



دانشگاه گنبدکوهی، رشت، ایران

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

جلد بیست و پنجم، شماره دوم، ۱۳۹۷

<http://jwfst.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwfst.2018.14826.1738

برآورد زی‌توده چوبی اندام‌های هوایی کلن‌های صنوبر با استفاده از روابط آلومتریک

محسن یوسفوندمفرد^۱، * جواد سوسنی^۲، رضا اخوان^۳، کامبیز ابراری واجاری^۴، ایمان سپهوند^۵ و
فرهاد جهان‌پور^۵

^۱ کارشناس ارشد جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، آستادیار، گروه جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، آدانشیار پژوهش، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، آستادیار گروه جنگلشناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، کارشناس ارشد جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۵/۱۵

چکیده

سابقه و هدف: اندازه‌گیری زی‌توده درختی، یک شاخص بسیار مهم برای ارزش‌گذاری فرآیندهای اقتصادی و بوم‌شناختی، جنگل محسوب می‌شود. یکی از مدل‌های سنتی در تخمین زی‌توده درختان استفاده از روابط آلومتریک است. هدف از این پژوهش استخراج روابط آلومتریک برای برآورد زی‌توده کلن‌های صنوبر دست‌کاشت در منطقه باغ فلاحت شهرستان خرم‌آباد می‌باشد.

مواد و روش‌ها: ابتدا مشخصات کمی درختان از جمله ارتفاع، قطر برابر سینه و قطر تاج اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌برداری از درختان به روش بلوکی-تصادفی انجام و مجموعاً ۵۰ اصله درخت قطع گردید. پس از استحصال سرشاخه‌ها و تنه‌ها یک دیسک از تنه و تاج درخت به ضخامت ۵-۳ سانتی‌متر جدا و همزمان در عرصه توزین گردید. نمونه‌های موردنظر به آزمایشگاه منتقل و در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد دستگاه آون، به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند. با استفاده از نسبت وزن خشک به وزن تر نمونه‌ها، وزن خشک تاج، تنه و در نهایت زی‌توده خشبی روی زمین محاسبه شد.

یافته‌ها: نتایج بررسی مدل‌های رگرسیونی نشان داد که متغیر مستقل قطر برابر سینه، برای زی‌توده خشک کل درخت و تاج، مدل‌ها و روابط بهتری تولید کرد، این در حالی است که در زی‌توده خشک تنه، متغیر ارتفاع درخت برازش بهتری داشت. برای اعتبارسنجی داده‌ها نیز برای هر مدل، مقدار درصد مجذور میانگین مربعات خطا به دست آمد. کمترین مقدار این آماره، برای مدل درجه ۲ برحسب متغیر مستقل قطر برابر سینه بود (RMSE%=9/43، $R^2=0/81$ ، ME%=4/2).

*مسئول مکاتبه: soosani.j@lu.ac.ir

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که در مقایسه بین مدل‌های رگرسیونی خطی، توانی، نمایی و درجه ۲، با توجه به زیاد بودن مقدار ضریب تبیین در مدل درجه ۲ بر مبنای قطر در ارتفاع برابر سینه، نسبت به سایر مدل‌ها برای برآورد زی‌توده کلن‌های صنوبر، این مدل امکان تبیین روابط آلومتریک مناسبتری برای این کلن‌ها را فراهم کرد.

واژه‌های کلیدی: خرم‌آباد، روابط آلومتریک، زی‌توده، صنوبر

مقدمه

روند رو به افزایش تخریب جنگل‌ها به واسطه عوامل انسانی و طبیعی موجب توجه صاحب نظران به جایگزینی کاشت درختان دارای چوب سخت و عمر طولانی با گونه‌هایی با چوب سبک مانند صنوبر و برخی از سوزنی برگان سریع‌الرشد شده است (۲۰). صنوبر، به‌عنوان گونه‌ای تند رشد، ازجمله درختانی است که به‌دلیل دارا بودن صفاتی مانند قدرت تولید جست فراوان، نیاز به مراقبت کم، دامنه اکولوژیکی به نسبت زیاد، امکان دورگه‌گیری، دوره بهره‌برداری کوتاه‌مدت و غیره، می‌تواند با کاهش فشار برداشت چوب، نقش بسیار مهمی در حفظ و صیانت از عرصه‌های جنگلی کشور ایفا نموده و در عین حال زی‌توده زیادی در مدت زمانی کوتاه تولید کند (۱۵). زی‌توده درختی یک شاخص بسیار مهم برای ارزش‌گذاری فرایندهای اقتصادی و بوم‌شناختی مانند چرخه عناصر غذایی، تولید جنگل و ذخیره سوختنی محسوب می‌شود (۷). همچنین، اندازه‌گیری زی‌توده درخت در ارزیابی ساختار و شرایط جنگل کاربرد دارد (۱۱). دقیق‌ترین شیوه برای تخمین زی‌توده درخت، روشی است که در آن درخت را قطع و آن را به تفکیک اندام‌ها تقسیم، خشک و توزین می‌نمایند. برای پرهیز از قطع تمامی درختان یک توده و یا تعداد بسیار زیادی درخت، از روابط آلومتریک برای برآورد زی‌توده درخت براساس متغیرهایی مانند قطر برابر سینه، قطر تاج و غیره استفاده می‌شود (۲۲). روابط آلومتریک ابزار مفیدی برای برآورد زی‌توده

درختان می‌باشند (۳). روابط آلومتریک در واقع روشی است که در آن با استفاده از یک ویژگی، ویژگی‌های دیگر توصیف می‌شود. به این صورت که می‌توان با استفاده از متغیرهای مستقلی از درخت مانند قطر برابر سینه که اندازه‌گیری آن‌ها آسان است با صحت نسبی به ویژگی‌های بخش‌های مختلف درخت از جمله زی‌توده آن دست یافت (۱۳). تحقیقات انجام گرفته در برآورد زی‌توده جنگل و درخت از لحاظ روش‌های مورد استفاده و اهداف تحقیق، بسیار متنوع هستند. مدل‌های تجربی از طریق همبستگی‌های مشاهده شده به‌صورت تجربی، زی‌توده را برآورد می‌کنند. در حالی که، تحقیقات زیادی براساس تئوری‌های کلی و به‌صورت الگوهای آلومتریک در جنگل ارائه شده است (۱۶). نتایج پژوهش زیانیس و منساسینی (۲۰۰۴) نشان داد که مدل‌های توانی بهترین نوع مدل‌ها هستند که قطر برابر سینه در این مدل‌ها، یکی از مهمترین متغیرهای مستقل محسوب می‌شود (۲۲). کی‌روی و همکاران (۲۰۰۶)، نیز بهترین رابطه را برای گونه (*Rhizophora mucronata*) مدل رگرسیون توانی با استفاده از متغیر مستقل قطر برابر سینه معرفی کردند (۱۳). آگویلار و همکاران (۲۰۱۲)، مطالعه‌ای برای برآورد میزان زی‌توده روی زمین در اندام‌های مختلف توده‌های دو گونه بلوط با فرم شاخه‌زاد (*Quercus laeta* و *Quercus castanea*) در مناطق مرکزی مکزیک انجام دادند که معادلات توانی با متغیر قطر برابر سینه، برای برآورد

دریایی و سهرابی (۲۰۱۵)، در پژوهشی که در مورد درختان کم قطر ممرز، راش و انجیلی با استفاده از مدل رگرسیونی توانی انجام دادند، بهترین متغیر مستقل را قطر برابر سینه معرفی کردند (۸). نتایج مطالعه یوسفوند و همکاران (۲۰۱۷) برای برآورد زی توده گونه بلوط ایرانی نشان داد، بهترین مدل برای برآورد زی توده درخت بلوط، مدل رگرسیونی درجه ۲ بر مبنای قطر متوسط تاج بود ($R^2=0/927$) (۲۱). از آنجا که کشت درختان سریع‌الرشد صنوبر در منطقه بین جوامع محلی رواج داشته و به دلیل نزدیکی و در دسترس بودن بازارهای هدف در اصفهان، کرمانشاه و سایر استان‌های مجاور، با استقبال خوبی مواجه شده است، هدف کلی از مجموعه این پژوهش بررسی پیشنهاد مناسب‌ترین ارقام سریع‌الرشد این گونه در شرایط اقلیمی استان، در دوره‌های کوتاه‌مدت پنج ساله می‌باشد. هدف تحقیق پیش‌رو ارائه مدل‌های جدید آلومتریک تک گونه (species-specific allometric equation) با استفاده از متغیرهای بیوفیزیکی درختان برای برآورد آسان، غیرمخرب، کم‌هزینه و سریع زی توده کلن‌های مختلف صنوبر تاج باز و تاج بسته به منظور مدیریت صحیح و پیش‌بینی توان تولیدی در کلن‌های مختلف صنوبر است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: این پژوهش در توده‌های دست‌کاشت کلن‌های مختلف صنوبر، واقع در شمال شهرستان خرم‌آباد انجام شده است. ناحیه مورد نظر به مساحت ۳/۲ هکتار با مختصات جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۱ دقیقه و ۴۹ ثانیه طول شرقی و ۳۳ درجه و ۲۹ دقیقه و ۴ ثانیه عرض شمالی و ارتفاع ۱۱۵۰ متر از سطح دریا واقع است. آب و هوای خرم‌آباد از نوع سرد کوهستانی و متوسط بارندگی سالیانه، حدود ۵۱۰ میلی‌متر است. به علت وجود کوه‌های بلند و شکل

زی توده این درختان مناسب تشخیص داده شد (۱). نتایج پژوهش باوو هوی و همکاران (۲۰۱۶) در ویتنام برای دستیابی به مدل‌های مختلف رگرسیونی برای برآورد زی توده روی زمین در جنگل‌های گرمسیری نشان داد که استفاده از معادلات یکسان در مناطق مختلف، خطای برآوردی زیادی رو به دنبال دارد (۴). بندستو وارگاس لارتا و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای برای دستیابی به معادلات آلومتریک برای برآورد زی توده و ذخایر کربن در جنگل‌های معتدل شمال غربی مکزیک به این نتیجه رسیدند که استفاده از مدل رگرسیونی توانی بر حسب ارتفاع کل و مجذور قطر در ارتفاع برابر سینه امکان استقرار روابط آلومتریک مناسبتری را دارد (۵). در ایران نیز مطالعات متعددی در مورد روابط آلومتریک برای گونه درختی در رویشگاه‌های مختلف صورت گرفته است؛ اما برای گونه‌های تند رشد، از جمله صنوبر، مطالعات اندکی صورتی گرفته است. نتایج پژوهش بختیاروند بختیاری (۲۰۱۱) برای دستیابی به روابط آلومتریک دو گونه سوزنی برگ کاج (*Pinus eldaica*) و سرو نقره‌ای (*Cupressus arizonica*) و دو گونه پهن برگ شامل توت (*Morus alba*) و افاقیا (*Robinia Pseudoacacia*)، نشان داد در دو گونه سوزنی برگ، متغیر قطر برابر سینه و در دو گونه پهن برگ، دو متغیر قطر در ارتفاع ۰/۳ متری و ارتفاع، بیشترین همبستگی را با زی توده درخت داشت (۲). نتایج پژوهش سهرابی و شیروانی (۲۰۱۲) برای برآورد زی توده گونه بنه نشان داد، از بین متغیرهای مستقل، قطر تاج معادلاتی با شاخص‌های مدل‌سازی بهتر تولید می‌کند ($R^2=0/93$) (۱۷). واحدی (۲۰۱۴)، نیز در پژوهشی به منظور تبیین مدل‌های محاسباتی و بهینه زی توده تنه ممرز (*Carpinus betulus L.*) سه متغیر مستقل قطر برابر سینه، ارتفاع و سن را بکار برد که متغیر قطر برابر سینه بهترین برازش را داشت (۱۹).

نمونه‌ها با ترازویی با دقت یک گرم در عرصه توزین و برای محاسبه نسبت وزن خشک به وزن تر، به آزمایشگاه منتقل گردید. سپس نمونه‌ها در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند. (۱۶، ۱۹).

محاسبه وزن خشک (زی توده) اندام‌های درختی:

بعد از تعیین وزن خشک نمونه‌ها، وزن خشک هر اندام درخت با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد.

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

که در آن: WD_c وزن خشک هر جزء از درخت، WF_c وزن تر هر جزء درخت، WD_s وزن خشک هر نمونه و WF_s وزن تر هر کدام از نمونه‌ها است.

اعتبارسنجی مدل‌ها به روش‌های مختلف انجام می‌شود. برای ارزیابی و برازش مدل‌ها در این پژوهش، ۵۰ نمونه برداشت شده به روش جک نایف مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. با در اختیار داشتن مقادیر تخمینی (\hat{y}_i) و مقادیر حقیقی (y_i) با استفاده از معیار آماری، درصد میانگین خطا (ME%) و درصد میانگین مجذور مربعات خطا (RMSE%)، اعتبار مدل‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت.

$$ME = \sum_{i=1}^n [(\hat{y}_i - y_i)/n] \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$ME\% = \frac{ME}{\bar{y}} \times 100 \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{n}} \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$RMSE\% = \frac{RMSE}{\bar{y}} \times 100 \quad \text{رابطه (۵)}$$

N = تعداد داده‌های نمونه

\hat{y}_i = مقدار زی توده برآورد شده

y_i = مقدار زی توده اندازه‌گیری شده

\bar{y} = میانگین زی توده اندازه‌گیری شده

تجزیه و تحلیل

فرض نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بررسی و تأیید شد. برای مدل‌سازی داده‌ها نیز از ۴ مدل خطی (Linear)،

قرارگیری آن‌ها، اختلاف دما در طول شب و روز زیاد است. میانگین سردترین ماه سال ۹ درجه سلسیوس و میانگین گرم‌ترین ماه سال ۲۵ درجه سلسیوس است. اقلیم منطقه براساس طبقه‌بندی آمبرژه نیمه‌خشک می‌باشد (۱۸).

روش پژوهش

کلن‌های صنوبر در یک طرح بلوک کاملاً تصادفی که فاصله کاشت درختان صنوبر تاج باز در آن ۴×۴ متر و صنوبر تاج بسته ۳×۳ متر می‌باشد، در سال ۱۳۹۰، کشت شده‌اند. گونه‌های موردنظر در یک بازه زمانی ۶ ساله، در ۳ تکرار با ۱۰ تیمار متفاوت کشت شده‌اند. در این پژوهش پنج رقم صنوبر تاج باز (*P. deltoides*69/55، *P. deltoides*92/258، *P. euramericana*، *P. X. interamericanes*، *P. X. pachet*، *BL. castanzo*) و هفت رقم صنوبر تاج بسته (*P. nigra*49/23، *P. nigra*62/127، *P. nigra*42/54، *P. nugra*72/5، *P. nigra*42/53، *P. nigra*42/78، *P. nigra*56/72) انتخاب شد. ابتدا مشخصات کمی درختان سرپا از جمله قطر برابرینه، ارتفاع و قطر متوسط تاج (میانگین دو قطر بزرگ و کوچک تاج) هر یک از درختان اندازه‌گیری شد. سپس به روش تصادفی از هر بلوک تعدادی درخت انتخاب و مجموعاً ۵۰ اصله درخت قطع گردید. پس از قطع، قسمت‌های مختلف درخت، به صورت جداگانه به قطعات کوچکتر (تا حدی که قابل اندازه‌گیری و توزین باشند) تبدیل شدند. مجموع وزن تر تنه و تاج به صورت مجزا در عرصه تعیین شد. برای توزین بخش‌های مختلف درخت از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۱ کیلوگرم استفاده شد. از تنه درخت یک عدد دیسک به ضخامت ۵-۳ سانتی‌متر گرفته شد، همچنین از قسمت تاج به صورت تصادفی، یک تکه شاخه به طول ۱۰ سانتی‌متر جدا و

نتایج و بحث

اطلاعات توصیفی پایه‌های انتخاب شده در جدول ۱ آورده شده است.

توانی (Power)، نمایی (Exponential) و درجه ۲ (Quadratic) استفاده شد. در ابتدا مدل‌سازی حذف داده‌های پرت با توجه به ضریب تبیین زیاد متغیر قطر برابر سینه با وزن خشک کل درخت صورت گرفت.

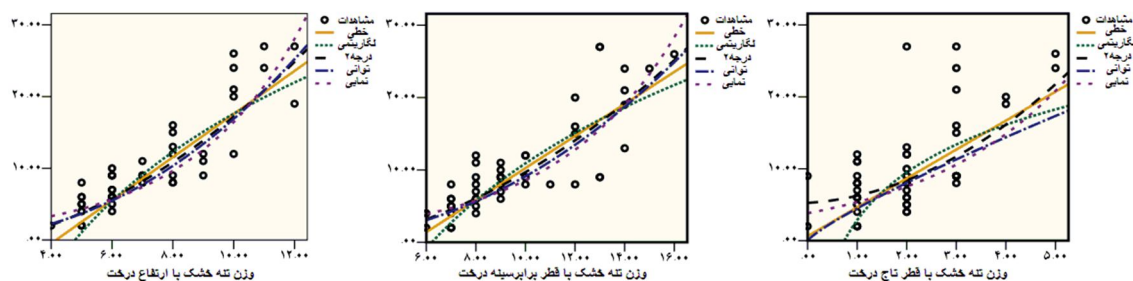
جدول ۱- اطلاعات توصیفی درختان بلوط استفاده شده برای تولید مدل.

Table 1. Descriptive statistics of Quercus trees used to develop models.

قطر متوسط تاج (m)			ارتفاع (m)		قطر در ارتفاع برابر سینه (cm)			
Crown Diameter			Height		Diameter at breast height			
بیشینه	میانگین	کمینه	بیشینه	میانگین	کمینه	بیشینه	میانگین	کمینه
Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min
5.7	2.53	0.95	12.5	7.62	4.8	16.24	10.37	6.05

نتیجه برازش ۵۰ نمونه موردنظر به منظور برآورد وزن خشک تنه درخت نشان داد که از مورد بررسی، ارتفاع درخت متغیر مناسب‌تری برای پیش‌بینی زی‌توده خشک تنه کلن‌های مختلف صنوبر است. به عبارت دیگر بهترین مدل به دست آمده مدل درجه ۲ بر حسب مبنای قطر برابر سینه درخت است. نتیجه تجزیه و تحلیل واریانس مدل و آزمون ضرایب به دست آمده نتایج معنی‌داری را نشان داد. همچنین مقدار $ME\%$ برابر با ۰/۱۵ و نتایج مربوط به درصد میانگین مجذور مربعات خطا ($RMSE\%$) در متغیر قطر برابر سینه نسبت به دو متغیر دیگر کمتر بود. مناسب‌ترین مقدار ضریب تبیین مدل، ۰/۶۴ محاسبه گردید (جدول ۳ و شکل ۲).

نتیجه برازش ۵۰ نمونه موردنظر به منظور برآورد وزن خشک تنه درخت نشان داد که از بین متغیرهای مورد بررسی، ارتفاع درخت متغیر مناسب‌تری برای پیش‌بینی زی‌توده خشک تنه کلن‌های مختلف صنوبر است. به عبارت دیگر بهترین مدل به دست آمده مدل درجه ۲ بر حسب مبنای ارتفاع درخت است. نتیجه تجزیه و تحلیل واریانس مدل و آزمون ضرایب به دست آمده معنی‌دار بود. همچنین نتایج مربوط به درصد میانگین مجذور مربعات خطا ($RMSE\%$) در متغیر ارتفاع درخت، نسبت به دو متغیر دیگر کمتر و مقدار $ME\%$ برابر با ۱/۹۲ بود. ضریب تبیین مدل ۰/۷۹ اندازه‌گیری شد (جدول ۲ و شکل ۱).



شکل ۱- پراکنش ابر نقاط و منحنی برازش داده شده ۵۰ نمونه برای برآورد زی‌توده خشک تنه با سه متغیر مستقل (قطر تاج، قطر برابر سینه، ارتفاع)

Figure 1. Distribution of point cloud for 50 sample trees were used to estimate biomass trunk trees with three independent variables (Crown Diameter, Diameter at breast Height, Height).

جدول ۲- نتیجه تحلیل رگرسیونی برای تعیین مدل برآورد زی‌توده تنه درخت بر حسب کیلوگرم در کلن‌های صنوبر دست‌کاشت در منطقه باغ فلاحه شهرستان خرم‌آباد در سطح احتمال ۰/۹۵ درصد.

Table 2. Results of regression for selecting the model estimating biomass trunk trees (kg) of planted Poplar in Flahhat garden in Khorramabad ($p < 0.05$).

معادله Equation	درصد میانگین مجذور مربعات خطا RMSE%	درصد میانگین خطا ME%	انحراف معیار مدل Std.Error	تحلیل واریانس F	ضریب تبیین R ²	نوع مدل Type model	متغیر مستقل Independent variable
$Y=4/01x+0/62$	40.73	0.21	4.81	47.06	0.49	خطی Linear	
$Y=4/49x^{0/83}$	53.17	10	0.49	28.55	0.37	توانی Power	قطر تاج (m)
$Y=3/82e^{0/33x}$	49.57	92.28	0.47	34.53	0.41	نمایی Exponential	Crown Diameter
$Y=0/57x^2+0/41x+5/27$	38.45	11.26	4.76	25.13	0.51	درجه ۲ Quadratic	
$Y=2/21x-11/88$	18.23	0.27	3.62	118.16	0.71	خطی Linear	
$Y=0/06x^{2/13}$	21.79	15.08	0.34	111.43	0.69	توانی Power	قطر برابر سینه Diameter at breast height
$Y=1/17e^{0/19x}$	23.29	16.57	0.35	101.55	0.67	نمایی Exponential	(Cm)
$Y=0/095x^2+0/10x-0/85$	18.09	0.27	3.62	60.19	0.71	درجه ۲ Quadratic	
$Y=3x-12/51$	12.77	0.49	3.05	188.06	0.78	خطی Linear	
$Y=0/10x^{2/19}$	14.67	10.89	0.30	157.71	0.76	توانی Power	ارتفاع درخت (m)
$Y=1/14e^{0/26x}$	16.95	17.13	0.31	139.28	0.74	نمایی Exponential	Height
$Y=0/16x^2+0/24x-1/51$	11.86	1.92	3.01	97.62	0.79	درجه ۲ Quadratic	

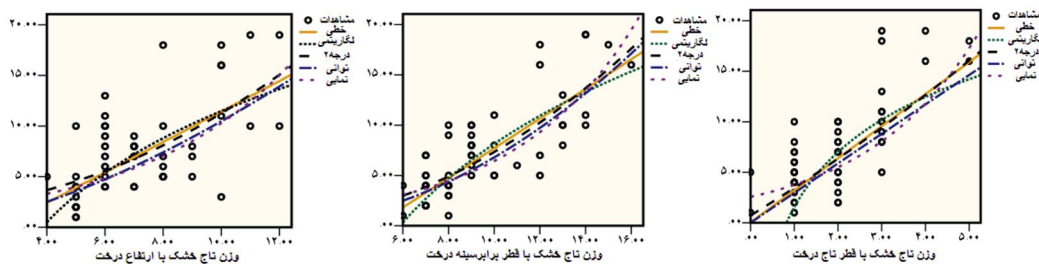
Y وزن خشک تنه به کیلوگرم، X متغیر مستقل، R² ضریب تبیین تطبیق یافته، F آماره تحلیل واریانس، Std.Error انحراف معیار مدل، ME% درصد میانگین خطا، RMSE% درصد میانگین مجذور مربعات خطا

جدول ۳- نتیجه تحلیل رگرسیونی برای تعیین مدل برآورد زی توده تاج درخت بر حسب کیلوگرم در کلن های صنوبر دست کاشت در منطقه باغ فلاحت شهرستان خرم آباد در سطح احتمال ۰/۹۵ درصد.

Table 3. Results of regression for selecting the model estimating biomass Crown trees (kg) of planted Poplar in Flahhat garden in Khorramabad ($p < 0.05$).

معادله Equation	درصد میانگین مجذور مربعات خطا RMSE%	درصد میانگین خطا ME%	انحراف معیار مدل Std.Error	تحلیل واریانس F	ضریب تیین R ²	نوع مدل Type model	متغیر مستقل Independent variable
$Y=3/17x+0/04$	37.92	0.11	2.92	79.90	0.62	خطی Linear	قطر تاج (m) Crown Diameter
$Y=2/95x^{0/99}$	39.06	8.47	0.46	44.84	0.48	توانی Power	
$Y=2/56e^{0/38x}$	39.36	12.08	0.46	45.94	0.48	نمایی Exponential	
$Y=0/08x^2+2/64x+0/72$	37.73	0.6	2.94	39.27	0.62	درجه ۲ Quadratic	
$Y=1/47x-7/02$	26.09	0.3	2.87	83.86	0.63	خطی Linear	قطر برابر سینه Diameter at breast height (Cm)
$Y=0/074x^{1/96}$	35.31	7.22	0.43	57.42	0.54	توانی Power	
$Y=1/01e^{0/18x}$	36.39	7.6	0.44	56.10	0.53	نمایی Exponential	
$Y=0/062x^2+0/096x+0/16$	25.36	0.15	2.87	42.31	0.64	درجه ۲ Quadratic	
$Y=1/50x-3/59$	50.16	0.27	3.68	32.40	0.40	خطی Linear	ارتفاع درخت (m) Height
$Y=0/29x^{1/55}$	55.66	1.17	0.52	26.20	0.35	توانی Power	
$Y=1/55e^{0/18x}$	56.26	12.07	0.52	25.20	0.34	نمایی Exponential	
$Y=1/80x^2+0/08x+3/70$	50.49	13.56	3.70	16.16	0.40	درجه ۲ Quadratic	

Y وزن خشک تنه به کیلوگرم، X متغیر مستقل، R² ضریب تبیین تطبیق یافته، F آماره تحلیل واریانس، Std.Error انحراف معیار مدل، ME% درصد میانگین خطا، RMSE% درصد میانگین مجذور مربعات خطا.



شکل ۲- پراکنش ابر نقاط و منحنی برازش داده شده ۵۰ نمونه برای برآورد زی توده خشک تاج با سه متغیر مستقل (قطر تاج، قطر برابر سینه، ارتفاع).

Figure 2. Distribution of point cloud for 50 sample trees were used to estimat biomass crown trees with three independent variables (Crown Diameter, Diameter at breast Height, Height).

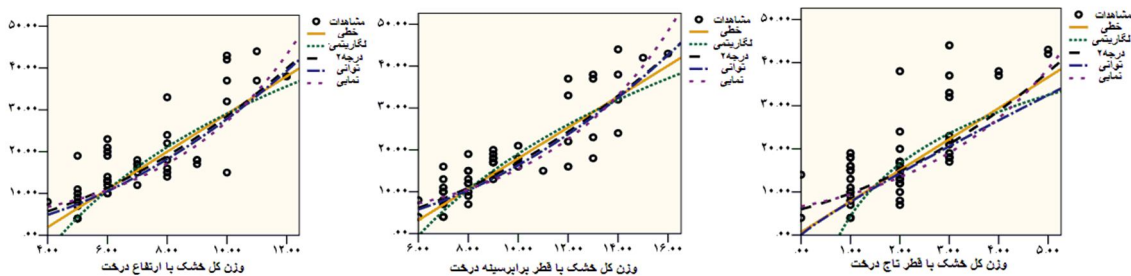
نتیجه برازش وزن خشک کل درخت نشان داد که از بین متغیرهای مورد بررسی، قطر برابر سینه درخت متغیر مناسب‌تری برای پیش‌بینی زی‌توده خشک کل کلن‌های مختلف صنوبر است. به عبارت دیگر بهترین مدل به دست آمده مدل درجه ۲ بر حسب مبنای قطر برابر سینه درخت است. نتیجه تجزیه و تحلیل واریانس مدل و آزمون ضرایب به دست آمده نتایج معنی‌داری را نشان داد. همچنین نتایج مربوط به درصد میانگین مجذور مربعات خطا (RMSE%) در متغیر قطر برابر سینه نسبت به دو متغیر دیگر کمتر بود. ضریب تبیین بهترین مدل حاصله، ۰/۸۱ و مقدار درصد میانگین خطا ۴/۲ درصد به دست آمد (جدول ۴ و شکل ۳).

جدول ۴- نتیجه تحلیل رگرسیونی برای تعیین مدل برآورد زی‌توده درخت بر حسب کیلوگرم در کلن‌های صنوبر دست‌کاشت در منطقه باغ فلاح شهرستان خرم‌آباد در سطح احتمال ۰/۹۵ درصد.

Table 4. Results of regression for selecting the model estimating biomass trees (kg) of planted Poplar in Flahhat garden in Khorramabad (p<0.05).

معادله Equation	درصد میانگین مجذور مربعات خطا RMSE%	درصد میانگین خطا ME%	انحراف معیار مدل Std.Error	تحلیل واریانس F	ضریب تبیین R ²	نوع مدل Type model	متغیر مستقل Independent variable
Y=7/19x+0/66	26.17	0.21	6.52	82.22	0.63	خطی Linear	
Y=7/71x ^{0/89}	40.33	7.46	0.41	46.89	0.49	توانی Power	قطر تاج (m) Crown Diameter
Y=6/63e ^{0/35x}	37.26	6.77	0.39	53.47	0.52	نمایی Exponential	
Y=0/66x ² +3/05x+5/98	25.11	0.16	6.48	42.28	0.64	درجه ۲ Quadratic	
Y=68/3x-18/9	11.01	35.16	4.98	175.14	0.79	خطی Linear	قطر برابر سینه Diameter at breast height (Cm)
Y=0/14x ^{2/03}	16.42	11.02	0.29	139.26	0.74	توانی Power	
Y=2/30e ^{0/19x}	17.57	12.14	0.30	127.27	0.72	نمایی Exponential	
Y=0/15x ² +0/20x-0/71	9.43	4.2	4.93	90.38	0.81	درجه ۲ Quadratic	
Y=4/51x-16/12	18.67	0.08	5.74	119.78	0.71	خطی Linear	
Y=0/35x ^{1/89}	23.67	6.13	0.33	96.88	0.66	توانی Power	ارتفاع درخت (m) Height
Y=2/69e ^{0/23x}	24.25	6.29	0.33	90.23	0.65	نمایی Exponential	
Y=0/24x ² +0/41x+0/19	17.08	0.69	5.72	61.06	0.72	درجه ۲ Quadratic	

Y وزن خشک تنه به کیلوگرم، X متغیر مستقل، R² ضریب تبیین تطبیق یافته، F آماره تحلیل واریانس، Std.Error انحراف معیار مدل، ME% درصد میانگین خطا، RMSE% درصد میانگین مجذور مربعات خطا.



شکل ۳- پراکنش ابر نقاط و منحنی برازش داده شده ۵۰ نمونه برای برآورد زی توده خشک درخت با سه متغیر مستقل (قطر تاج، قطر برابرسینه، ارتفاع).

Figure 3. Distribution of point cloud for 50 sample trees were used to estimat biomass trees with three independent variables (Crown Diameter, Diameter at breast Height, Height).

همکاران (۲۰۰۱) و ریبرو و همکاران (۲۰۱۱) اشاره کرد. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد، علاوه بر این که اندازه‌گیری ارتفاع نسبت به قطر برابرسینه سخت‌تر بوده، از دقت کمتری هم برخوردار است (۱۶، ۱۲). در معادلات آلومتریک نیز ارتفاع همبستگی کمتری با زی توده دارد؛ اگرچه تا حدی باعث بهبود مدل‌ها می‌شود، اما تأثیرات آن بسیار ناچیز است. با توجه به نتایج جدول (۳) که مربوط به وزن تاج خشک درخت می‌باشد، دقت برازش داده‌ها با استفاده از متغیر ارتفاع درخت بسیار کمتر از دو متغیر دیگر می‌باشد. در این پژوهش مقدار وزن زی توده خشک تنه برای کلن‌های صنوبر تاج باز و تاج بسته برابر با ۶۱/۱۹ درصد و زی توده خشک تاج ۳۸/۸ درصد اندازه‌گیری شد. احتمالاً زیاد بودن مقدار درصد وزن خشک تنه نسبت به تاج سبب شد وزن خشک کل درخت با قطر برابرسینه رابطه قوی‌تری داشته باشد. این درحالیست که در مقایسه با پژوهش سهرابی و شیروانی (۲۰۱۲) که بر روی گونه بنه (*Pistacia atlantica var. mutica*) انجام دادند، وزن خشک تاج به‌طور متوسط ۶۰ درصد وزن خشک کل درخت را تشکیل داد که موجب شد وزن خشک کل با قطر تاج رابطه قوی تری برقرار کند (۱۷). دست کاشت بودن درختان و یکنواخت بودن رقابت نوری به دلیل فواصل کشت یکسان، بین

اندازه‌گیری و برآورد زی توده گیاهان، به‌ویژه زی توده درختان، یکی از نیازهای اساسی در برنامه‌ریزی‌های مدیریتی جنگل و بررسی جریان انرژی در بوم‌سازگان جنگل به حساب می‌آید. طی سال‌های اخیر این موضوع مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است (۹). در این پژوهش برای به‌دست آوردن بهترین مدل رگرسیونی و تعیین مناسب‌ترین متغیر جهت برآورد زی توده کلن‌های مختلف صنوبر، از سه متغیر مستقل درخت که به راحتی قابل اندازه‌گیری می‌باشند استفاده شد و نتایج به‌دست آمده با یکدیگر مقایسه گردید. طبق نتایج به‌دست آمده از جداول (۲، ۳، ۴) بهترین مدل رگرسیونی مدل درجه ۲ و مناسب‌ترین متغیر قطر برابرسینه و سپس ارتفاع کل معرفی شد. در تحقیقات زیادی (۳، ۱۵) به این نتیجه رسیده‌اند که در میان متغیرهای مستقل مدل‌های آلومتریک، معمولاً قطر برابر سینه، مهم‌ترین متغیر محسوب می‌شود؛ چرا که همبستگی خیلی زیادی با زی توده داشته و اندازه‌گیری آن نسبت به دیگر متغیرهای مستقل آسان‌تر است (۱۶). اگر چه قطر یک مشخصه پیش‌بینی کننده وسیع برای اندازه‌گیری زی توده است اما باید به نوع استفاده آن در معادلات دقت کرد. در خصوص این موضوع می‌توان به تحقیقات مختلف از جمله کتیرینگس و

عنوان متغیرهای برآوردکننده برای برآورد زی‌توده درختان صنوبر مقایسه شدند. نتایج این پژوهش نشان داد که از بین مدل‌های رگرسیونی، مدل درجه ۲، بر حسب متغیر قطر برابر سینه، امکان استقرار روابط آلومتریک مناسب برای زی‌توده کلن‌های صنوبر را دارد. با توجه به نتایج که برازش مدل‌ها را نشان می‌دهد متغیر مستقل قطر برابر سینه در متغیرهای وابسته زی‌توده تاج و کل درخت، دارای پراکنش مناسب و نیز دارای حداقل میزان مربعات خطا نسبت به ارتفاع و قطر تاج درخت است. این امر حاکی از آن است که تنه درختان این گونه، بیشترین زی‌توده هوایی مربوط به یک درخت را به خود اختصاص داده است (۱۰). بنابراین می‌توان گفت که روابط آلومتریک به شدت تحت تأثیر توده جنگلی و گونه‌های موجود در منطقه هستند و برای هر منطقه باید به صورت جداگانه محاسبه و استفاده شوند. با تکرار این پژوهش نسبت به سایر گونه‌ها در رویشگاه‌های مختلف، می‌توان به صحت و دقت آن در برآورد میزان زی‌توده اندام‌های سایر درختان پی برده و از این روابط، جهت برآورد زی‌توده درختان صنوبر دست‌کاشت استفاده نمود.

آن‌ها باعث شده که تنه درختان صنوبر حالت پارابلوئیدی یا کشیده پیدا کنند. این عامل نیز در زیاد بودن ضریب تبیین متغیر قطر برابر سینه نسبت به دو متغیر دیگر موثر بود. با توجه به نتایج جداول (۴، ۳، ۲) مدل درجه ۲، بر مبنای متغیر قطر برابر سینه در زی‌توده خشک تاج و کل درخت، نسبت به سایر مدل‌ها دارای خطای برآوردی کمتر و همچنین دارای دقت محاسباتی بیشتر و برازش بهتری می‌باشد. دو متغیر دیگر قطر تاج و ارتفاع درخت دارای دقت محاسبات قابل ملاحظه‌ای نمی‌باشد و اهمیت تأثیرگذاری ارتفاع در افزایش دقت محاسبات ناچیز است. نتایج پژوهش ناوار در سال ۲۰۰۹ نشان داد که روابط آلومتریک تنها با قطر برابر سینه به عنوان یک متغیر مستقل در اندازه‌گیری زی‌توده ارتباط دارد (۱۴).

نتیجه‌گیری کلی

در پژوهش حاضر، تبیین مدل‌های محاسباتی زی‌توده درخت صنوبر با استفاده از مدل‌سازی آلومتریک و استفاده از متغیرهای مختلف شامل قطر در ارتفاع برابر سینه، ارتفاع درخت و قطر تاج به

منابع

1. 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.
2. Bakhtiarvand Bakhtiari, S. 2011. Assessment of carbon estimation methods for conifers and roadleaves trees in Mobarake Steel plantation. M.Sc. Thesis, Faculty of Natural Resources and Earth Science, Shahrekord University, I.R. Iran, 112p.
3. Basuki, T.M., Van Laake, P.E., Skidmore, A.K., and Hussin, Y.A. 2009. Allometric equations for estimating the above-ground biomass in tropical lowland Dipterocarp forests. *Forest Ecology and Management*, 257(8): 1684-1694.
4. Bao Huy, Krishna P., Poudel, Karin Kralicek, Nguyen Dinh Hung, Phung Van Khoa, Vu Tan Phuong and Hailemariam Temesgen. 2016. Allometric Equations for Estimating Tree Aboveground Biomass in Tropical Dipterocarp Forests of Vietnam. *Forests* 2016, 7, 180: 1-19.
5. Benedicto Vargas-Larreta, Carlos Antonio López-Sánchez, José Javier Corral-Rivas, Jorge Omar López-Martínez, Cristóbal Gerardo Aguirre-Calderón and Juan Gabriel Álvarez-

- González, 2017. Allometric Equations for Estimating Biomass and Carbon Stocks in the Temperate Forests of North-Western Mexico. *Forests* 2017, 8, 269: 1-20.
6. Cai, S., Kang, X., and Zhang, L. 2013. Allometric model for aboveground biomass of ten tree species in northeast China. *Ann. For. Res.* 56(1): 105-122.
 7. Chambers, J.Q., Santon., J.S., Ribeiro, R.J., and Higuchi, N. 2001. Tree damage, allometric relationship, and above-ground net primary production in central Amazon forests, *Forest Ecology and Management*, 152(1-3): 73-48.
 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. *J. of Wood and Forest Science and Technology*, 22(2): 137-150.
 9. Heidari Safari Koochi, A., Rostami Shahraji, T., Iranmanesh, Y., and Moradianfard, F. 2016. comparison of product, biomass and kinds of wood consumption of white poplar (*Populus alba L.*) in four plant spacing. *Iranian Journal of Forest*, 8(2): 141-152.
 10. Henry, M., A. Besnard, W.A. Asante, J. Eshun, S. Adu- Bredu, R. Valentini, M. Bernoux, and L. Saint- Andre, 2010. Wood density, phytomass variations within and among trees, and allometric equations in a tropical rainforest of Africa. *Forest Ecology and Management*, 260: 1375- 1388.
 11. Houghton, R.A., and Goodale, C.L. 2004. Effects of land- use change on the carbon balance of terrestrial ecosystems. In: DeFries, R., Asner, G., and Houghton, R.A. (Eds), *Ecosystems and Land use Change*. American Geophysical union, 85-98.
 12. Ketterings, Q.M., Coe, R., Noordwijk, M.V., Ambagau, Y., and 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.
 13. Kirui, B., Kairo, J.G., and Karachi, M. 2006. Allometric Equations for Estimating above Ground Biomass of *Rhizophora mucronata* Lamk. (*Rhizophoraceae*) Mangroves at Gazi Bay, Kenya. *Western Indian Ocean Journal of Marine Science*, 5(1): 27-34.
 14. Navar, J. 2009. Allometric equations for tree species and carbon stocks for forest of northwestern Mexico, *Forest Ecology and Management*, 257: 427-434.
 15. Parsapour, M.K., Sohrabi, H., Solati, A., and 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): 517-529.
 16. Ribeiro, S., Fehrmann, L., Pedro Boechat soares, C., Antonio Goncalves Jacovine, L. Kleinn, C., and de Oliveira Gaspar, R. 2011. Above- and belowground biomass in a Brazilian Cerrado, *Forest Ecology and Management*, 262(3): 491-499.
 17. Sohrabi, H., and Shirvani, A. 2012. Allometric equations for estimating above ground biomass of Atlantic pistachio (*pistacia atlantica* var. *mutica*) in Khojir National park. *Iranian Journal of Forest*, 4(1): 55-64.
 18. Soosani, J., and Ostakh, E. 2014. The diameter increment analysis of *pinus brutia* ten. Along the stem in Khorramabad. *Journal of Forest Sustainable Development*, Volume 1. 16-27.
 19. Vahedi, A.A. 2014. Optimal Allometric biomass equations for Hornbeam (*carpinus betulus*. L) boles Within the Hyrcanian forests. *Iranian Journal of forest and poplar Research*. 22(2): 226-236.
 20. Yousefi, B. 2012. Frequency analysis in the wood production of different poplars (*Populus* spp.) in Sanandaj. *Iranian Journal of Forest and Populur Research*. 19. 544-561.
 21. YousofvandMofrad, M., Soosani, J., Ostakh, E., and Hosseinzadeh, R. 2017. Estimate the above ground biomass in Brant's oak (*Quercus brantii* Lindl.)(Case Study: Region Melah-Shbanan Khorramabad). *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 24(4): 163-172.
 22. Zianis, D., and Mencuccini, M. 2004. On simplifying allometric analyses of forest biomass, *Forest Ecology and Management*. 187: 311–332.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 25 (2), 2018

<http://jwfst.gau.ac.ir>

DOI: DOI: 10.22069/jwfst.2018.14826.1738

Estimating above-ground woody biomass of planted Poplar using Allometric models

M. Yousofvand Mofrad¹, *J. Soosani², R. Akhavan³, K. Abrari Vajari⁴,
E. Sepahvand⁵ and F. Jahanpour⁵

¹M.Sc. Candidate of Forestry, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, ²Assistant Prof., Dept., of Forestry, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, ³Associate Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization, Tehran, ⁴Assistant Prof., Dept., of Forestry, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, ⁵M.Sc. Candidate of Forestry, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad

Received: 03/04/2018; Accepted: 08/06/2018

Abstract

Background and objectives: Measurement of tree biomass is considered as an important indicator for valuation of ecological and economical processes. One of the traditional models for estimating trees biomass is allometric models. The purpose of the present study is determining allometric models for assessing biomass of planted Poplar clones in Flahhat garden in Khorramabad, Lorestan.

Materials and methods: First, the quantitative features of trees such as height, DBH and crown diameter were measured. Then, The sampling was done via randomized blocks method and a total of 50 trees were felled. A disc from the trunk and the crown of each tree was cut off at a thickness of 5-7cm and simultaneously weighed in the site. The samples were transferred to the laboratory and placed in an oven at 105 °C for 24 hours. Using the dry weight/ fresh weight ratio, the dry weight of the crown, trunk, and ultimately above-ground woody biomass was calculated.

Results: The results of regression models showed that the independent variable of DBH produced better models for dry matter biomass of tree and crown, while in the dry matter biomass of the trunk, the tree height was better. For data validation of each model, the mean square error was obtained. The lowest value for this model was for a second-degree model in terms of the independent variable of diameter at breast height (RMSE%=9/43, R²=0/79).

Conclusion: The results showed due to the high amount of a coefficient of determination in the second-order model compared to other models; this model provided an opportunity to determine more suitable allometric relationships for these colonies.

Keywords: Khoram Abad, Allometric model, Biomass, Poplar

*Corresponding author: soosani.j@lu.ac.ir