

## مدل سازی زی توده تنه گونه راش (*Fagus orientalis* Lipsky) با استفاده از معادلات آلومتریک در جنگل های هیرکانی

علی اصغر واحدی<sup>۱\*</sup>، اسداله متاجی<sup>۲</sup>، ساسان بابایی کفاکی<sup>۳</sup>، جواد اسحاقی راد<sup>۴</sup> و سیدمحمد حجتی<sup>۵</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری جنگلداری دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

<sup>۲</sup> دانشیار گروه جنگلداری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

<sup>۳</sup> استادیار گروه جنگلداری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

<sup>۴</sup> استادیار گروه جنگلداری دانشگاه ارومیه

<sup>۵</sup> استادیار گروه جنگلداری دانشگاه ساری

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۷/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۱/۲۳)

### چکیده

اندازه گیری زی توده خشک یکی از راه های مؤثر برای برآورد ذخیره کربن یا انتشار کربن در اتمسفر در پی افزایش گرمایش زمین است. از این رو هدف این تحقیق مدلسازی معادلات مختلف کاربردی به منظور افزایش دقت اندازه گیری زی توده تنه گونه راش در جنگل های شمال ایران است. در این تحقیق با پشتیبانی دستگاه های اجرایی منابع طبیعی، ۲۱ اصله تنه درخت راش در پارسل های شماره دو و چهار سری سه گلندرود نور پس از قطع و تبدیل توزین شده و از انتهای ۵-۲ متری بخش های تبدیل شده تنه، یک نمونه دیسک به ضخامت دو سانتی متر برای تعیین ضریب خشکی و چگالی خشک چوب برداشت شد. قطعات تکه برداری شده از دیسک پس از توزین، در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد در آن خشک شدند تا به وزن ثابت برسند. سپس برای مدلسازی از سه متغیر قطر برابر سینه، ارتفاع تنه و چگالی خشک استفاده شد. بر اساس نتایج، از میان مدل های مختلف، ترکیب مربع قطر برابر سینه و ارتفاع تنه  $(DBH^2 \times H)$  به عنوان متغیر مستقل بهترین مدل آلومتریک را ارائه کرد. از بین همه مدل های آلومتریک معرفی شده به ترتیب مدل های توانی با استفاده از قطر برابر سینه  $(R^2_{adj} = 0.922; SEE = 0.241)$  و لگاریتمی مبتنی بر متغیرهای ترکیبی (مربع قطر برابر سینه و ارتفاع تنه) با حداکثر دقت، بهترین برازش را نشان دادند  $(R^2_{adj} = 0.993; SEE = 0.072)$ . در نهایت مدل آلومتری ارائه شده برای محاسبه زی توده تنه گونه راش در منطقه مورد مطالعه  $Y = \exp[-3/436 + 0/977 \ln(dbh^2 \times h)]$  معرفی شد که متعاقباً کاهش محاسباتی حاصل از تبدیل مدل لگاریتمی مذکور با اعمال ضریب تصحیح  $(CF = 1/0.02)$  در رابطه ارائه شده برطرف می شود.

واژه های کلیدی: برازش، راش، زی توده خشک، معادلات آلومتریک.

## مقدمه و هدف

گرمایش جهانی از مهم‌ترین چالش‌های محیط زیستی عصر حاضر است (Xiaonan *et al.*, 2008). افزایش گازهای گلخانه‌ای و به‌خصوص افزایش دی-اکسیدکربن در اتمسفر، یکی از دلایل افزایش درجه حرارت کره زمین محسوب می‌شود (ESA, 2000; Han *et al.*, 2005; Li and Tang, 2006). به همین دلیل در زمینه افزایش ذخیره جهانی کربن در اکوسیستم‌های جنگلی اهمیت زیادی می‌توان قائل شد که البته با اندازه‌گیری مقدار زی توده جنگل به نوعی می‌توان به مقدار انتشار کربن در اتمسفر پی‌برد (Cerruto Ribeiro *et al.*; Houghton *et al.*, 2009; *al.*, 2011). جنگل‌های طبیعی شمال ایران از مهم‌ترین ذخایر ژنتیکی بیوسفر زمین به‌شمار می‌روند و با قدمتی بیش از یک میلیون سال، جزء جنگل‌های طبیعی و کهن جهان محسوب می‌شوند (کیادلیری و همکاران، ۱۳۹۰؛ مروی مهاجر، ۱۳۸۴). با این اوصاف، جنگل‌های مذکور از مهم‌ترین و بزرگ‌ترین ذخایر کربن جهان هستند که سهم زیادی در ترسیب کربن اتمسفری دارند. برای اندازه‌گیری زی توده هوایی می‌توان از دو روش غیرتخریبی و تخریبی استفاده کرد (Henry *et al.*, 2010). بی شک وزن کردن درختان در عرصه برای اندازه‌گیری زی توده از دقیق‌ترین روش‌ها است، ولی این کار مستلزم صرف هزینه زیادتر، وقت بیشتر و استفاده از روش‌های تخریبی است و از طرفی اغلب مختص درختان کوچک‌تر و مناطقی با سطوح محدود و کوچک است (Ketterings *et al.*, 2001). برآورد زی توده به روش‌های غیرتخریبی اغلب توسط میانگین معادلات متغیرهایی از درخت مثل قطر برابرسینه که به‌سهولت قابل اندازه‌گیری است صورت می‌پذیرد (Singh *et al.*, 2011; Ramon Aboal *et al.*, 2005; Rubio *et al.*, 2011). معادلات یا رگرسیون‌های به‌کاررفته برای تخمین زی توده به‌منظور تخمین موجودی کربن در اکوسیستم‌های جنگلی، مدل‌های

آلومتريک نام دارند. مدل‌های آلومتريک در حقیقت معادلاتی تجربی بین زی توده و متغیرهایی (مثل قطر برابرسینه) است که به سهولت قابل اندازه‌گیری هستند (Ketterings *et al.*, 2001). به‌عبارت درست‌تر، معادلات آلومتريک عبارتند از رابطه بین زی توده درختان و برخی ویژگی‌های بیوفیزیکی<sup>۱</sup> درختان از قبیل قطر برابرسینه و ارتفاع تنه درختان که قابلیت تجاری دارند (Basuki *et al.*, 2009). البته مدل‌هایی که علاوه بر قطر و ارتفاع، چگالی چوب را نیز مدنظر قرار می‌دهند، از دیگر موارد دقیق‌ترند (Alvarez *et al.*, 2012). زیرا چگالی چوب در حقیقت علاوه بر وزن مخصوص اجزای درختان، تغییرات ساختاری درخت را نیز تا حدی نشان می‌دهد (Cerruto Ribeiro *et al.*, 2011; Henry *et al.*, 2010; *al.*, 2010). معادلات آلومتريک اغلب به هر یک از گونه‌های موجود یا گروهی از گونه‌های موجود مربوط می‌شوند (Cerruto Ribeiro *et al.*, 2011). بیشتر تحقیقات به این نتیجه رسیده‌اند که معادلات آلومتريک مربوط به هر تک‌گونه<sup>۲</sup> سبب بهبود تخمین زی توده و برآورد موجودی کربن در جنگل می‌شوند و از دقت زیادی برخوردارند (Ketterings, *et al.*, 2001; Pilli *et al.*, 2006; Henry *et al.*, 2010; Cole & Ewel, 2006; Basuki *et al.*, 2009; Navar, 2009)، چرا که درختان گوناگون از گونه‌های مختلف، شکل ظاهری و چگالی چوب متفاوتی دارند (Ketterings *et al.*, 2001). در جنگل‌های شمال ایران به‌دلیل اینکه تا کنون تحقیقات وسیعی در زمینه مدل‌های آلومتريک در سطح حوضچه‌های بزرگ کربن اعم از درختان آشکوب فوقانی و حتی تحتانی صورت نگرفته است، بنابراین هدف تحقیق حاضر، تعیین و بسط مدل‌های آلومتريک مختص به تک‌گونه است تا بتوان به نتایجی درست، با حداکثر دقت دست یافت. البته در مورد یکی از مهم‌ترین تحقیقات صورت‌گرفته در جنگل‌های شمال کشور در

1. Biophysics

2. Species- specific equation

نیز قرار دارند، به‌جای روش‌های تخریبی می‌تواند بسیار مفید واقع شود (Vann et al., 1998). بر این اساس، تحقیق حاضر گامی مؤثر در تحقیقات آتی با هدف گسترش معادلات آلومتریک درختان جنگل‌های شمال ایران خواهد بود و به کمک آن می‌توان به اهمیت و سهم گونه‌های درختی جنگل‌های شمال در کاهش کربن اتمسفر و کاهش گرمایش جهانی پی برد.

### مواد و روش‌ها

#### - منطقه مورد مطالعه

این تحقیق در سری سه جنگل‌های گلندرود نور واقع در حوضه آبخیز ۴۸ جنگل‌های شمال ایران صورت گرفته است. مساحت کل سری ۱۵۲۱ هکتار است و محدوده این سری، معروف به سری سه سرگلند، بین عرض‌های جغرافیایی  $30^{\circ} 27' 36''$  و  $15^{\circ} 32' 36''$  و طول‌های جغرافیایی  $25^{\circ} 53' 51''$  و  $25^{\circ} 57' 51''$  استوار دارد. محدوده ارتفاع از سطح دریا در این سری بین ۹۴۰ تا ۱۵۲۰ متر است که گونه راش به‌صورت آمیخته با بلوط، ممرز، پلت و نمدار پراکنش دارد. محدوده‌های نمونه‌برداری برای توزین درختان راش از پارسل‌های دو و چهار این سری است که عملیات قطع در آنها با استفاده از دستگاه‌های اجرایی در بهمن ۱۳۸۹ صورت گرفت. جهت‌های عمومی در کل سری غربی و جنوب غربی است، بیشترین شیب منطقه در برخی نقاط تا ۸۰ درصد نیز می‌رسد. همچنین سنگ مادری آهک-مارن بوده و تیپ خاک نیز قهوه‌ای جنگلی تا راندزین است (بی نام، ۱۳۸۷). برای دریافت اطلاعات هواشناسی منطقه مورد نظر به‌طور مستقیم از جدیدترین اطلاعات به دست آمده در نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی واقع در شهرستان نوشهر استفاده شد. آمار دریافتی طی ۳۰ سال گذشته نشان داد میانگین بیشینه و کمینه دما به‌ترتیب در اواسط مرداد تا اواخر شهریور ۲۸/۸ و در ماه بهمن به میزان

این زمینه می‌توان به تحقیق کبیری کوپایی (۱۳۸۷) در مورد مقایسه جنگل راش خالص با آمیخته از نظر ترسیب کربن بخش چوبی در اندام‌های هوایی اشاره کرد که طی آن با استفاده از نمونه‌برداری تخریبی درختان راش و ممرز، با توزین مستقیم سرشاخه‌ها و برگ‌ها و تعیین جرم حجمی نمونه‌های گرفته‌شده از درختان قطع‌شده مقدار زی‌توده خشک و معادلات آلومتریک برای گونه راش و ممرز به تفکیک موجودی حجمی و وزنی کلیه درختان در سطح توده تعیین شد. درختان انتخاب شده در تحقیق حاضر نیز از گونه راش هستند. گونه راش در جنگل‌های شمال به‌عنوان یکی از گونه‌های اصلی و کلیماکس به‌صورت خالص یا آمیخته، راشستان‌های شمال ایران را تشکیل می‌دهد (مروی مهاجر، ۱۳۸۴). از این‌رو با توجه به اهمیت ارزش اقتصادی، اکولوژیکی و پراکنش آن در جنگل‌های شمال، با اندازه‌گیری مقدار زی‌توده آن می‌توان به نوعی سهم این گونه با ارزش را در موجودی ذخیره کربن در جنگل‌های شمال ایران و به دنبال آن در عرصه جهانی دریافت. در این تحقیق بیشتر تنه درختان راش ارزیابی شد و از سایر اجزای درختان صرف‌نظر شد. از آنجایی که وزن تنه حدود ۸۰ درصد وزن کل درخت است از این‌رو برآورد مقدار زی‌توده تنه ارجحیت دارد (Vann et al., 1998). Henry et al., (2010) نیز اذعان کردند که تنه درختان بیشترین زی‌توده هوایی یک درخت را به خود اختصاص می‌دهد که زی‌توده تنه<sup>۱</sup> (بیومس تنه) در نظر گرفته می‌شود. در تحقیق حاضر تنه درختان از انتهای کنده تا محل آغاز تاج که ارزش تجاری دارد (Kirby & Potvin, 2007) به‌طور مستقیم اندازه‌گیری می‌شود. در کل بیشترین مقدار زی‌توده هوایی در اکوسیستم‌های جنگلی مربوط به تنه درختان است (Peichl & Arain, 2006; Yen & Lee, 2011). استفاده از معادلات آلومتریک برای گونه‌ها یا حتی رویشگاه‌هایی که در شرایط حفاظتی یا ذخیره‌گاهی

افتاده ۵ - ۳ دیسک برداشت شد و سپس دیسک‌های برداشت‌شده پس از جمع‌آوری بر روی ترازو توزین و از دو طرف مخالف دیسک برای تعیین چگالی خشک و ضریب خشکی قطعاتی با ابعاد مساوی تکه‌برداری شد (Cerruto Rebeiro *et al.*, 2011). همچنین کل آن قسمت از تنه‌هایی که دیسک از آنها جدا شد، در همان عرصه به وسیله ترازو وزن شدند. ترازوی مورد استفاده قیان بود که تا ظرفیت ۶۵۰ کیلوگرم قابل استفاده است. گاهی برای جابه‌جایی برخی از گرده-بینه‌ها بر روی ترازو از چند کارگر و برای بخش‌های قظورتر و سنگین‌تر از کابل جرثقیلی تراکتور موجود در منطقه استفاده شد. تنه‌های خیلی قظور و حجیم که فراتر از ظرفیت ترازو بودند، هم از لحاظ عرضی و هم از لحاظ طولی به بخش‌هایی تقسیم و بر روی ترازو سوار می‌شدند. همه نمونه‌های چوبی برداشت شده پس از تکه‌برداری و انتقال به آزمایشگاه، در آن در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند تا به وزن ثابت برسند (Ramon Aboal *et al.*, 2005; Henry *et al.*, 2010; Zhu *et al.*, 2010; Cerruto Rebeiro *et al.*, 2011). وزن خشک زی-توده تنه از مجموع وزن هر بخش از تنه با توجه به ضریب نسبت وزن خشک به وزن تر نمونه‌های مرتبط به دیسک‌های برداشت‌شده از هر بخش به دست می‌آید (Zhu *et al.*, 2010; Navar, 2009). ۵۰ درصد وزن زی توده محاسبه شده به عنوان مقدار ذخیره کربن موجود در تنه مد نظر قرار می‌گیرد (Brown & Lugo, 1982; Zhu *et al.*, 2010; Singh *et al.*, 2011; Alvarez *et al.*, 2012). به-منظور مدلسازی زی توده تنه درختان راش، سه کمیت اصلی قطر برابر سینه، ارتفاع تنه (ذوقی نامقی و آزادفر، ۱۳۹۰) و چگالی خشک به صورت ترکیبی فاکتوریل برای برآزش مدل‌ها به کار گرفته شدند (Chave *et al.*, 2005; Basuki *et al.*, 2009). با توجه به بررسی‌های وسیع صورت گرفته، از کمیت‌های مذکور با ترکیب‌های مختلف با عنوان

۳/۹ درجه سانتی‌گراد است. متوسط بارندگی سالیانه ۱۲۹۳/۵ میلی‌متر است که میانگین حداقل بارندگی در مرداد و میانگین حداکثر بارندگی در اواخر آبان تا اوایل آذر ماه گزارش شده است.

#### - روش تحقیق

در این تحقیق ۲۱ درخت از گونه راش برای قطع و استحصال، توزین و نمونه‌برداری انتخاب شد. انتخاب درختان راش بر اساس کلاسه‌های قطری صورت گرفت (Ramon Aboal *et al.*, 2005). در این زمینه سه کلاسه قطری رایج در جنگل‌های طبیعی شمال ایران که عبارتند از ۶۰ - ۳۰ سانتی‌متر، ۸۰ - ۶۰ سانتی‌متر و  $\geq 80$  سانتی‌متر برای تفکیک انتخاب شدند (میر عبدالمی و همکاران، ۱۳۹۰؛ مروی مهاجر، ۱۳۸۴). با توجه به نقشه‌های موجود منطقه، اولین گام در هنگام نشانه‌گذاری، توسط دستگاه‌های اجرایی درختان نشانه‌گذاری شده‌ای برای نمونه‌برداری انتخاب شدند که از لحاظ استقرار در واحدهای مختلف فیزیوگرافی اختلاف فاحشی نداشته باشند. در این راستا درختان نشانه‌گذاری شده‌ای که در منطقه مورد مطالعه، اغلب در دامنه‌های غربی بودند انتخاب شدند. درصد شیب دامنه‌های محل استقرار درختان منتخب و ارتفاع از سطح دریا نیز ثبت شد. حداقل و حداکثر ارتفاع از سطح دریا به ترتیب ۱۰۵۰ متر و ۱۳۵۰ متر برای درختان نشانه‌گذاری شده بود. سپس هنگام نشانه‌گذاری کلاسه‌های قطری مختلف درختان از هر کلاسه به طور تصادفی هفت پایه برای قطع در نظر گرفته شد (Henry *et al.*, 2010; Zhu *et al.*, 2010; Singh *et al.*, 2011). به منظور اندازه‌گیری زی توده تنه حین استحصال از انتهای هر قسمت از گرده بینه حاصل شده تا حد امکان پس از اندازه‌گیری طول تنه به ازای ۵ - ۲ متر (Zhu *et al.*, 2010; Ramon Aboal *et al.*, 2005; Henry *et al.*, 2010; Peichl & Arain, 2006) ۲ سانتی‌متر برداشت شد (Zhu *et al.*, 2010). در کل به طور متوسط از هر پایه

پراکنش داده‌ها نیز به دلیل کم شدن فواصل داده‌ها و کمیت‌های مورد استفاده در برازش به حداقل می‌رسد (Djomo et al., 2010; Basuki et al., 2009; ) (Chave et al., 2005; Ketterings et al., 2001). در نتیجه محاسبه معادله برای برازش ساده‌تر خواهد بود. در حقیقت تبدیل لگاریتمی سبب ایجاد خطای سیستماتیک یا کاهش محاسباتی می‌شود که در نهایت در بازتبدیل با محاسبه عامل تصحیح<sup>۸</sup> کاهش محاسباتی مذکور برطرف می‌شود (باوکر و همکاران، ۱۳۸۴؛ Djomo et al., 2010; Henry et al., 2010). از این رو به منظور بررسی تغییرات و تبیین کفایت مدل‌های مربوط، عامل تصحیح با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Cerruto Rebeiro et al., 2011; ) (Chave et al., 2005):

$$\text{رابطه ۶} \quad CF = \exp(SEE^2/2) \quad CF > 1$$

در این رابطه CF و SEE به ترتیب ضریب تصحیح و اشتباه معیار برآورد است. محاسبه چگالی خشک<sup>۹</sup> نمونه‌های بدست آمده از تنه از میانگین نسبت وزن خشک قطعات به حجم ثابت کل قطعات به دست می‌آید (Henry et al., 2010; Chave et al., 2005):

$$\text{رابطه ۷} \quad WD = \text{Dry mass} / \text{Wet volume}$$

انتخاب و اعتبارسنجی مدل بر اساس میانگین انحراف معیار، شیب رگرسیون، آزمون t ضرایب به دست آمده و ضریب تبیین (R<sup>2</sup>) صورت می‌گیرد (سهرابی و شیروانی، ۱۳۹۱؛ Basuki et al., 2009; Cerruto Rebeiro et al., 2011). محاسبات آماری با استفاده از نرم افزار SPSS انجام گرفت.

### نتایج

عملیات برازش و مدلسازی توسط سه متغیر (ورودی) قطر برابرسینه (DBH)، ارتفاع تنه (H) و میانگین چگالی خشک (WD) به صورت ترکیبی

متغیرهای ترکیب یافته<sup>۱</sup> (Alvarez et al., 2012; ) (Djomo et al., 2010; Zianis & Mencuccini, 2004) در مدل‌های آلومتریک مختلف استفاده می‌شود. مدلسازی زی توده تنه بر مبنای حداقل مربعات، برازش داده شد. در این تحقیق به منظور مدلسازی از مدل‌های خطی ساده<sup>۲</sup>، لگاریتمی<sup>۳</sup>، توانی<sup>۴</sup>، نمایی<sup>۵</sup> (تعریفی) و لگاریتمی تغییرشکل یافته<sup>۶</sup> استفاده شد که در زیر به ترتیب ارائه می‌شود:

$$\text{رابطه ۱} \quad Y = a(x) + b$$

$$\text{رابطه ۲} \quad Y = a \text{Log}(x) + b$$

$$\text{رابطه ۳} \quad Y = a (x)^b$$

$$\text{رابطه ۴} \quad Y = b.\exp[a (x)]$$

$$\text{رابطه ۵} \quad \ln(Y) = a \ln (x) + b$$

در مدل‌های رگرسیونی ارائه شده، مدل‌های لگاریتمی، توانی و نمایی برازش داده‌ها بر اساس کمیتی که به عنوان متغیر مستقل (قطر برابر سینه) قرار می‌گیرد، به صورت غیرخطی نشان داده می‌شود، در صورتی که مدل‌های خطی ساده و لگاریتمی تغییر-شکل یافته، برازش مشاهدات واقعی را به صورت خطی نشان می‌دهند. در این میان نکته مهم از این جا نشأت می‌گیرد که مدل لگاریتمی تغییرشکل یافته ارائه شده همان مدل تغییرشکل یافته مدل توانی از طریق تبدیل لگاریتم طبیعی<sup>۷</sup> است. دلیل این که مدل‌های توانی به صورت مدل تغییرشکل یافته لگاریتمی تحت تحلیل رگرسیونی قرار می‌گیرند این است که در حالت تغییر-شکل یافته لگاریتمی، علاوه بر اینکه شیب معادله (a) و عرض از مبدا (b) به طور کامل تبیین می‌شود. ناهمگنی

1. Combined Variables
2. Linear
3. Logarithmic
4. Function Power
5. Exponential
6. Log-transformed Model
7. Natural Logarithm (Ln)

8. Correction Factor  
9. Dry Wood Density

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول‌های مذکور، اگرچه مدل خطی ساده و لگاریتمی غیرخطی، ضریب تبیین زیادی دارند، ولی دارای حداکثر اشتباه معیار از تخمین و انحراف از رگرسیون و حداکثر خطای سیستماتیک هستند و در نتیجه جزء مدل‌های غیر-قابل قبول برای برازش معرفی می‌شوند. در بین همه مدل‌های غیرخطی ارائه شده، مدل‌های توانی و نمایی با احتساب قطر برابرسینه (DBH) به عنوان متغیر مستقل با توجه به نتایج یاد شده به ترتیب حداکثر دقت را دارند. با توجه به ارجحیت مدل لگاریتمی تغییر یافته با استفاده از ترکیب  $(DBH^2 \times H)$  در نتایج حاصل مدل آومترئ نهایی با حداکثر دقت برای برآورد زی توده تنه راش در منطقه مورد مطالعه معرفی می‌شود که در آن قطر برابرسینه بر حسب سانتی‌متر و ارتفاع بر حسب متر است.

در یکایک مدل‌های استاندارد ارائه شده، مقادیر اشتباه معیار تخمین رگرسیون، میانگین مربعات رگرسیون و باقی‌مانده‌ها و نتایج آزمون  $t$  ضرایب مدل‌ها معنادارند ( $P < 0.01$ ).

شکل‌های ۱ و ۲ به ترتیب ابر نقاط و منحنی برازش مدل‌های توانی و نمایی را با استفاده از قطر برابرسینه نشان می‌دهد. شکل ۳ و ۴ ابر نقاط و منحنی برازش یافته مدل ترکیبی را به صورت خطی نشان می‌دهد. با توجه به نتایج حاصل در رابطه با مدل خطی ساده و مدل لگاریتمی غیرخطی به علت حداکثر انحراف از رگرسیون و خطای سیستماتیک از نمایش برازش آنها خودداری شده است. با توجه به شکل ۴ می‌توان دریافت که شیب منحنی مربوط نسبت به سایر منحنی‌های ارائه شده بیشتر بوده و با توجه به پراکنش ابر نقاط موجود منحنی دارای بهترین برازش مشاهدات است. البته بر اساس نحوه پراکنش برخی از ابر نقاط می‌توان دریافت که مقادیر زی توده برخی از درختان نسبت به دیگر مقادیر موجود به دلیل فاصله از میانگین، به ایجاد باقی-مانده‌ها یا انحراف از رگرسیون منجر می‌شوند.

فاکتوریل صورت گرفت. از میان ترکیب‌های مختلف حاصل از سه متغیر مذکور، ترکیب  $DBH^2 \times H$ ، همبستگی زیادی با زی توده تنه دارند. بنابراین چگالی خشک تنه به دلیل عدم تغییرپذیری و احتساب به-عنوان متغیر مستقل از روند ترکیبی در مدلسازی حذف شد. ترکیب‌های مختلف به صورت گام به گام در مدل‌های مختلف وارد شدند. ابتدا فقط از متغیر قطر برابرسینه به منظور برازش مدل‌های خطی ساده، لگاریتمی، توانی و نمایی استفاده شد. نتایج براساس جدول ۱ حاکی از آن است که مدل توانی دارای حداکثر ضریب تبیین است. مدل توانی و مدل نمایی با حداکثر ضریب تبیین تطبیق یافته  $(R^2_{adj})$  به ترتیب با ۰/۹۲۲ و ۰/۹۰۰ و حداقل میانگین مربعات باقی-مانده و انحراف از رگرسیون به عنوان مدل‌های قابل قبول در برازش با استفاده از قطر برابرسینه شناخته می‌شوند. در میان مدل‌های غیرخطی مذکور بر پایه جدول ۲، مدل لگاریتمی دارای حداکثر خطا و انحراف از رگرسیون است که در نتیجه برازش آن نامناسب و غیرقابل قبول است و جزء مدل‌های محاسباتی قرار نمی‌گیرد و حذف می‌شود. همچنین در میان مدل‌های خطی، براساس جدول ۴، مدل خطی ساده نیز دارای حداکثر خطا و انحراف از رگرسیون است و در نتیجه برازش آن نامناسب و غیرقابل قبول است و در تحقیق حاضر جزء فهرست مدل‌های محاسباتی قرار نمی‌گیرد. از دو متغیر ترکیب شده مربع قطر برابرسینه و ارتفاع تنه، برای نشان دادن برازش توسط مدل لگاریتم خطی استفاده شد. همان‌طور که در جدول‌های ۳ و ۴ مشاهده می‌شود، مدل مذکور با ترکیب مربع قطر برابرسینه و ارتفاع تنه، دارای حداکثر ضریب تبیین تطبیق یافته  $(R^2_{adj} = 0.993)$  و حداقل اشتباه معیار برآورد  $(SEE = 0.073)$  است. همچنین میزان عامل تصحیح آن نسبت به کلیه مدل‌های ارائه شده کمتر است  $(CF = 1/0.02)$  در نتیجه مدل مربوط، دارای حداقل خطای سیستماتیک و در نهایت بهترین برازش است.

جدول ۱- مدل‌های آلومتری غیرخطی و ضرایب مربوط به آن

CF	t <sub>c</sub> -Sig	t <sub>x</sub> -Sig	B	A	R <sup>2</sup> <sub>(adj)</sub>	مدل آلومتری
----	***	***	-۱۸۷۹۳/۸۳۴	۵۰۵۸ / ۰۷۲	۰ / ۸۴۵	Y = a log(x) + b لگاریتمی
۱ / ۰۲۹	***	***	۲/۵۱۲	۰/۰۴۷	۰/۹۲۲	Y = a(x) <sup>b</sup> توانی
۱ / ۰۳۸	***	***	۱۳۶/۱۷۵	۰ / ۰۳۷	۰/۹۰۰	Y = b exp[a(x)] نمایی

x : متغیر مستقل (قطر برابر سینه cm)، R<sup>2</sup><sub>(adj)</sub> : ضریب تبیین تطبیق‌یافته، a : ضریب متغیر، b : عرض از مبدأ، t<sub>c</sub>-Sig و t<sub>x</sub> : به ترتیب \*\*\* معناداری در سطح ۰ / ۰۱ برای مقادیر مربوط به ضریب متغیرهای مستقل و ضریب ثابت حاصل از آزمون t، CF : ضریب تصحیح

جدول ۲- نتایج تحلیلی رگرسیون‌های غیرخطی برای تعیین مدل بهینه جهت تعیین بیومس خشک تنه گونه راش

Sig	F	Std.Error	میانگین مربعات باقی مانده‌ها	میانگین مربعات رگرسیون	مدل آلومتری
***	۱۱۰/۳۲۵	۷۱۳/۱۳۳	۵۰۸۵۵۸ / ۵۹۹	۵ / ۶۱۱	Y = a log(x) + b
***	۲۳۷/۷۶۷	۰ / ۲۴۱	۰ / ۰۵۸	۱۳ / ۸۳۵	Y = a(x) <sup>b</sup>
***	۱۸۱/۵۶۵	۰ / ۲۷۳	۰ / ۷۴	۱۳ / ۵۲۶	Y = b exp[a(x)]

Std.Error : اشتباه معیار تخمین مدل F : آماره تحلیل واریانس، \*\*\* معنی داری در سطح ۰/۰۱

جدول ۳- مدل‌های آلومتری خطی و ضرایب مربوط به آن

CF	t <sub>c</sub> -Sig	t <sub>x</sub> -Sig	b	a	R <sup>2</sup> <sub>(adj)</sub>	مدل آلومتری
----	***	***	- ۲۹۹۲/۶۵۲	۷۷ / ۴۶۰	۰/۹۱۱	Y = a(x) + b خطی ساده
۱ / ۰۲۹	***	***	- ۳ / ۰۵	۲ / ۵۱۲	۰ / ۹۲۲	LnY = b + a Ln(x) لگاریتمی خطی
۱ / ۰۰۲	***	***	- ۳ / ۴۳۶	۰ / ۹۷۷	۰ / ۹۹۳	LnY = b + a Ln (x <sub>1</sub> ) لگاریتمی خطی

Std.Error : اشتباه معیار تخمین مدل F : آماره تحلیل واریانس، \*\*\* معناداری در سطح ۰/۰۱

جدول ۴- نتایج تحلیلی رگرسیون‌های خطی برای تعیین مدل بهینه برای تعیین بیومس خشک تنه گونه راش

Sig	F	Std.Error	میانگین مربعات باقی مانده‌ها	میانگین مربعات رگرسیون	مدل آلومتری
***	۲۰۶/۱۷۶	۵۴۰/۴۶۴	۲۹۲۱۰/۱ / ۴۲۰	۶/۰۲۲	Y = a(x) + b
***	۲۳۷/۷۶۷	۰ / ۲۴۱	۰ / ۰۵۸	۱۳ / ۸۳۵	LnY = a + bLn(x)
***	۲۷۴۹ / ۱۳۶	۰ / ۰۷۳	۰ / ۰۰۵	۱۴ / ۸۳۹	Ln Y = a + bLn ( x <sub>1</sub> )

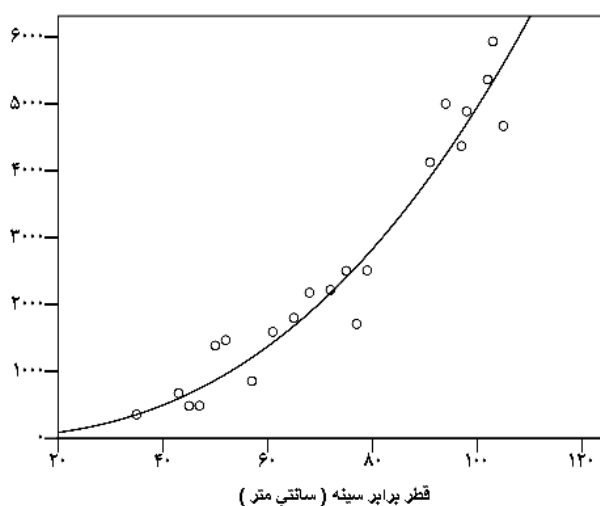
x : متغیر مستقل ( قطر برابر سینه )، متغیر مستقل : x<sub>1</sub> ( مربع قطر برابر سینه و ارتفاع تنه )، R<sup>2</sup><sub>(adj)</sub> : ضریب تبیین تطبیق یافته، a : ضریب متغیر، b : عرض از مبدأ، t<sub>c</sub>-Sig و t<sub>x</sub> : به ترتیب \*\*\* معناداری در سطح ۰ / ۰۱ برای مقادیر مربوط به ضریب متغیرهای مستقل و ضریب ثابت حاصل از آزمون t، CF : ضریب تصحیح

## بحث

در تحقیق حاضر برای مدلسازی زی توده تنه خشک به صورت گام به گام از ترکیب مختلف متغیرهای قطر برابر سینه، ارتفاع تنه و چگالی خشک استفاده شد (Henry *et al.*, 2010; Segura & Kanneinen, 2005). استفاده از روش ترکیبی به صورت گام به گام موجب

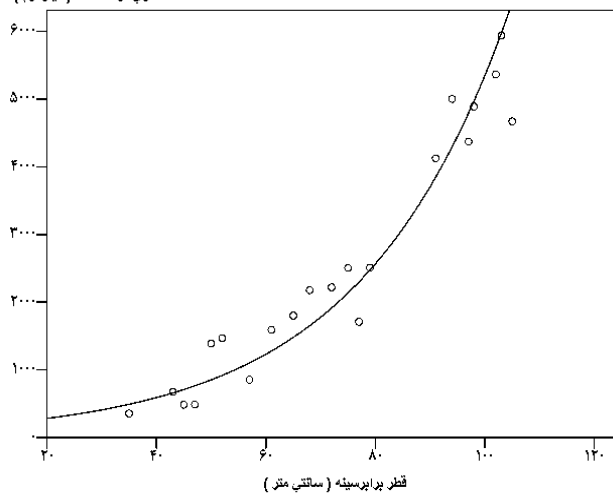
می شود که از میان مدل های مختلف، بهترین مدل که حداکثر برازش را دارد و به مشاهدات نزدیک تر است، مشخص شود. نمونه این نوع عملیات ترکیبی را در داخل کشور پناهی و همکاران (۱۳۹۰) با استفاده از ترکیب قطر و ارتفاع برای بررسی زی توده برگ بنه انجام داده اند.

زی توده خشک ( کیلوگرم )



شکل ۱- ابر نقاط و منحنی برازش یافته مدل توانی جهت تعیین زی توده تنه راش با استفاده از قطر برابر سینه (سانتی متر)

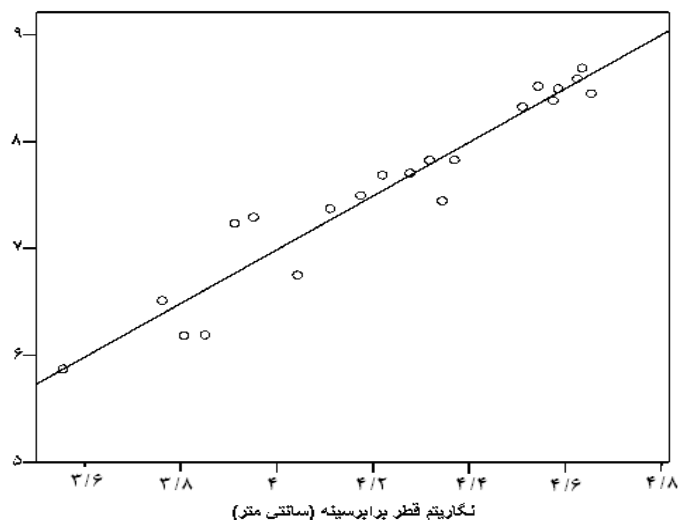
زی توده خشک ( کیلوگرم )



شکل ۲- ابر نقاط و منحنی برازش یافته مدل نمایی جهت تعیین زی توده تنه راش با استفاده از قطر برابر سینه (سانتی متر)

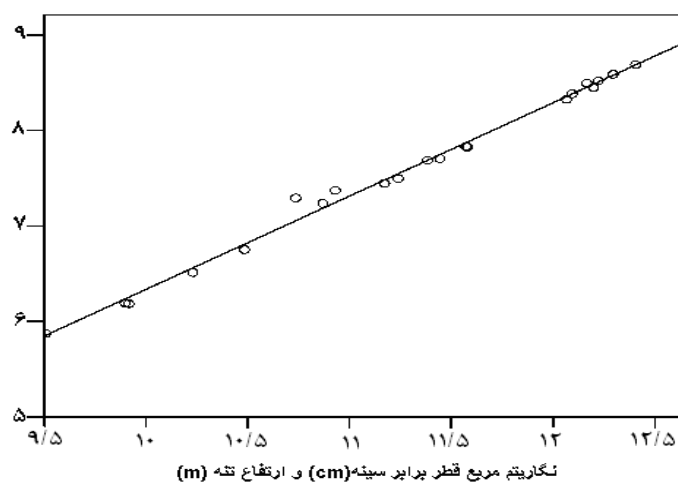


نگاریتم زی توده خشک (کیلوگرم)



شکل ۳- ابر نقاط و منحنی برازش یافته مدل لگاریتمی خطی جهت تعیین زی توده تنه راش با استفاده از قطر برابر سینه (سانتی متر)

نگاریتم زی توده خشک (کیلوگرم)



شکل ۴- منحنی برازش یافته مدل لگاریتمی خطی برای تعیین زی توده تنه راش با استفاده از مربع قطر برابر سینه (سانتی متر مربع) در ارتفاع تنه (m)

شده که در میان متغیرهای مستقل مدل های آلومتریک معمولاً قطر برابر سینه، با ارزش ترین متغیر محسوب می شود، چرا که هم همبستگی خیلی زیادی با زی توده دارد و هم اندازه گیری آن از دیگر متغیرهای مستقل آسان تر است (Segura & Kanneinen, 2005; Cerruto Ribeiro *et al.*, 2011). مثلاً کبیری کویایی

در نتایج تحقیق حاضر فقط متغیر قطر برابر سینه نسبت به بقیه متغیرهای مذکور (ارتفاع و چگالی چوب) به تنهایی دارای بیشترین همبستگی با زی توده خشک تنه می باشد. به همین دلیل نسبت به دیگر متغیرها به تنهایی نیز می تواند در برازش مدل های مختلف به کار رود. در تحقیقات زیادی نیز نتیجه گرفته

دارد، ولی تأثیر آن بسیار ناچیز است. در تحقیق مورد نظر با افزودن ارتفاع تنه در مدل لگاریتمی تغییر یافته، میانگین مربعات انحراف از رگرسیون از ۰/۰۵۸ به ۰/۰۰۵ کاهش و ضریب تصحیح تطبیق یافته از ۰/۹۲۲ به ۰/۹۹۳ افزایش می‌یابد. در راستای این موضوع می‌توان به تحقیقات مختلف از جمله Kettering *et al.* (2001) و Cerruto Ribeiro *et al.* (2011) اشاره کرد که بیان داشتند علاوه بر این که اندازه‌گیری ارتفاع نسبت به قطر برابر سینه سخت‌تر است و دقت کمتری دارد، در معادلات آلومتریک نیز همبستگی کمتری با زی توده خشک دارد و اگرچه تا حدی سبب بهبود مدل‌ها می‌شود تأثیر آن بسیار ناچیز است. البته Joosten *et al.* (2004) پژوهش‌هایی گسترده در غرب آلمان در چهار رویشگاه مختلف و در کل در مورد ۱۱۶ درخت راش نتیجه گرفتند که ارتفاع درخت در قبال اضافه شدن به قطر برابر سینه در معادلات آلومتریک اطلاعات شایان توجهی را ارائه می‌دهد. البته این موضوع ممکن است به دو دلیل باشد:

۱- تعداد نمونه‌ها در تحقیق Joosten *et al.* (2004) نسبت به تحقیق حاضر خیلی بیشتر است؛ ۲- وی در مشاهدات خود کلاسه‌های قطری پایین را نیز در نظر گرفت که در کلاسه‌های قطری پایین‌تر، بین قطر و ارتفاع همبستگی شدیدتری وجود دارد. در صورتی که در تحقیق حاضر، حداقل کلاسه قطری ۶۰-۳۰ سانتی‌متر است که از این کلاسه به بالا، روند تغییرات ارتفاع تنه درختانی چون راش خیلی کمتر است. با افزوده شدن چگالی خشک چوب در ترکیب‌های مختلف قطر برابر سینه و ارتفاع تنه، هیچ تغییری در دقت مدل‌ها به وجود نیامد که نشان می‌دهد چگالی خشک در تحقیق حاضر به دلیل عدم تغییرپذیری نمی‌تواند در ترکیب متغیر مستقل محسوب شود که در نتیجه در روند مدلسازی حذف شد. البته چگالی چوب در محاسبه و تخمین زی توده خشک تنه با محسوب کردن سطح مقطع و حجم تنه، بیشترین دقت را دارد

(۱۳۸۷) با استفاده از قطر برابر سینه درختان راش و ممرز در جنگل خیرود معادله آلومتریک برازش یافته را به تفکیک برای مجموع وزن سرشاخه راش و ممرز که از طریق نمونه برداری تخریبی به دست آورد، ارائه داد. در تحقیق حاضر نیز ابتدا فقط از قطر برابر سینه در تمام مدل‌های انتخابی برای برازش وزن خشک تنه درختان راش استفاده شد که در تمام موارد ضریب تبیین تصحیح شده حداقل ۰/۸۴۵ برای مدل لگاریتمی غیر خطی و حداکثر ۰/۹۲۲ برای مدل‌های توانی به دست آمد که نشان می‌دهد قطر برابر سینه دارای، همبستگی زیادی با زی توده دارد. با توجه به این که فقط زیاد بودن ضریب تصحیح تطبیق یافته ( $R^2_{(adj)}$ ) دلیلی قاطع بر بهترین برازش مشاهدات نیست برای تعیین کفایت مدل‌های رگرسیون آلومتریک در این تحقیق علاوه بر  $R^2_{(adj)}$ ، میانگین مربعات باقی مانده یا انحراف از رگرسیون و اشتباه معیار حاصل از تخمین ارزیابی شدند. (باوکر و همکاران، ۱۳۸۴؛ Djomo *et al.*, 2010). به همین دلیل بر اساس معیارهای ذکر شده با توجه به حداکثر انحراف از رگرسیون و اشتباه معیار برآوردی مدل‌های خطی ساده و لگاریتمی غیر-خطی، مدل‌های مذکور برای برآورد وزن زی توده تنه راش غیر قابل قبولند. برای دقت هرچه بیشتر، از عامل تصحیح مربوط به رگرسیون‌های غیرخطی و مدل لگاریتمی تغییر یافته نیز به عنوان معیاری مناسب برای انتخاب مدل‌های پهنه استفاده شد. البته اگر مدل‌های آلومتریک، اشتباه معیار کمتری داشته باشند و در نتیجه از ضریب تصحیح کمتری برخوردار باشند، دقت و کفایت بیشتری نسبت به مدل‌های دیگر خواهند داشت (Alvarez *et al.*, 2012; Cerruto Ribeiro *et al.*, 2011; Chave *et al.*, 2005). به منظور افزایش دقت نتایج حاصل از مدل‌های رگرسیون از ترکیب مربع قطر برابر سینه و ارتفاع تنه استفاده شد. اختلاف نتایج در رابطه با ضرایب تصحیح تطبیق یافته مدل‌ها، میانگین مربعات باقی مانده‌ها و عامل تصحیح نشان داد که ورود ارتفاع تنه روندی مثبت و تأثیرگذار بر مدل‌ها

مدل مورد استفاده معرفی شد. یکی از مهم‌ترین دلایل اختلاف دامنه قطری و ارتفاعی به کاررفته برای بنه و درختان راش و عامل دوم، تفاوت شکل ظاهری درختان و چگالی چوب است که به‌خصوص در درختان بنه ممکن است در قسمت‌های مختلف متفاوت باشد. معمولاً مدل‌های توانی به‌طور وسیعی در تحقیقات بیولوژی برای معادلات آلومتریک به‌کار می‌روند (Kettering *et al.*, 2001). در این میان Zianis & Mencuccini (2004) با تحقیق در مورد فراوان‌ترین مدل‌های رگرسیون برای تعیین زی‌توده، دریافتند که مدل‌های توانی بهترین نوع مدل‌ها هستند که قطر برابرسینه در این مدل‌ها، یکی از مهم‌ترین متغیرهای مستقل محسوب می‌شود (Vallet *et al.*, 2006). معمولاً ورود متغیر ارتفاع در معادلات آلومتریک بیانگر تغییرات خیلی زیاد در رویشگاه مربوط نیست، ولی مزیت اضافه شدن آن در معادلات آلومتریک علاوه بر قطر برابر سینه این است که از معادلات به‌دست آمده، می‌توان در رویشگاه‌های مشابه استفاده کرد (Ramon Aboal *et al.*, 2005).

### سپاسگزاری

این تحقیق با هماهنگی و کسب مجوز از اداره کل منابع طبیعی استان مازندران و اداره منابع طبیعی نوشهر و با همکاری اداره نظارت طرح رویان نور صورت گرفت. از جناب مهندس اشرفی‌نیا، ریاست محترم اداره منابع طبیعی نوشهر، مهندس خطیب‌نیا کارشناس طرح اداره منابع طبیعی نوشهر، مهندس بور مسئول آزمایشگاه دانشکده منابع طبیعی تربیت مدرس نور، کلیه کارکنان از جمله مهندس سالار، مهندس کیا، مهندس تاری و همچنین از قرقبانبان محترم، آقایان نائیج و خطیب قدردانی و تشکر می‌شود. همچنین از دکتر سروتو ریبریو برای همکاری و در اختیار گذاشتن اطلاعات پایه سپاسگزاری می‌شود.

(Zhu *et al.*, 2010; Peichl & Arain, 2006). چگالی چوب متغیری است که ساختار جنگل، نرخ رشد قطری و تاریخچه مراحل تحولی منطقه را نشان می‌دهد (Baker *et al.*, 2004; Curreto Ribeiro *et al.*, 2011). تخمین زی‌توده درخت با استفاده از معادلات آلومتریک با استفاده از ارتفاع و چگالی چوب علاوه بر قطر برابرسینه می‌تواند به صورت معناداری دقت بیشتری داشته باشد (Alvarez *et al.*, 2012). یکی از دلایلی که می‌توان چگالی چوب را عامل تأثیرگذار در برآزش مدل‌های آلومتریک در تخمین زی‌توده محسوب کرد، تغییرات آن درون یک گونه یا بین گونه‌های مختلف است (Navar, 2009). یکی از شرایط این تغییرات زمانی است که دامنه وسیعی از درختان یک گونه یا گونه‌های مختلف از رویشگاه‌های مختلف نمونه‌برداری شوند که در این شرایط چگالی خشک را می‌توان متغیر مستقل در روند مدلسازی آلومتریک محسوب کرد.

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که مدل لگاریتمی تغییرشکل‌یافته (مدل لگاریتمی مبتنی بر متغیرهای ترکیبی) و مدل نمایی می‌توانند در محاسبه وزن خشک مکمل یکدیگر باشند. از آنجا که مدل ارجح در این تحقیق  $\{LnY = a + bLn(DBH^2 * H)\}$  معرفی می‌شود، برای بازتبدیل و تخمین واقعی زی‌توده خشک تنه با احتساب عامل تصحیح از مدل نمایی  $\{Biomass = Exp[Ln(Y)]\}$  استفاده می‌شود. در تحقیق حاضر همان‌طور که نتیجه گرفته شد، مدل‌های توانی و نمایی به‌طور مستقیم فقط با دخالت قطر برابرسینه ارجحیت یافتند که در مقایسه با یکدیگر، مدل توانی دقت بیشتری دارد. در این مورد می‌توان به تحقیق سهرابی و شیروانی (۱۳۹۱) اشاره کرد که در آن برای بررسی زی‌توده تنه درختان بنه در پارک ملی خجیر، تنها مدل‌های توانی و نمایی معرفی شد که مدل‌های توانی بهترین مدل برای تعیین زی‌توده تنه بنه خوانده شدند. ولی بر خلاف تحقیق حاضر، ارتفاع مهم‌ترین عامل تأثیرگذار در

## منابع

- Alvarez, E., A. Duque, J. Saldarriaga, K. Cabrera, G.D.L. Salas, L.D. Valle, A. Lema, F. Moreno, S. Orrego & L. Rodriguez, 2012. Tree above-ground biomass allometries for carbon stocks estimation in the natural forests of Colombia, *Forest Ecology and Management*, 267: 297–308.
- Baker, T.R., O.L. Phillips, Y. Malhi, S. Almeida, L. Arroyo, A. Di Fiore, T. Erwin, T.J. Killeen, S.G. Laurance, W.F. Laurance, S.L. Lewis, J. Lloyd, A. Monteagudo, D.A. Neill, S. Patiño, N.C.A. Pitman, J.N.M. Silva & R.V.
- Basuki, T.M., P.E. van Laake, A.K. Skidmore & Y.A. Hussin, 2009. Allometric equations for estimating the above-ground biomass in tropical lowland Dipterocarp forests, *Forest Ecology and Management*, 257: 1684–1694.
- Brown, S. & A.E. Lugo, 1982. The storage and production of organic matter in tropical forests and their role in global carbon cycle, *Biotropica*, 14: 161–18.
- Cerruto Ribeiro, S., L. Fehrmann, C. Pedro Boechat Soares, L. Antônio Gonçalves Jacovine, C. Kleinn & R. de Oliveira Gaspar, 2011. Above- and belowground biomass in a Brazilian Cerrado, *Forest Ecology and Management*, 262: 491–499.
- Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M.A., Chambers, J.Q., Eamus, D., Folster, H., Fromard, F., Higuchi, N., Kira, T., Lescure, J.P., Nelson, B.W., Ogawa, H., Puig, H., Riera, B & T., Yamakura, 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests, *Oecologia*, 145: 87–99.
- Cole, T.G & J.J. Ewel, 2006. Allometric equations for four valuable tropical tree species, *Forest Ecology and Management*, 229: 351–360.
- Djomo, A.N., I. Adamou, S. Joachim & G. Gode, 2010. Allometric equations for biomass estimations in Cameroon and pan moist tropical equations including biomass data from Africa, *Forest Ecology and Management*, 260: 1873–1885.
- Esa, Ecology Society of America, 2000. Washington, DC, 20006. <http://www.esa.org>
- Han, B., X.K. Wang & Z.Y. Ouyang, 2005. Saturation levels and carbon sequestration potentials of soil carbon pools in farmland ecosystems of China, *Rural Eco-Environment*, 21(4): 6–11.
- باوکر، هزمر، علیرضا جباری، جرالد لیبرمن و هاشم محلوچی، ۱۳۸۴. آمار مهندسی، مرکز نشر دانشگاهی، ص ۸۵۲.
- بی نام، ۱۳۸۷. طرح جنگلداری سری سه گلندرد (تجدید نظر دوم)، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان مازندران - نوشهر.
- پناهی، پریسا، مهدی پور هاشمی و مریم حسنی نژاد، ۱۳۹۰. برآورد زیتوده و ذخیره کربن برگ بنه در باغ گیاه شناسی ملی ایران، مجله جنگل ایران، ۳(۱): ۱۲-۱.
- ذوقی نامقی، زهره و داوود آزادفر، ۱۳۹۰. به کارگیری معادلات نرمال سازی در تعیین درختان برتر گونه راش (*Fagus orientalis* Lipsky) در طرح جنگلداری دکتر بهرام نیا، گرگان، مجله جنگل ایران، ۳(۲): ۱۳۲-۱۲۱.
- سهرابی، هرمز و انوشیروان شیروانی، ۱۳۹۱. معادلات آلومتریک برای برآورد زیتوده روی زمین بنه (*Pistacia atlantica* var. *mutica*) در پارک ملی خجیر، مجله جنگل ایران، ۴(۱): ۶۴-۵۵.
- کیبیری کوپایی، کوروش، ۱۳۸۷. مقایسه یک جنگل راش خالص با آمیخته از نظر ترسیب کربن بخش چوبی در اندام های هوایی و تغییرات مکانی آن (مطالعه موردی بخش گرازبن: جنگل خیرود)، رساله دکتری، دانشگاه تهران، ۱۰۲ ص.
- کیادلیری، هادی، رضا اخوان و عیسی انیسی، ۱۳۹۰. بررسی نحوه نشانه گذاری درختان جنگلی و تاثیر آن بر توده جنگل (مطالعه موردی: پارسل ۱۴۹ سری شوراب گلبند)، مجله جنگل ایران، ۳(۱): ۵۹-۴۹.
- مروی مهاجر، محمدرضا، ۱۳۸۴. جنگل شناسی و پرورش جنگل، انتشارات دانشگاه تهران، ۳۸۷ ص.
- میرعبداللهی شمسی، مرتضی، امیراسلام بنیاد، جواد ترکمن و بهزاد بخشنده ناورود، ۱۳۹۰. بررسی ضریب شکل درخت راش (*Fagus orientalis* Lipsky) در مراحل رویشی مختلف (مطالعه موردی: جنگل لومیر)، مجله جنگل ایران، ۳(۳): ۱۸۷-۱۷۷.

- Henry, M., A. Besnard, W.A. Asante, J. Eshun, S. Adu-Bredu, R. Valentini, M. Bernoux & L. Saint-André, 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.
- Houghton, R.A., F. Hall & S.J. Goetz, 2009. Importance of biomass in the global carbon cycle, *Journal of Geophysical Resources*, 114(2), G00E03, doi:10.1029/2009JG000935.
- Joosten, R., J. Schumacher, C. Wirth & A. Schulte, 2004. Evaluating tree carbon predictions for beech (*Fagus sylvatica* L) in western Germany, *Forest Ecology and Management*, 189: 87- 96.
- Ketterings, Q.M., R. Coe, M.V. Noordwijk, Y. Ambagau & C.A. Palm, 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.
- Kirby, K.R & C. Potvin, 2007. Variation in carbon storage among tree species: Implications for the management of a small-scale carbon sink project, *Forest Ecology and Management*, 246: 208–221.
- Li, X.Y. & H.P. Tang, 2006. Carbon sequestration: manners suitable for carbon trade in China and function of terrestrial vegetation, *Journal of Plant Ecology*, 32: 200–209.
- Martinez, 2004. Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian forest biomass, *Global Change Biology*, 10: 545–562.
- Navar, J., 2009. Allometric equations for tree species and carbon stocks for forests of northwestern Mexico, *Forest Ecology and Management*, 257: 427–434
- Peichl, M. & M.A. Arain, 2006. Above- and belowground ecosystem biomass and carbon pools in an age-sequence of temperate pine plantation forests, *Agricultural and Forest Meteorology*, 140: 51–63.
- Pilli, R., T. Anfodillo & M. Carrer, 2006. Towards a functional and simplified allometry for estimating forest biomass, *Forest Ecology and Management*, 237: 583–593.
- Ramon Aboal, J., J. Ramon Arevalo & A. Fernandez, 2005. Allometric relationships of different tree species and stand above ground biomass in the Gomera laurel forest (Canary Islands), *Flora*, 200: 264–274.
- Rubio, A., R.G. Gavilan, F. Montes, A. Gutiérrez-Girón, E. Daz-Pines & E.T. Mezquida, 2011. Biodiversity measures applied to stand-level management: Can they really be useful?, *Ecological Indicators*, 11: 545–556.
- Segura, M. & M. Kanninen, 2005. Allometric models for tree volume and total aboveground biomass in a tropical humid forest in Costa Rica, *Biotropica*, 37: 2-8.
- Singh, V., A. Tewari, S.P.S. Kushwaha & V.K. Dadhwal, 2011. Formulating allometric equations for estimating biomass and carbon stock in small diameter trees, *Forest Ecology and Management*, 261: 1945–1949.
- Vallet, P., Dhoûte, J.F., Mogue'dec, G.L., Ravart, M & G., Pignard, 2006. Development of total aboveground volume equations for seven important forest tree species in France, *Forest Ecology and Management*, 229: 98–110.
- Vann, D.R., P.A. Palmiotto & S. Richard 1998. Allometric equations for two South American conifers: Test of a non-destructive method, *Forest Ecology and Management*, 106: 55–71
- Xiaonan, D., W. Xiaoke, F. Lu & O. Zhiyun, 2008. Primary evaluation of carbon sequestration potential of wetlands in China, *Acta Ecological Sinica*, 28(2): 463–469.
- Yen, T.M. & J.S. Lee, 2011. Comparing aboveground carbon sequestration between moso bamboo (*Phyllostachys heterocycla*) and China fir (*Cunninghamia lanceolata*) forests based on the allometric model, *Forest Ecology and Management*, 261:995–1002.
- Zhu, B., X. Wang, W. Fang, S. Piao, H. Shen, S. Zhao, & C. Peng, 2010. Altitudinal changes in carbon storage of temperate forests on Mt Changbai, Northeast China, *Carbon Cycle Process in East Asia*, 123: 439–452.
- Zianis, D & M. Mencuccini, 2004. On simplifying allometric analyses of forest biomass, *Forest Ecology and Management*, 187: 311–332.

## Modeling the bole mass of beech (*Fagus Orientalis* Lipsky) through allometric equations within Hyrcanian forests

A. Vahedi<sup>1\*</sup>, A. Mataji<sup>2</sup>, S. Babayi-Kafaki<sup>3</sup>, J. Eshaghi-Rad<sup>4</sup>, and S.M. Hodjati<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Ph.D student, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, I.R. Iran

<sup>2</sup>Associate Prof, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, I.R. Iran

<sup>3</sup>Assistant Prof, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, I.R. Iran

<sup>4</sup>Assistant Prof, University of Urmia, I.R. Iran

<sup>5</sup>Assistant Prof, University of Sari, I.R. Iran

(Received: 17 October 2012; Accepted: 11 February 2013)

### Abstract

Biomass Measurement is one of the prominent procedures for estimating carbon storage and/or carbon dispersion in atmosphere following global warming. This research aims at modeling the various & different applicable equations in order to increase the accuracy of dry biomass measurement of beech species in natural Hyrcanian forests. This research was backed by natural resources organization so that 21 beech trees could be cut. After cutting and converting the trees, each part of bole which had been converted, was weighed and one disc with 2 cm thickness from the 2-5 m end part of the bole was taken. Then, the samples were taken to lab and they were oven-dried at 105°C to obtain moisture content and constant special gravity. For multiple modeling three variables such as diameter at breast height, bole height and dry wood density were used. The results showed that the combination of height and square of diameter ( $DBH^2 \times H$ ) as explanatory variables would induce the best allometric model. As well, among the whole models presented in this study, the power function just having diameter at breast height ( $R^2_{adj} = 0.922$ ;  $SEE = 0.241$ ) and log-transformed model having combined variables ( $DBH^2 \times H$ ) were the best models ( $R^2_{adj} = 0.993$ ;  $SEE = 0.072$ ) so that they could demonstrate the best goodness of fit. At the end, the ultimate model to estimate the bole biomass of beech in the case study was  $Y = \exp [-3.436 + 0.977 \ln (DBH^2 \times h)]$ . Consequently, this height prediction on the original scale is multiplied by correction factor ( $CF = 1.002$ ) to correct the underestimation .

**Keywords:** Allometric equation, Beech, Dry biomass, Goodness of fit.