۴۶۱۴	-	۰/۹۴۳	۲۷/۳۲
۲۱	-۴/۲۳۷	۰/۳۸۶۵	۰/۱۷۴۳	۴/۴۶۹۵	-۰/۱۰۰۷۹	۰/۹۴۷	۲۶/۰۷
۲۲	-۱/۳۱۲۶	۰/۶۹۸۲	-	-	-	۰/۹۲۹	۳۰/۶۸
۲۳	-۱/۷۶۶	۰/۷۵۲۶	۰/۰۰۰۰۰۸۴	-	-	۰/۹۴۴	۲۷/۱
۲۴	-۰/۳۱۶۲	۰/۶۹۸	-	-	-	۰/۹۲۹	۳۰/۶۸
۲۵	۰/۸۱۴۴	۰/۸۲۷	-	-	-	۰/۹۴۶	۲۶/۵۵
۲۶	۱/۰۶۱	۱/۶۵۴	-	-	-	۰/۹۴۶	۲۶/۵۵
۲۷	۰/۱۱۴۵	۰/۶۹۸	-	-	-	۰/۹۲۹	۳۰/۶۸
۲۸	۰/۳۶۹۲	۰/۷۸۲۱	۰/۲۶۲۴	-	-	۰/۹۴۵	۲۶/۶۵
۲۹	۲/۲۶۵	۰/۱۴۰۲	۰/۳۹۳۲	-	-	۰/۹۳۸	۲۹/۲۲



شکل ۲. مقادیر زی توده اندازه‌گیری شده در برابر مقادیر زی توده برآورد شده با استفاده از مدل ۲۱



شکل ۳. ابر نقاط زی توده روی زمین در برابر قطر برابر سینه و ارتفاع درختان و منحنی برازش یافته مدل‌های ۴ و ۷

معادلات آلومتریک و همچنین توسعه این مدل‌ها برای گونه‌های دیگر و در رویشگاه‌های مختلف انجام گیرد.

## References

- [1]. Mugasha, W.A., Eid, T., Bollandas, O.M., Malimbwi, R.E., Chamshama, S.A.O., Zahabu, E., and Katani, J.Z. (2013). Allometric models for prediction of above-and belowground biomass of trees in the miombo woodlands of Tanzania. *Forest Ecology and Management*, 310: 87-101.
- [2]. Kuyah, S., Dietz, J., Muthuri, C., Jamnadss, R., Mwangi, P., Coe, R., and Neufeldt, H. (2012). Allometric equations for estimating biomass in agricultural landscapes: II. Belowground biomass. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 158: 225-234.
- [3]. Iranmanesh, Y., Sagheb Talebi, Kh., Sohrabi, H., Jalali, S.G., and Hosseini S.M. (2014). Biomass and carbon Stocks of Brant's oak (*Quercus brantii* Lindl.) in two vegetation forms in Lordegan, Chaharmahal & Bakhtiari Forests. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 22(4): 749-762.
- [4]. Navar, J. (2009). Allometric equations for tree species and carbon stocks for forests of northwestern Mexico. *Forest Ecology and Management*, 257(2): 427-434.
- [5]. Vahedi, A., Mataji, A., Babayi-Kafaki, S., Eshaghi-Rad, J., and Hodjati, S.M. (2013). Modeling the bole mass of beech (*Fagus Orientalis* Lipsky) through allometric equations within Hyrcanian forests. *Iranian Journal of Forest*, 5(3): 309-322.

## نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که مدل ۲۱ دارای بیشترین ضریب تبیین و کمترین درصد جذر میانگین خطاست. البته مقدار ضریب تبیین و درصد جذر میانگین مربعات خطای حاصل از این مدل با مدل‌های ۱۰، ۱۶، ۴، ۱۴ و ۱۷ تفاوت زیادی ندارد. متغیر قطر برابر سینه به‌عنوان یک متغیر از درختان سرپا، متغیر مناسبی برای برآورد آسان، غیرمخرب، کم‌هزینه و سریع زی توده روی زمینی پالونیا است و زمانی که فقط متغیر قطر برابر سینه برای برآورد زی توده به‌کار رود، از مدل‌های ۴، ۱۴ و ۱۷ می‌توان استفاده کرد. متغیر ارتفاع درختان نیز سبب افزایش دقت معادلات می‌شود و برای برازش بهتر و استفاده مدل برای این گونه در سایر مناطق از مدل‌های ۲۱، ۱۰ و ۱۶ که هم از قطر برابر سینه و هم از ارتفاع استفاده می‌کنند، می‌توان بهره گرفت؛ اما با افزودن متغیر چگالی خشک چوب پالونیا، دو معیار ضریب تبیین و درصد میانگین مجذور مربعات خطا تغییر نکرد و نتایج بهبود نیافت. امید می‌رود تحقیقات تکمیلی درباره استفاده از دیگر متغیرهای کمی درختان مانند مشخصه‌های تاجی درختان در معادلات آلومتریک، توسعه معادلات آلومتریک با استفاده از مدل‌های تعمیم‌یافته و الگوریتم‌های داده‌کاوی، افزودن مشخصه‌های اولیه و ثانویه توپوگرافی در



- [6]. Djomo, A.N., Ibrahima, A., Saborowski, J., and Gravenhorst, G. (2010). Allometric equations for biomass estimations in Cameroon and pan moist tropical equations including biomass data from Africa. *Forest Ecology and Management*, 260(10): 1873-1885.
- [7]. Jiménez, L., Rodríguez, A., Ferrer, J.L., Pérez, A., and Angulo, V. (2005). La Paulownia: una planta de rápido crecimiento como materia prima para la fabricación de papel. *Afinidad*, 62(516):100-105.
- [8]. Daryaei, A., and Sohrabi, H. (2015). Aboveground biomass estimation of small diameter trees of *Carpinus betulus*, *Fagus orientalis* and *Parrotio persica* by using power regression model. *Journal of Wood & Forest Science and Technology*, 22(2): 137-150.
- [9]. Eslamdoust, J., Sohrabi, H., Hosseini, S.M., and Naseri, B. (2014). Estimation of biomass factor and biomass expansion factor for *Populus deltoides*, *Alnus subcordata* and *Taxodium distichum* in koludeh plantation, Amol. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 22(3): 540-549.
- [10]. Sohrabi, H., and 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.
- [11]. Aguilar, R., Ghilardi, A., Vega, E., Skutsch, M., and Oyama, K. (2012). Sprouting productivity and allometric relationships of two oak species managed for traditional charcoal making in central Mexico. *Biomass and Bioenergy*, 36: 192-207.
- [12]. Fayolle, A., Doucet, J.L., Gillet, J.F., Bourland, N., and Lejeune, P. (2013). Tree allometry in Central Africa: testing the validity of pantropical multi-species allometric equations for estimating biomass and carbon stocks. *Forest Ecology and Management*, 305: 29-37.
- [13]. García-Morote, F.A., López-Serrano, F., Martínez-García, E., Andrés-Abellán, M., Dadi, T., Candel, D., Rubio, E., and Lucas-Borja, M. (2014). Stem biomass production of *Paulownia elongata* × *P. fortunei* under low irrigation in a semi-arid environment. *Forests*, 5(10): 2505-2520.
- [14]. Kenzo, T., Furutani, R., Hattori, D., Kendawang, J.J., Tanaka, S., Sakurai, K., and Ninomiya, I. (2009). Allometric equations for accurate estimation of above-ground biomass in logged-over tropical rainforests in Sarawak, Malaysia. *Journal of Forest Research*, 14(6): 365-372.
- [15]. Litton, C.M., and Boone Kauffman, J. (2008). Allometric models for predicting aboveground biomass in two widespread woody plants in Hawaii. *Biotropica*, 40(3): 313-320.
- [16]. Lupi, C., Larocque, G.R., DesRochers, A., Labrecque, M., Mosseler, A., Major, J., Beaulieu, J., Tremblay, F., Gordon, A.M., Thomas, B.R., and Vézina, A. (2017). Biomass from young hardwood stands on marginal lands: Allometric equations and sampling methods. *Biomass and Bioenergy*, 98: 172-181.
- [17]. Rutishauser, E., Noor'an, F., Laumonier, Y., Halperin, J., Hergoualc'h, K., and Verchot, L. (2013). Generic allometric models including height best estimate forest biomass and carbon stocks in Indonesia. *Forest Ecology and Management*, 307:219-225.
- [18]. Stas, S.M., Rutishauser, E., Chave, J., Anten, N.P., and Laumonier, Y. (2017). Estimating the aboveground biomass in an old secondary forest on limestone in the Moluccas, Indonesia: Comparing locally developed versus existing allometric models. *Forest Ecology and Management*, 389: 27-34.
- [19]. Stankova, T., Gyuleva, V., Dimitrov, D., Hristova, H., and Andonova, E. (2017). Aboveground dendromass estimation of juvenile *Palownia* Sp. *Glasnik Šumarskog fakulteta Univerziteta u Banjoj Luci*, 24: 5-18.
- [20]. Vahedi, A.A. (2016). Artificial neural network application in comparison with modeling allometric equations for predicting above-ground biomass in the Hyrcanian mixed-beech forests of Iran. *Biomass and Bioenergy*, 88: 66-76.
- [21]. Zewdie, M., Olsson, M., and Verwijst, T. (2009). Above-ground biomass production and allometric relations of *Eucalyptus globulus* Labill. Coppice plantations along a chronosequence in the central highlands of Ethiopia. *Biomass and Bioenergy*, 33(3): 421-428.
- [22]. Zuazo, V.H.D., Bocanegra, J.A.J., Torres, F.P., Pleguezuelo, C.R.R., and Martínez, J.R.F. (2013). Biomass yield potential of paulownia trees in a semi-arid Mediterranean environment (S Spain). *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)*, 3(4):789-793.

- [23]. Moayeri, M.H., Hatami, N., and Tabarsa, T. (2018). Evaluation of quantitative and qualitative characteristics of *Paulownia fortunei* cultivation on steep lands (Case study: Tooskestan region–Gorgan). *Journal of Forest Research and Development*, 4(1): 97-112.
- [24]. Lima, A.J.N., Suwa, R., de Mello Ribeiro, G.H.P., Kajimoto, T., dos Santos, J., da Silva, R.P., de Souza, C.A.S., de Barros, P.C., Noguchi, H., Ishizuka, M., and Higuchi, N. (2012). Allometric models for estimating above- and below-ground biomass in amazonian forests at São Gabriel da Cachoeira in the upper Rio Negro, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 277: 163-172.
- [25]. Moore, J.R. (2010). Allometric equations to predict the total above-ground biomass of radiata pine trees. *Annals of Forest Science*, 67(8): 806.

## Allometric equations for estimating aboveground biomass for Paulonia trees (*Paulownia fortunei*) in the Dr. Bahramnia Forests Plan of Gorgan

**J. Mohammadi\***; Assist. Prof., Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, I.R. Iran

**A.A. Mohammad Ali Pormalekshah**; PhD Student of Forestry, Department of Forestry, Faculty of Forest Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, I.R. Iran

**N. Hatami**; PhD Student of Forestry, Department of Forestry, Faculty of Forest Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, I.R. Iran

(Received: 21 July 2018, Accepted: 02 November 2018)

### ABSTRACT

The aim of this research was to pick out the most relevant allometric equations to estimating aboveground biomass of *Paulownia Fortunei* species in Dr. Bahramnia Forestry Plan. Totally, 16 *Paulownia Fortunei* trees were cut, and then they were transformed and weighted. After that, to determine the coefficient of dryness this species, some samples were taken from the different parts of trunk, branches, leaves and fruits. The samples were dried in Oven at 110 ° C for 48 hours (for trunk and main branches) and 70 ° C for 48 hours (for other sections). Using 29 allometric equations, the relationship between aboveground biomass as dependent variable and D.B.H, height and dry wood density as independent variables were analyzed. The results indicated that among the various models, Model No. 21 was used using combination of two variables of diameter at breast height and height as independent variables with an explanation coefficient of 0.947 and the mean square error of 26.77% of the best fit. The results showed that the model number 21 that used combination of diameter at breast height and tree height as independent variables were the best prediction for aboveground biomass of *Paulownia Fortunei* species, with  $R^2$  0.947 and RMSE% -26.07%. The result was not improved by adding dry density as other independent variable along with diameter at the breasts and height trees. In sum, among the all investigated independent variables, the variable of diameter of the breasts height showed the most fit on total biomass of *Paulownia Fortunei* species.

**Keywords:** Allometric equations, Aboveground biomass, Paulonia, Dr. Bahramnia forests.

---

\* Corresponding Author, Email: mohamadi.jahangir@gmail.com, Tel: +989365051629