



تعیین معادلات آلومتریکی برای برآورد زی توده تنه سه گونه کاج بروسیا، کاج بادامی و زربین در توده‌های دست کاشت عرب داغ استان گلستان

حسان علی^{۱*}، جهانگیر محمدی^۲ و شعبان شتابی جویباری^۳

^۱ دانشجوی دکتری علوم جنگل - جنگلداری، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
^۲ استادیار، گروه جنگلداری، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
^۳ استاد، گروه جنگلداری، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۳/۶)

چکیده

اندازه‌گیری دقیق زی توده و انتخاب مناسب‌ترین معادلات آلومتریکی چالش بزرگی در ارزیابی زی توده درختان است. بنابراین توسعه معادلات آلومتریکی برای برآورد دقیق زی توده ضروری است. این تحقیق با هدف برآورد زی توده تنه سه گونه سوزنی‌برگ کاج بروسیا، کاج بادامی و زربین در جنگل عرب داغ استان گلستان با استفاده از معادلات آلومتریکی انجام گرفت. به منظور مدل‌سازی زی توده تنه درختان، سه مشخصه اصلی قطر برابرسینه، ارتفاع و چگالی چوب به صورت جداگانه و ترکیبی در برازش معادلات به کار گرفته شد. نتایج نشان داد که در صورت استفاده از قطر برابرسینه به تنهایی برای گونه کاج بروسیا، معادله به دست آمده دارای بیشترین ضریب تبیین (۰/۹۰) بود. با اضافه کردن ارتفاع و چگالی چوب به قطر برابرسینه در معادلات آلومتریکی زی توده تنه ضریب تبیین ۹ درصد افزایش و درصد ریشه میانگین مربعات خطا ۱۲/۶۳ درصد کاهش یافت. برای گونه کاج بادامی، نتایج نشان داد که با اضافه کردن ارتفاع و چگالی چوب به قطر برابرسینه در معادلات آلومتریکی زی توده تنه، میزان ضریب تبیین و درصد ریشه میانگین مربعات خطا بهبود نیافت. برای گونه زربین نتایج نشان داد که در صورت استفاده از قطر برابرسینه به تنهایی معادله به دست آمده دارای بیشترین ضریب تبیین (۰/۹۸) بود. با اضافه کردن ارتفاع و چگالی چوب به قطر برابرسینه در معادلات آلومتریکی زی توده تنه میزان ضریب تبیین ۱ درصد افزایش و درصد ریشه میانگین مربعات خطا ۳/۵۹ درصد کاهش یافت. از معادلات آلومتریکی حاصل می‌تواند برای برآورد زی توده درختان با این گونه‌ها در شرایط آب‌وهوایی و خاک مشابه در مقیاس منطقه‌ای استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع، چگالی چوب، زی توده تنه، قطر برابرسینه، معادلات آلومتریکی.

مقدمه

برای زندگی بشر اهمیت زیادی دارند جنگل‌ها اهمیت زیادی در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در جو دارند و برای مثال سالانه حدود ۲ بلیون تن دی‌اکسید کربن جذب می‌کند (FAO, 2010).

جنگل‌ها حدود یک سوم خشکی‌های کره زمین را در بر می‌گیرند و با توجه به تأثیر مهم در تغییرات اقلیم، تنظیم آب‌وهوا، جلوگیری از فرسایش خاک، مبارزه با آلودگی هوا، حفاظت خاک و چرخه کربن

و قطر ریشه‌های کمتر از ۱ میلی‌متر) است (Liu et al., 2010). با توجه به اینکه زی‌توده تنه درختان، دارای بیشترین سهم (در حدود ۷۰ تا ۸۰ درصد) از زی‌توده کل است (Mate et al., 2014)، محاسبه و برآورد زی‌توده تنه از اهمیت زیادی برخوردار است. بسیاری از تحقیقات نشان داد که تنه درخت دارای بیشترین زی‌توده نسبت به شاخه و برگ و میوه است (Henry et al., 2011; Xue et al., 2016).

روش‌های برآورد و اندازه‌گیری زی‌توده جنگل به دو دسته کلی روش‌های مستقیم (مخرب) و غیرمستقیم (غیرمخرب) تقسیم می‌شوند. روش‌های مستقیم (برداشت و قطع درختان) دقیق‌ترین و قابل اطمینان‌ترین راه برای اندازه‌گیری زی‌توده جنگل هستند (Balbinot et al., 2017)، اما اندازه‌گیری مستقیم زی‌توده، فرایندی بسیار دشوار، زمان‌بر و پرهزینه است و به نیروی انسانی زیادی نیاز دارد (Shi et al., 2017). از این‌رو زی‌توده درختان را می‌توان با استفاده از معادلات آلومتریک رگرسیونی خطی و غیرخطی^۱ یا فاکتور گسترش زی‌توده^۲ (BEF) برآورد کرد (Krejza et al., 2017). معادلات آلومتریک ابزاری مهم برای کمی کردن زی‌توده و ذخیره کربن در جنگل‌ها هستند (Mugasha et al., 2013). این معادلات رابطه بین زی‌توده و مشخصه‌های قابل اندازه‌گیری آسان درختان مانند قطر برابر سینه، ارتفاع، چگالی چوب و غیره را ارزیابی می‌کنند (Feyisa et al., 2018). معادلات آلومتریک به هر یک از گونه‌های موجود یا گروهی از گونه‌های موجود مربوط می‌شوند (Vashum & Jayakumar, 2012). بیشتر تحقیقات به این نتیجه رسیده‌اند که معادلات آلومتریک مربوط به هر گونه، سبب بهبود برآورد زی‌توده در جنگل می‌شود؛ زیرا شکل ظاهری و چگالی گونه‌های مختلف، با هم تفاوت دارد (Henry et al., 2010). تحقیقات برای برآورد زی‌توده داخل و خارج ایران با استفاده از

جنگل‌ها مؤلفه‌ای مهم در چرخه جهانی کربن به شمار می‌روند و در حدود ۸۶ درصد از کربن روی زمین و ۷۳ درصد کربن زیر زمین در آنها ذخیره شده است (Vashum & Jayakumar, 2012). کاهش مساحت جنگل‌های طبیعی، افزایش جمعیت، افزایش صنایع وابسته به چوب و تغییر اقلیم جهانی، سبب اهمیت جنگل‌های دست‌کاشت با گونه‌های تندرشد شده است (Socha & Kulej, 2007). جنگل‌های دست‌کاشت امروزه از مهم‌ترین منابع تأمین‌کننده چوب و از عوامل کاهش‌دهنده روند تخریبی عرصه‌های طبیعی هستند و تأثیر اساسی در تأمین مواد سوختی، سایر محصولات جنگلی و ارائه خدمات اکولوژیکی دارند (Carnus et al., 2006). کل جنگل‌های دست‌کاشت در جهان ۲۶۴ میلیون هکتار را شامل می‌شود که در حدود ۷ درصد از کل جنگل‌های جهان را تشکیل می‌دهند (IPCC, 2014). مساحت جنگل‌های دست‌کاشت در غرب آسیا و آسیای مرکزی از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۳ از ۴/۱ درصد به ۷ درصد افزایش یافته است (Sivakumar et al., 2013). مساحت کل جنگل‌های دست‌کاشت در ایران در حدود ۰/۹۴ میلیون هکتار است که ۶/۶ درصد از کل مساحت جنگل‌ها را تشکیل می‌دهد (FRWO, 2019). براساس آمار سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری، مساحت جنگل‌های دست‌کاشت در استان گلستان بیش از ۷۰۰۰۰ هکتار شامل ۱۵ درصد از کل جنگل‌های این استان است.

تغییر اقلیم و گرمایش جهانی در دهه‌های گذشته، نیاز به اطلاعات درباره زی‌توده جنگل‌ها در نواحی مختلف برای تعریف سیاست اقلیمی مناسب را افزایش داده است (Yuen et al., 2016). زی‌توده درختان اهمیت اساسی در مدیریت پایدار جنگل، ذخیره‌سازی دی‌اکسید کربن، تعیین ذخیره کربن جنگلی و کاهش روند گرم شدن کره زمین دارد (Magalhães, 2020). زی‌توده کل شامل زی‌توده روی زمین (قطر تنه بزرگ‌تر از ۷/۵ سانتی‌متر، شاخه ۷/۵-۲/۵ سانتی‌متر، شاخه ریز کمتر از ۲/۵ سانتی‌متر، برگ، میوه) و زی‌توده زیر زمین (قطر ریشه‌های بیشتر از ۱ میلی‌متر

¹ Linear and non linear allometric equations

² Biomass expansion factor

بین ۰/۹۲ تا ۰/۹۶ متغیر است. کاج بروسیا (*Pinus brutia* Ten.) از معروف‌ترین گونه‌ها از گروه کاج‌های مدیترانه‌ای است که در جنوب و شرق اروپا پراکنده است (Soofizadeh et al., 2010). این گونه در خاک‌های آهکی فقیر و کم‌عمق رشد می‌کند و در مجموع برای اراضی فقیر از آن به‌عنوان گونه پیش‌آهنگ استفاده می‌کنند. در ترکیه و دیگر کشورهای شرق مدیترانه، کاج بروسیا گونه سوزنی‌برگ مهمی از نظر اقتصادی است (Shater et al., 2011). کاج بادامی (*Pinus pinea* L.) نیز بومی نواحی مدیترانه است و در شن‌های سیلیسی مدیترانه می‌روید و در ایران نیز در شمال کشور وجود دارد (Sabeti, 2002). کاج بادامی درختی چندمنظوره است که علاوه بر صنعت چوب و زیباسازی محیط، دانه‌های مغذی و مصرف خوراکی دارد؛ همچنین به‌دلیل مقاومت زیاد به خشکی، استقرار و رشد سریع در زمین‌های فقیر و کم‌بازده، گونه‌ای مناسب برای جنگلکاری و احیای اراضی خشک جنگلی و غیرجنگلی محسوب می‌شود (Ghandehari et al., 2012). زربین (*Cupressus sempervirens* L.) سوزنی‌برگ بومی شمال کشور است که سیستم ریشه‌ای قوی و عمیق دارد، خشکی و سرمای زمستان را تا حد زیادی تحمل می‌کند و توانایی رشد در محیط‌های نامطلوب مانند خاک‌های آهکی، خشک و فقیر را دارد (Charkazi et al., 2016). در استان گلستان، گونه‌های بروسیا، بادامی و زربین عمده‌ترین گونه‌ها در جنگل‌های دست‌کاشت هستند که در بیشتر مناطق شمالی ایران نیز کشت شده‌اند (Ali et al., 2020). علی‌رغم افزایش جنگل‌های دست‌کاشت در جهان به‌ویژه در ایران، اطلاعات مربوط به زی توده کل روی زمین هنوز در این جنگل‌ها اندک است. امروزه علی‌رغم گسترش صنعت، افزایش جمعیت، تخریب بخش بزرگی از جنگل‌ها در اثر فعالیت‌های بشر، اهمیت و حساسیت موضوع تغییر اقلیم و افزایش دمای زمین و نقش زی توده درختی در جذب گازهای گلخانه، اهمیت جنگل‌های دست‌کاشت در رفع فشار بشر از

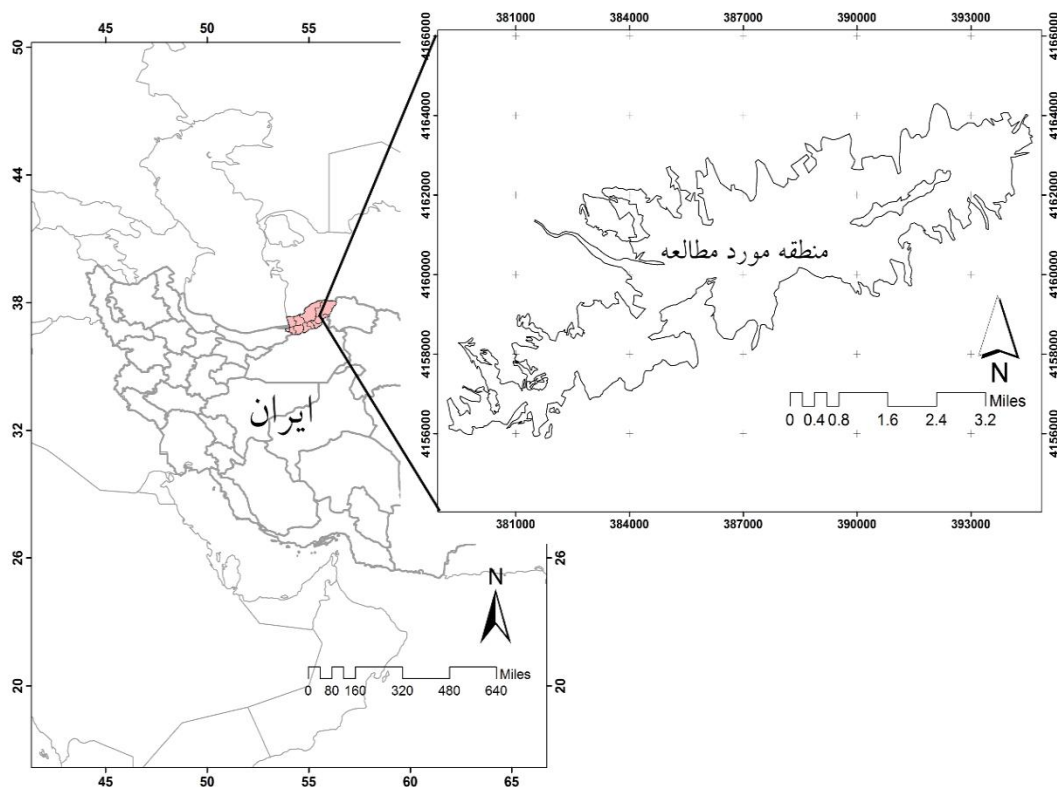
مدل‌های مختلف رگرسیون انجام گرفته است. Vahedi et al. (2013) به مدل‌سازی زی توده تنه گونه راش (*Fagus Orientalis* Lipsky) با استفاده از معادلات آلومتریک در جنگل گلندرود نور پرداختند. براساس نتایج، از میان معادلات مختلف، ترکیب قطر برابرسینه و ارتفاع درختان به‌عنوان متغیر مستقل بهترین معادله آلومتریک را ارائه کرد. در این پژوهش معادلات توانی با استفاده از قطر برابرسینه (ضریب تبیین = ۰/۹۲) و مدل لگاریتمی تبدیل‌یافته مبتنی بر متغیرهای ترکیبی (قطر برابرسینه و ارتفاع تنه) (ضریب تبیین = ۰/۹۹) بهترین برازش را نشان دادند. Sohrabi & Shirvani (2012) زی توده روی زمین گونه بنه (*Pistacia atlantica* Desf. var. *mutica*) در پارک ملی خجیر را با استفاده از معادلات آلومتریک برآورد کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که از بین متغیرهای مستقل، قطر تاج بهتر توانست زی توده روی زمین بنه را با استفاده از مدل توانی با ضریب تبیین ۰/۹۳ برآورد کند. Sharifi et al. (2016) برای برآورد زی توده درختان راش (*Fagus Orientalis* Lipsky)، توسکا (*Alnus serrulata* (Aiton) Willd.)، ممرز (*Carpinus*) و ملج (*Ulmus glabra* Huds.) در جنگل اسالم معادلات آلومتریک را ارائه دادند. نتایج نشان داد که دقت برآورد زی توده درختان در هنگام استفاده از ترکیب چگالی چوب، قطر برابرسینه و ارتفاع بهبود یافته است (ضریب تبیین = ۰/۹۶) و مجذور میانگین مربعات خطا = ۰/۴۰ مگاگرم در هکتار). Moore (2010) معادلات آلومتریک را برای برآورد زی توده روی زمین توده‌های کاج رادیاتا (*Pinus radiata* D. Don) در نیوزیلند بررسی و تجزیه و تحلیل کرد. نتایج تحقیق او نشان داد که میزان ضریب تبیین با استفاده از معادلات مختلف بین ۰/۷۸ تا ۰/۹۷ متغیر است. al et Stas. (2017) معادلات آلومتریک مختلف را برای برآورد زی توده روی زمین درختان در جنگل‌های دست‌کاشت در اندونزی بررسی کردند. نتایج این بررسی نشان داد که میزان ضریب تبیین

مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش

این پژوهش در توده‌های جنگلی دست‌کاشت عرب‌داغ در استان گلستان در محدوده $35^{\circ} 55'$ تا $51^{\circ} 55'$ طول شرقی و $37^{\circ} 30'$ تا $37^{\circ} 38'$ عرض شمالی انجام گرفت (شکل ۱). مساحت این عرصه ۵۰۰۰ هکتار است که از سال ۱۳۶۵ تا ۱۳۶۹ جنگلکاری شده است. از نظر پوشش گیاهی عرصه جنگلکاری عرب‌داغ از غرب به شرق سیمای متفاوتی دارد که با گونه‌های سرو زربین، کاج بروسیا و کاج بادامی با فاصله ۳ در ۳ متر کاشت شده است.

جنگل‌های طبیعی و نیز دارا بودن سهم بسیار زیاد زی‌توده تنه در زی‌توده کل درختان، به نظر می‌رسد پژوهش‌های کمی در زمینه محاسبه زی‌توده تنه در جنگل‌های دست‌کاشت انجام گرفته است و به همین دلیل، تحقیق حاضر از اهمیت زیادی برخوردار است. هدف این تحقیق، تعیین و انتخاب بهترین معادلات آلومتریک و برآورد زی‌توده تنه سه گونه سوزنی‌برگ کاج بروسیا (*Pinus brutia* Ten.)، کاج بادامی (*Pinus pinea* L.) و زربین (*Cupressus sempervirens* L.) در جنگل‌های دست‌کاشت عرب‌داغ استان گلستان در شمال ایران برای هر گونه است.



شکل ۱- موقعیت منطقه پژوهش در استان گلستان و ایران

سالانه ۷/۷ درصد و نوع اقلیم منطقه براساس ضریب خشکی دومارتن نیمه‌خشک و براساس کلیماگرام آمبرژه نیمه‌خشک سرد است. خاک عرصه، قهوه‌ای جنگلی با عمق زیاد و pH قلیایی است و بافت

عرصه مورد نظر در دامنه ارتفاعی ۱۰۰۰-۲۰۰ متر از سطح دریا قرار گرفته است. متوسط دمای ماهیانه ۱۶/۹ درجه سانتی‌گراد، متوسط بارندگی سالانه ۵۳۶/۷ میلی‌متر، متوسط رطوبت نسبی

$$AGB = \frac{W_{Fc} \times W_{Ds}}{W_{Fs}} \quad \text{رابطه ۱}$$

AGB: زی توده تنه (کیلوگرم)، WFC: وزن تر تنه (کیلوگرم)، WDS: وزن خشک هر نمونه (کیلوگرم)، WFS: وزن تر هر نمونه (کیلوگرم).

محاسبه چگالی چوب

برای به دست آوردن چگالی چوب پس از تهیه دیسک‌هایی با ضخامت 2 سانتی‌متر، از هر دیسک پنج نمونه مکعب‌شکل با ابعاد $2 \times 2 \times 3$ سانتی‌متر بریده شد. مکعب‌های چوبی برای محاسبه وزن خشک در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند تا به وزن ثابت برسند. حجم خشک نمونه‌ها با استفاده از دستگاه کولیس اندازه‌گیری شد و سپس چگالی خشک با رابطه ۲ تبیین شد (Henry et al., 2010).

$$\rho = \frac{W}{V} \quad \text{رابطه ۲}$$

ρ : چگالی خشک واقعی (گرم در سانتی‌متر مکعب)، W : وزن خشک (گرم) و V : حجم چوب سبز (سانتی‌متر مکعب).

معادلات آلومتریک استفاده شده

به منظور مدل‌سازی زی توده تنه درختان گونه‌ها کاج بروسیا، کاج بادامی و زربین، سه مشخصه اصلی قطر برابر سینه، ارتفاع و چگالی خشک به صورت جداگانه و ترکیبی برای برازش معادلات به کار گرفته شد (Basuki et al., 2009). مدل‌سازی آلومتریک زی توده تنه درختان کاج بروسیا، کاج بادامی و زربین به ترتیب با استفاده از نرم‌افزار R انجام گرفت. در این تحقیق انواع مختلفی از معادلات رگرسیون شامل خطی و غیرخطی برای برآورد زی توده که در تحقیقات دیگر استفاده شده انتخاب و ارزیابی شدند (جدول ۱). در این تحقیق معادلات آلومتریک بر اساس متغیرهای مستقل به پنج گروه تقسیم شدند.

آن در سطح به‌طور عمده لوم و سیلتی لوم و در افق‌های زیرین سیلتی کلی لوم با درصد هدایت الکتریکی کم است (Hallaj & Rostaghi, 2011).

شیوه اجرای پژوهش

داده‌های زمینی و محاسبه زی توده تنه

با توجه به دامنه قطری درختان در منطقه پژوهش از طبقه قطری ۷/۵ تا ۴۲/۵ سانتی‌متر، در این پژوهش از هر طبقه قطری ۵ سانتی‌متری، دو اصله درخت به صورت تصادفی انتخاب شد و اندازه‌گیری‌های لازم انجام گرفت، اما در طبقه قطری ۴۰ سانتی‌متری با توجه به کم بودن تعداد پایه‌ها، ۱ درخت اندازه‌گیری شد. در مجموع ۳۹ اصله درخت (۱۳ اصله کاج بروسیا، ۱۳ اصله کاج بادامی، ۱۳ اصله زربین) قطع و اندازه‌گیری شد (Xayalath et al., 2019; Mensah et al., 2016; Ebuy et al., 2011; Alexandre et al., 2019). قطر برابر سینه و ارتفاع درختان قبل از قطع با استفاده از کالیپر و ورتکس لیزری^۱ به ترتیب اندازه‌گیری شد. پس از قطع، هر درخت به قسمت تنه (قطر بیشتر از ۷/۵ سانتی‌متر) تقسیم و جدا شد و وزن تر تنه در عرصه با دستگاه باسکول با دقت ۰/۵ کیلوگرم اندازه‌گیری شد. از قسمت تنه درختان پنج دیسک به ضخامت ۵ سانتی‌متر برای اندازه‌گیری وزن خشک چوب گرفته شد. وزن تر دیسک‌ها در عرصه ثبت شد. نمونه‌ها بعد از اندازه‌گیری وزن تر با دقت ۱۰ گرم به آزمایشگاه انتقال داده شد (He et al., 2018). نمونه‌ها ابتدا به مدت یک هفته در هوای آزاد خشک شدند و سپس به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد تا زمان رسیدن به وزن پایدار درون آون قرار گرفتند (Ebuy et al., 2011). پس از تبیین وزن خشک نمونه‌ها با استفاده از ترازو به دقت ۰/۱ گرم، وزن خشک (زی توده) تنه با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد.

^۱ Vertex Laser

جدول ۱- فهرست معادلات آلومتریک به کاررفته در این تحقیق برای برآورد زی توده تنه

شماره	متغیرهای استفاده شده / معادلات	رفرنس
قطر برابر سینه (DBH)		
۱	$AGB = \beta_1 \times DBH^{\beta_2}$	(Dong et al., 2016)
۲	$AGB = \beta_1 \times DBH^2$	(Correia et al., 2018)
۳	$AGB = \beta_0 + \beta_1 \times DBH^2$	(Johansson, 2007)
۴	$AGB = \exp(\beta_0 + \beta_1 \times \ln(DBH))$	(Teobaldelli et al., 2009)
۵	$AGB = \exp(\beta_0 + \beta_1 \times \ln(DBH) + \beta_2 \times (\ln(DBH))^2)$	(Basuki et al., 2009)
ارتفاع (H)		
۶	$AGB = \beta_1 \times H^{\beta_2}$	(Youkhana et al., 2017)
۷	$AGB = \beta_0 + \beta_1 \times H^2$	(Zewdie et al., 2009)
۸	$\ln AGB = \beta_0 + \beta_1 \times \ln(H)$	(Istrefi et al., 2019)
۹	$AGB = \exp(\beta_0 + \beta_1 \times \ln(H))$	(Bronisz et al., 2016)
قطر برابر سینه (DBH) و ارتفاع (H)		
۱۰	$AGB = \beta_0 + \beta_1 \times (DBH^2 \times H)$	(Andrade et al., 2016)
۱۱	$AGB = \beta_1 \times (DBH^2 \times H)$	(Zewdie et al., 2009)
۱۲	$AGB = \beta_1 \times (DBH^{\beta_2} \times H)$	(Canga et al., 2013)
۱۳	$AGB = \beta_0 \times (DBH^2 \times H)^{\beta_1}$	(Zianis et al., 2005)
۱۴	$AGB = \beta_0 + \beta_1 \times DBH + \beta_2 \times (DBH)^2 + \beta_3 \times (DBH * H)$	(Lupi et al., 2016)
۱۵	$AGB = \beta_0 + \beta_1 \times (DBH)^2 + \beta_2 \times H$	(Bronisz et al., 2016)
۱۶	$\ln AGB = \beta_0 + \beta_1 \times \ln(DBH) + \beta_2 \times \ln(H)$	(De-Miguel et al., 2014)
۱۷	$AGB = \beta_0 + \beta_1 \times (DBH^2 \times H^{0.5})$	(Moore, 2010)
۱۸	$AGB = \exp(\beta_0 + \beta_1 \times \ln(DBH) + \ln(H))$	(De-Miguel et al., 2014)
۱۹	$AGB = \exp(\beta_0 + \beta_1 \times \ln(DBH^2 \times H))$	(Djomo et al., 2010)
قطر برابر سینه (DBH) و چگالی چوب (ρ)		
۲۰	$\ln AGB = \beta_0 + \beta_1 \times \ln(DBH) + \ln(\rho)$	(Chave et al., 2005)
۲۱	$AGB = \beta_0 \times (DBH^2 \times \rho)^{\beta_1}$	(Henry et al., 2010)
۲۲	$AGB = \beta_0 \times (DBH)^{\beta_1} \times (\rho)$	(Henry et al., 2010)
۲۳	$AGB = \exp(\beta_0 + \beta_1 \times \ln(DBH) + \ln(\rho))$	(Vieilledent et al., 2012)
۲۴	$AGB = \exp(\beta_0 + \beta_1 \times \ln(DBH^2 \times \rho))$	(Vahedi, 2016)
قطر برابر سینه (DBH)، ارتفاع (H) و چگالی چوب (ρ)		
۲۵	$\ln AGB = \beta_0 + \beta_1 \times (\ln(DBH^2 \times H \times \rho))$	(Chave et al., 2005)
۲۶	$AGB = \beta_0 \times (DBH)^{\beta_1} \times (H)^{\beta_2} \times (\rho)^{\beta_3}$	(Kebede & Soromessa, 2018)
۲۷	$AGB = \exp(\beta_0 + \beta_1 \times \ln(DBH^2 \times H) + \beta_2 \times \ln(\rho))$	(Ngomanda et al., 2014)
۲۸	$AGB = \exp(\beta_0 + \beta_1 \times \ln(DBH) + \beta_2 \times \ln(H) + \ln(\rho))$	(Stas et al., 2017)
۲۹	$AGB = \beta_0 + \beta_1 \times DBH + \beta_2 \times H + \beta_3 \times \rho$	(Vahedi, 2016)

AGB زی توده روی زمین درختان برحسب کیلوگرم، DBH قطر برابر سینه برحسب سانتی متر، H ارتفاع درختان برحسب متر، ρ چگالی خشک برحسب گرم بر سانتی متر مکعب و $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ ضرایب مدل.

اعتبار سنجی معادلات آلومتریک

ارزیابی و انتخاب بهترین معادله آلومتریک برای برآورد دقیق زی توده بسیار مهم است. انتخاب و ارزیابی معادلات رگرسیون زی توده براساس آمارهای از جمله ضریب تبیین (R^2) (رابطه ۳)، درصد مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE%) (رابطه ۴)، میانگین خطای درصد مطلق (MAPE) (رابطه ۵) و آماره آکائیک (AIC) (رابطه ۶) انجام گرفت. مقادیر RMSE% و MAPE% پایین نتایج دقیق تری را برای تخمین زی توده روی زمینی نشان می دهد. در حالی که مقادیر R^2 بالا نشان دهنده برازش بهتر معادله است. سپس بهترین معادله که با کمترین مقدار AIC و اریبی (Bias) (رابطه ۷) است. از ضریب تصحیح CF (رابطه ۸) برای اصلاح انحراف در برآورد زی توده به دلیل تبدیل لگاریتمی استفاده شد. همچنین برای بررسی هم خطی چندگانه^۱ بین متغیرها از شاخص تورم واریانس^۱ در نرم افزار R و پکیج Faraway استفاده شد.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2} \quad \text{رابطه ۳}$$

$$RMSE\% = \left(\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} / \bar{Y} \right) \times 100 \quad \text{رابطه ۴}$$

$$Mape = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|y_i - \hat{y}_i|}{y_i} \quad \text{رابطه ۵}$$

$$AIC = 2k - 2 \ln(L) \quad \text{رابطه ۶}$$

$$Bias = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i) / n \quad \text{رابطه ۷}$$

$$CF = \exp\left(\frac{(SEE)^2}{2}\right) \quad \text{رابطه ۸}$$

\hat{y}_i : مقدار زی توده مشاهده شده، \bar{y}_i : مقدار زی توده تخمین زده شده و n : تعداد نمونه های ارزیابی، L : لگاریتم درست نمایی مدل رگرسیون، k : تعداد

پارامترها و SEE: خطای استاندارد تخمین است.

نتایج

آمار توصیفی داده های زمینی

نتایج آمارهای توصیفی حاصل از اندازه گیری و محاسبه مشخصه های سه گونه کاج بروسیا، کاج بادامی و زربین در جدول ۲ آورده شده است. نتایج آمارهای توصیفی حاصل از اندازه گیری و محاسبه زی توده تنه نشان داد که میانگین مقدار زی توده تنه کاج بروسیا ۱۳۱/۳ کیلوگرم است، در حالی که انحراف از معیار زی توده تنه کاج بادامی ۸۳/۵ کیلوگرم و بیشترین مقدار زی توده تنه زربین ۳۴۵/۶ کیلوگرم است (جدول ۲). براساس نتایج آزمون هم خطی چندگانه نیز مقدار شاخص تورم واریانس کمتر از ۱۰ حاصل شد که نشان می دهد در مدل های مربوط هم خطی چندگانه وجود ندارد و مدل ها اعتبار محاسباتی دارند.

نتایج بررسی آنالیز واریانس و مقایسه میانگین های مقادیر زی توده تنه کاج بروسیا، کاج بادامی و زربین در طبقات قطری کوچک (کمتر از ۱۷/۵ سانتی متر)، میانه (۱۷/۲۷/۵ - ۵/۵ سانتی متر) و بزرگ (۴۲/۵ - ۲۷/۵ سانتی متر) به ترتیب با استفاده از آزمون دانکن نشان داد که در مقادیر زی توده در طبقات مختلف اختلاف معنی داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد وجود دارد ($p\text{-value} < 0.05$). دسته بندی زی توده تنه در طبقات قطری مختلف نشان داد که زی توده تنه کاج بروسیا، کاج بادامی و زربین در طبقات قطری بزرگ (۲۷/۵ - ۴۲/۵ سانتی متر) بیشترین سهم زی توده را دارد، ولی در طبقات قطری کوچک (کمتر از ۱۷/۵ سانتی متر) کمترین سهم زی توده را داراست (شکل ۲).

معادلات آلومتریک مبتنی بر قطر برابر سینه، ارتفاع و چگالی درختان برای پیش بینی زی توده تنه نتایج مدل سازی زی توده تنه کاج بروسیا، کاج بادامی، زربین و مستقل از گونه ها (ترکیب سه گونه) با استفاده از قطر برابر سینه به عنوان متغیر مستقل

¹ Variance inflation factor

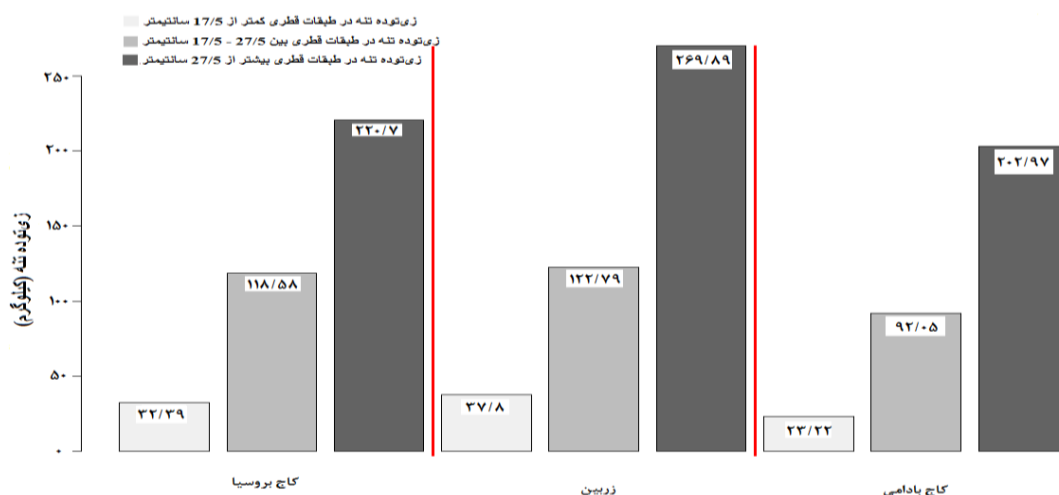
به ترتیب ۲۰/۳۲، ۶/۸۲، ۹/۸۱ و ۲۰/۲۷ درصد و بیشترین ضریب تبیین یعنی به ترتیب ۰/۹۰، ۰/۹۹، ۰/۹۸ و ۰/۹۲ است (جدول ۳).

نشان داد که معادله ۵ بهترین معادله برای کاج بروسیا، کاج بادامی، زربین و مستقل از گونه‌ها با کمترین درصد مجذور میانگین مربعات خطا یعنی

جدول ۲- آماره‌های توصیفی قطر برابر سینه، ارتفاع، چگالی چوب و زی توده تنه درختان کاج بروسیا، بادامی و زربین^۱

گونه‌ها	آماره	قطر برابر سینه	ارتفاع	چگالی	زی توده تنه
کاج بروسیا	حداکثر	۳۸	۱۶/۸	۰/۵۹	۲۹۵/۴
	حداقل	۱۲	۱۱/۲۵	۰/۴۸	۱۸/۷
	میانگین	۲۳/۹۶	۱۳/۹۴	۰/۵۳	۱۳۱/۳
	انحراف از معیار	۹/۰۲	۱/۹۳	۰/۰۴	۹۲/۱
	ضریب تغییرات	۰/۳۸	۰/۱۴	۰/۰۸	۰/۷۰
کاج بادامی	حداکثر	۳۸	۱۳/۸۵	۰/۶۲	۲۵۱/۲
	حداقل	۸	۹	۰/۴۹	۷/۷
	میانگین	۲۳/۳۴	۱۱/۷۰	۰/۵۵	۱۱۳/۵
	انحراف از معیار	۹/۷۴	۱/۲۵	۰/۰۵	۸۳/۵
	ضریب تغییرات	۰/۴۴	۰/۱۱	۰/۰۹	۰/۷۴
زربین	حداکثر	۳۸	۱۵/۲	۰/۵۵	۳۴۵/۶
	حداقل	۹	۸	۰/۴۷	۱۴/۷
	میانگین	۲۳	۱۱/۴۱	۰/۵۱	۱۴۱/۹
	انحراف از معیار	۹/۲۹	۲/۳۲	۰/۰۲	۱۰۷/۱
	ضریب تغییرات	۰/۴۰	۰/۲۰	۰/۰۴	۰/۷۶

قطر برابر سینه بر حسب سانتی‌متر، ارتفاع بر حسب متر، چگالی چوب بر حسب گرم/سانتی‌متر مکعب و زی توده تنه درختان بر حسب کیلوگرم



شکل ۲- دسته‌بندی زی توده تنه درختان کاج بروسیا، کاج بادامی و زربین در طبقات قطری بزرگ (بیشتر از ۲۷/۵ سانتی‌متر)، میانه (۲۷/۵-۱۷/۵ سانتی‌متر) و کوچک (کمتر از ۱۷/۵ سانتی‌متر)

¹ Multicollinearity diagnostic test

جدول ۳- نتایج برازش معادلات آلومتریک مبتنی بر قطر برابرینه برای پیش‌بینی زی توده تنه کاج بروسیا، کاج بادامی، زربین و مستقل از گونه‌ها (ترکیب سه گونه)

شماره	ضرایب معادله			درصد مجذور میانگین مربعات خطا	ضریب تبیین	آماره اکائیک	میانگین درصد خطای مطلق	ضریب تصحیح
	β_0	β_1	β_2					
کاج بروسیا								
۱	-	۰/۳۲	۱/۸۷	۲۱/۷۲	۰/۸۹	۱۳۰/۷۴	۰/۲۳	-
۲	-	۰/۲۰	-	۲۰/۹۵	۰/۸۹	۱۳۰/۴۸	۰/۱۸	-
۳	۳/۰۶	۰/۲۰	-	۲۱/۷۶	۰/۸۹	۱۳۰/۲۸	۰/۲۳	-
۴	- ۱/۱۵	۱/۸۷	-	۲۱/۷۱	۰/۸۹	۱۳۰/۵۸	۰/۲۳	-
۵	- ۶/۵۷	۵/۲۵	- ۰/۵۲	۲۰/۳۲	۰/۹۰	۱۳۰/۰۴	۰/۱۶	-
کاج بادامی								
۱	-	۰/۲۴	۱/۹۲	۸/۱۸	۰/۹۹	۱۰۰/۸۱	۰/۲۲	-
۲	-	۰/۱۸	-	۸/۴۳	۰/۹۹	۹۹/۶۱	۰/۲۲	-
۳	- ۰/۱۲	۰/۱۸	-	۸/۴۵	۰/۹۹	۱۰۱/۶۲	۰/۲۲	-
۴	- ۱/۴۴	۱/۹۲	-	۸/۴۷	۰/۹۹	۱۰۱/۸۱	۰/۲۲	-
۵	- ۷/۳۲	۵/۵۴	- ۰/۵۵	۶/۸۲	۰/۹۹	۹۸/۳۱	۰/۱۷	-
زربین								
۱	-	۰/۱۶	۲/۱۱	۹/۸۸	۰/۹۸	۱۱۱/۵۴	۰/۱۲	-
۲	-	۰/۲۴	-	۱۰/۲۸	۰/۹۸	۱۱۲/۵۰	۰/۱۲	-
۳	- ۵/۴۱	۰/۲۴	-	۱۰/۸۵	۰/۹۸	۱۱۱/۹۸	۰/۱۲	-
۴	- ۱/۸۴	۲/۱۱	-	۱۰/۸۴	۰/۹۸	۱۱۱/۵۶	۰/۱۲	-
۵	- ۰/۶۲	۱/۳۷	۰/۱۱	۹/۸۱	۰/۹۸	۱۱۱/۴۳	۰/۱۲	-
مستقل از گونه‌ها (ترکیب سه گونه)								
۱	-	۰/۲۴	۱/۹۵	۲۰/۳۹	۰/۹۲	۳۷۱/۳۲	۰/۲۱	-
۲	-	۰/۲۰	-	۲۰/۳۴	۰/۹۲	۳۶۹/۴۷	۰/۲۱	-
۳	- ۰/۰۴	۰/۲۱	-	۲۰/۴۴	۰/۹۲	۳۷۱/۴۲	۰/۲۱	-
۴	- ۱/۴۱	۱/۹۵	-	۲۰/۵۰	۰/۹۲	۳۷۱/۳۴	۰/۲۱	-
۵	- ۴/۴۵	۳/۸۲	- ۰/۲۸	۲۰/۲۷	۰/۹۲	۳۷۱/۱۴	۰/۲۱	-

دارای کمترین درصد مجذور میانگین مربعات خطا، به ترتیب ۵۱/۷۲، ۵۲/۲۱، ۳۱/۳۸ و ۵۵/۰۱ درصد و بیشترین ضریب تبیین، به ترتیب ۰/۴۱، ۰/۴۵ و ۰/۸۱

نتایج نشان داد که معادله ۷ بهترین معادله برای کاج بروسیا، بادامی، زربین و مستقل از گونه‌ها با استفاده از ارتفاع کل درختان به عنوان متغیر مستقل

کمترین درصد مجذور میانگین مربعات خطا یعنی به ترتیب ۶/۳۷ و ۱۵/۱۴ درصد و بیشترین ضریب تبیین یعنی به ترتیب ۰/۹۹ و ۰/۹۵ است (جدول ۵).
 نتایج برآورد زی‌توده تنه با استفاده از قطر برابرینه و چگالی چوب به‌عنوان متغیر مستقل نشان داد که معادله ۲۳ بهترین معادله برای کاج بروسیا، کاج بادامی، زربین و مستقل از گونه‌هاست که دارای کمترین درصد مجذور میانگین مربعات خطا یعنی به ترتیب ۲۱/۱۲، ۸/۰۴، ۹/۲۸ و ۲۰/۱۱ درصد و بیشترین ضریب تبیین یعنی ۰/۹۰، ۰/۹۹، ۰/۹۸ و ۰/۹۲ است (جدول ۶).

۰/۴۰ است (جدول ۴).
 نتایج مدل‌سازی زی‌توده تنه با استفاده از قطر برابرینه و ارتفاع درختان به‌عنوان متغیر مستقل نشان داد که معادله ۱۸ برای کاج بروسیا دارای کمترین درصد مجذور میانگین مربعات خطا یعنی ۷/۸۹ درصد و بیشترین ضریب تبیین یعنی ۰/۹۹ است؛ اما بهترین معادله برای کاج بادامی معادله ۱۴ است که دارای کمترین درصد مجذور میانگین مربعات خطا یعنی ۴/۰۶ درصد و بیشترین ضریب تبیین یعنی ۰/۹۹ است. اما نتایج مدل‌سازی زی‌توده تنه زربین و مستقل از گونه‌ها نشان داد که معادله ۱۳ دارای

جدول ۴- نتایج برازش معادلات آلومتریک مبتنی بر ارتفاع درختان برای پیش‌بینی زی‌توده تنه کاج بروسیا، کاج بادامی، زربین و مستقل از گونه‌ها (ترکیب سه گونه)

شماره	ضرایب معادله			درصد مجذور میانگین مربعات خطا	ضریب تبیین	آماره آکائیک	میانگین درصد خطای مطلق	ضریب تصحیح
	β_0	β_1	β_2					
کاج بروسیا								
۶	-	۰/۰۳	۳/۱۷	۵۱/۸۳	۰/۴۱	۱۵۲/۶۳	۰/۸۱	-
۷	- ۸۵/۸۳	۱/۰۹	-	۵۱/۷۲	۰/۴۱	۱۵۲/۲۸	۰/۸۱	-
۸	- ۷/۷۷	۴/۷۰	-	۵۴/۷۶	۰/۳۹	۱۵۷/۳۳	۰/۸۵	۱/۲۵
۹	- ۳/۵۲	۳/۱۷	-	۵۱/۸۵	۰/۴۰	۱۵۳/۷۱	۰/۸۴	-
کاج بادامی								
۶	-	۰/۰۰۱	۴/۵۸	۵۲/۸۳	۰/۴۴	۱۴۹/۳۱	۱/۲۰	-
۷	- ۱۶۵/۴	۲/۷	-	۵۲/۲۱	۰/۴۵	۱۴۸/۵۱	۱/۲۰	-
۸	- ۱۷/۱۵	۸/۷۴	-	۶۳/۸۱	۰/۳۶	۱۵۶/۲۳	۱/۲۲	۱/۲۶
۹	- ۶/۵۹	۴/۵۸	-	۵۲/۸۸	۰/۴۴	۱۵۰/۴۷	۱/۲۰	-
زربین								
۶	-	۰/۰۳	۳/۸۴	۳۲/۳۸	۰/۸۱	۱۴۲/۶۲	۰/۳۰	-
۷	- ۱۰۴/۶	۱/۸۲	-	۳۱/۳۸	۰/۸۱	۱۴۱/۲۶	۰/۳۰	-
۸	- ۵/۷۶	۴/۲۹	-	۳۴/۱۲	۰/۷۹	۱۴۳/۰۴	۰/۳۰	۱/۰۷
۹	- ۳/۶۶	۳/۴۸	-	۳۲/۰۶	۰/۸۱	۱۴۲/۱۶	۰/۳۰	-
مستقل از گونه‌ها (ترکیب سه گونه)								
۶	-	۰/۳۰	۲/۴۰	۵۵/۵۷	۰/۳۹	۴۴۹/۸۵	۱/۰۶	-
۷	- ۴۲/۵۲	۱/۰۹	-	۵۵/۰۱	۰/۴۰	۴۴۹/۰۷	۱/۰۴	-
۸	- ۵/۱۷	۳/۸۶	-	۶۰/۷۱	۰/۳۵	۴۵۱/۰۱	۱/۰۷	۱/۲۹
۹	- ۱/۲۱	۲/۳۹	-	۵۵/۶۳	۰/۳۹	۴۴۹/۹۸	۱/۰۵	-

جدول ۵- نتایج برازش معادلات آلومتریک مبتنی بر قطر برابرسینه و ارتفاع کل درختان برای پیش بینی زی توده تنه کاج بروسیا، کاج بادامی، زربین و مستقل از گونه‌ها (ترکیب سه گونه)

شماره	ضرایب معادله			درصد مجذور میانگین مربعات خطا	ضریب تبیین	آماره اکائیک	میانگین درصد خطای مطلق	ضریب تصحیح
	β_3	β_2	β_1					
کاج بروسیا								
۱۰	-	-	۰/۰۱	۱۱/۱۱	۰/۹۷	۱۱۵/۵۸	۰/۰۹	-
۱۱	-	-	۰/۰۱	۱۱/۱۰	۰/۹۷	۱۱۵/۸۲	۰/۰۹	-
۱۲	-	۱/۸۲	۰/۰۳	۱۱/۱۳	۰/۹۷	۱۱۵/۹۶	۰/۰۸	-
۱۳	-	-	۰/۹۶	۱۱/۰۵	۰/۹۸	۱۱۵/۶۶	۰/۰۸	-
۱۴	۰/۶۳	۰/۱۹	-۹/۷۲	۸/۷۵	۰/۹۸	۱۱۵/۳۱	۰/۰۹	-
۱۵	-	۱/۲۵	۰/۱۷	۱۲/۰۲	۰/۹۷	۱۲۱/۰۴	۰/۰۹	-
۱۶	-	۱/۵۴	۱/۸۹	۴۳/۰۷	۰/۹۷	۱۲۹/۷۸	۰/۳۱	۱/۲۳۱
۱۷	-	-	۰/۰۵	۱۶/۰۳	۰/۹۷	۱۲۵/۱۱	۰/۱۴	-
۱۸	-	-	۱/۸۲	۷/۸۹	۰/۹۹	۱۰۹/۴۳	۰/۰۸	-
۱۹	-	-	۰/۹۶	۱۱/۰۲	۰/۹۷	۱۱۵/۳۶	۰/۰۹	-
کاج بادامی								
۱۰	-	-	۰/۰۱	۶/۰۷	۰/۹۹	۹۶/۰۶	۰/۱۸	-
۱۱	-	-	۰/۰۲	۶/۰۴	۰/۹۹	۹۲/۰۹	۰/۱۸	-
۱۲	-	۱/۸۶	۰/۰۲	۶/۰۲	۰/۹۹	۹۲/۸۲	۰/۱۸	-
۱۳	-	-	۰/۹۳	۶/۰۵	۰/۹۹	۹۲/۴۰	۰/۱۸	-
۱۴	۰/۳۲	۰/۱۳	-۲/۶۸	۴/۰۶	۰/۹۹	۹۱/۵۸	۰/۰۷	-
۱۵	-	۸/۵۵	۰/۱۷	۴/۴۲	۰/۹۹	۹۱/۸۲	۰/۰۸	-
۱۶	-	۲/۳۹	۱/۹۹	۱۱/۹	۰/۹۸	۱۰۹/۴۴	۰/۱۹	۱/۰۱۷
۱۷	-	-	۰/۰۵	۶/۴۲	۰/۹۹	۹۷/۵۲	۰/۱۸	-
۱۸	-	-	۱/۸۶	۵/۲۵	۰/۹۹	۹۵/۲۲	۰/۱۸	-
۱۹	-	-	۰/۹۳	۵/۲۷	۰/۹۹	۹۲/۴۰	۰/۰۹	-
زربین								
۱۰	-	-	۰/۰۲	۶/۶۵	۰/۹۹	۱۰۴/۲۶	۰/۱۱	-
۱۱	-	-	۰/۰۲	۹/۲۸	۰/۹۹	۱۰۷/۹۱	۰/۱۳	-
۱۲	-	۱/۸۲	۰/۰۳	۶/۵۷	۰/۹۹	۱۰۰/۸۷	۰/۰۷	-
۱۳	-	-	۰/۸۸	۶/۳۷	۰/۹۹	۱۰۰/۱۴	۰/۰۶	-
۱۴	۰/۴۳	۰/۲۱	-۵/۶۶	۶/۶۹	۰/۹۹	۱۰۱/۹۰	۰/۰۸	-
۱۵	-	۷/۸۶	۰/۲۱	۷/۷۸	۰/۹۹	۱۰۳/۰۶	۰/۱۱	-
۱۶	-	۰/۹۹	۱/۷۰	۶/۷۲	۰/۹۹	۱۰۰/۳۲	۰/۰۶	۱/۰۰۴
۱۷	-	-	۰/۰۶	۷/۰۴	۰/۹۹	۱۰۵/۷۲	۰/۰۷	-
۱۸	-	-	۱/۷۳	۶/۹۵	۰/۹۹	۱۰۴/۹۴	۰/۰۷	-
۱۹	-	-	۰/۸۸	۶/۷۷	۰/۹۹	۱۰۳/۱۴	۰/۰۷	-
مستقل از گونه‌ها (ترکیب سه گونه)								
۱۰	-	-	۰/۰۱	۱۵/۴۹	۰/۹۵	۳۵۲/۲۳	۰/۲۲	-
۱۱	-	-	۰/۰۲	۱۵/۹۴	۰/۹۵	۳۵۰/۴۱	۰/۲۲	-
۱۲	-	۱/۹۹	۰/۰۲	۱۵/۳۷	۰/۹۵	۳۴۹/۶۱	۰/۲۱	-
۱۳	-	-	۰/۹۱	۱۵/۱۴	۰/۹۵	۳۴۸/۳۸	۰/۱۹	-
۱۴	۰/۲۸	۰/۱۷	-۱۳/۱۵	۱۸/۲۸	۰/۹۳	۳۶۵/۳۵	۰/۲۴	-
۱۵	-	۷/۲۷	۰/۱۸	۱۷/۶۸	۰/۹۴	۳۶۶/۸۹	۰/۲۳	-
۱۶	-	۰/۴۷	۲/۱۰	۱۷/۷۹	۰/۹۴	۳۶۷/۰۹	۰/۲۳	۱/۰۲۶
۱۷	-	-	۰/۰۵	۱۶/۷۵	۰/۹۵	۳۵۹/۶۰	۰/۲۲	-
۱۸	-	-	۱/۸۲	۱۵/۴۲	۰/۹۵	۳۵۵/۴۱	۰/۲۲	-
۱۹	-	-	۰/۹۱	۱۵/۳۹	۰/۹۵	۳۵۲/۴۵	۰/۲۲	-

جدول ۶- نتایج برازش معادلات آلومتریک مبتنی بر قطر برابر سینه و چگالی چوب درختان برای پیش‌بینی زی‌توده تنه کاج بروسیا، کاج بادامی، زربین و مستقل از گونه‌ها (ترکیب سه گونه)

شماره	ضرایب معادله			درصد مجذور	ضریب	آماره	میانگین خطای	ضریب	شماره
	β_0	β_1	β_2						
کاج بروسیا									
۲۰	-۱/۶۱	۲/۱۹	-	۲۳/۳۱	۰/۸۹	۱۳۸/۲۲	۰/۱۵	۱/۰۲۲	۲۰
۲۱	۰/۵۷	۰/۹۳	-	۲۱/۷۱	۰/۹۰	۱۳۶/۰۲	۰/۱۴	-	۲۱
۲۲	۰/۶۰	۱/۸۷	-	۲۱/۴۵	۰/۹۰	۱۳۳/۰۸	۰/۱۴	-	۲۲
۲۳	-۰/۵۱	۱/۸۷	-	۲۱/۱۲	۰/۹۰	۱۳۰/۰۸	۰/۱۴	-	۲۳
۲۴	- ۰/۵۵	۰/۹۴	-	۲۱/۵۵	۰/۹۰	۱۳۳/۰۸	۰/۱۴	-	۲۴
کاج بادامی									
۲۰	-۲/۴۲	۲/۳۹	-	۱۷/۱۹	۰/۹۷	۱۱۱/۲۹	۰/۲۵	۱/۰۲۷	۲۰
۲۱	۰/۴۲	۰/۹۶	-	۸/۱۸	۰/۹۹	۱۰۶/۸۱	۰/۲۳	-	۲۱
۲۲	۰/۴۳	۱/۹۲	-	۸/۰۹	۰/۹۹	۱۰۳/۱۸	۰/۲۲	-	۲۲
۲۳	-۰/۸۴	۱/۹۱	-	۸/۰۴	۰/۹۹	۱۰۰/۲۹	۰/۲۱	-	۲۳
۲۴	-۰/۸۶	۰/۹۵	-	۸/۰۸	۰/۹۹	۱۰۳/۲۴	۰/۲۲	-	۲۴
زربین									
۲۰	-۱/۱۸	۲/۱۰	-	۹/۹۰	۰/۹۸	۱۱۷/۹۶	۰/۰۹	۱/۰۰۸	۲۰
۲۱	۰/۳۱	۱/۰۶	-	۹/۸۹	۰/۹۸	۱۱۷/۵۶	۰/۰۹	-	۲۱
۲۲	۰/۳۲	۲/۱۲	-	۹/۷۸	۰/۹۸	۱۱۴/۵۷	۰/۰۹	-	۲۲
۲۳	-۱/۱۶	۲/۱۱	-	۹/۲۸	۰/۹۸	۱۱۱/۵۵	۰/۰۹	-	۲۳
۲۴	-۱/۱۲	۱/۰۶	-	۹/۸۸	۰/۹۸	۱۱۴/۵۳	۰/۰۹	-	۲۴
مستقل از گونه‌ها (ترکیب سه گونه)									
۲۰	-۱/۷۴	۲/۲۴	-	۲۱/۸۳	۰/۹۲	۳۷۸/۲۲	۰/۱۸	۱/۱۱۳	۲۰
۲۱	۰/۴۵	۰/۹۸	-	۲۰/۳۱	۰/۹۲	۳۷۷/۷۵	۰/۱۸	-	۲۱
۲۲	۰/۴۶	۱/۹۵	-	۲۰/۱۸	۰/۹۲	۳۷۴/۳۲	۰/۱۸	-	۲۲
۲۳	-۰/۷۸	۱/۹۵	-	۲۰/۱۱	۰/۹۲	۳۷۱/۳۲	۰/۱۸	-	۲۳
۲۴	-۰/۸۰	۰/۹۸	-	۲۰/۳۸	۰/۹۲	۳۷۴/۳۲	۰/۱۸	-	۲۴

و بیشترین ضریب تبیین یعنی ۰/۹۹ است. اما نتایج مدل‌سازی زی‌توده تنه زربین و مستقل از گونه‌ها نشان داد که معادله ۲۷ دارای کمترین درصد مجذور میانگین مربعات خطا یعنی به ترتیب ۶/۲۲ و ۱۵/۱۱ درصد و بیشترین ضریب تبیین یعنی ۰/۹۹ و ۰/۹۵ است (جدول ۷).

نتایج نشان داد که معادله ۲۶ برای کاج بروسیا بهترین معادله است که دارای کمترین درصد مجذور میانگین مربعات خطا یعنی ۷/۶۹ درصد و بیشترین ضریب تبیین یعنی ۰/۹۹ است. اما بهترین معادله برای کاج بادامی معادله ۲۸ است که دارای کمترین درصد مجذور میانگین مربعات خطا یعنی ۵/۱۴ درصد

جدول ۷- نتایج برازش معادلات آلومتریک مبتنی بر قطر برابر سینه، ارتفاع درختان و چگالی چوب درختان برای پیش بینی زی توده تنه کاج بروسیا، کاج بادامی، زربین و مستقل از گونه‌ها (ترکیب سه گونه)

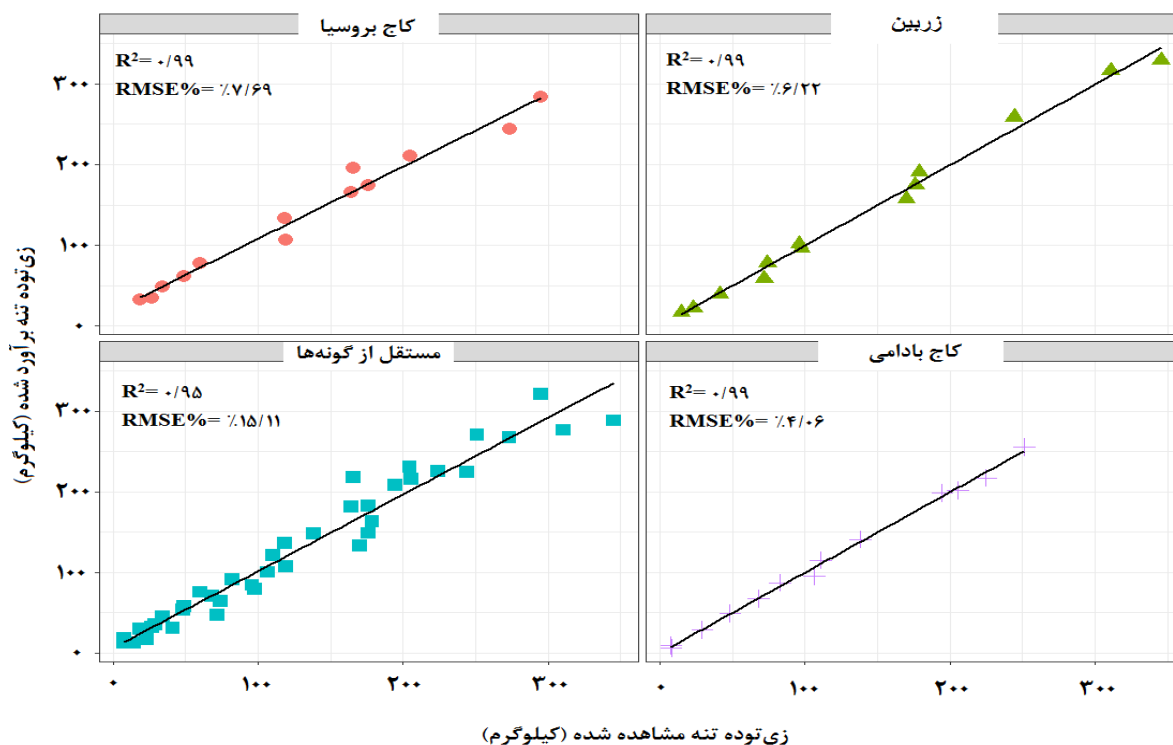
شماره	ضرایب معادله				درصد مجذور میانگین مربعات خطا	ضریب تبیین	آماره اکائیک	میانگین درصد خطای مطلق	ضریب تصحیح
	β_0	β_1	β_2	β_3					
کاج بروسیا									
۲۵	-۳/۶۸	۱/۰۶	-	-	۱۱/۳۸	۰/۹۷	۱۱۵/۳۱	۰/۰۹	۱/۰۰۷
۲۶	۰/۱۱	۱/۸۱	۱/۵۵	۰/۹۴	۷/۶۹	۰/۹۹	۱۱۳/۳۴	۰/۰۸	-
۲۷	-۳/۲۲	۰/۹۶	۱/۰۰۱	-	۱۱/۰۱	۰/۹۷	۱۲۱/۹۸	۰/۰۹	-
۲۸	-۴/۵۰	۱/۸۲	۱/۵۵	-	۸/۰۳	۰/۹۸	۱۱۴/۳۶	۰/۰۸	-
۲۹	-۲۳۰/۴	۸/۴۷	۱۱/۳۷	۰/۰۹	۱۵/۹۸	۰/۹۴	۱۳۲/۰۴	۰/۲۴	-
کاج بادامی									
۲۵	-۴/۵۱	۱/۱۱	-	-	۱۲/۹۲	۰/۹۸	۱۰۵/۶۴	۰/۱۸	۱/۰۱۵
۲۶	۰/۰۶	۱/۸۷	۰/۸۵	۵/۰۱	۵/۴۴	۰/۹۹	۹۹/۱۸	۰/۱۸	-
۲۷	-۲/۹۸	۰/۹۳	۱/۰۰۳	-	۵/۲۸	۰/۹۹	۹۵/۴۴	۰/۱۸	-
۲۸	-۲/۷۹	۱/۸۷	۰/۸۵	-	۵/۱۴	۰/۹۹	۹۹/۱۱	۰/۱۸	-
۲۹	-۸۹/۴۱	۸/۴۷	۵/۴۷-	۰/۹۹	۱۰/۷۶	۰/۹۸	۱۰۷/۵۵	۰/۳۵	-
زربین									
۲۵	-۲/۲۵	۰/۸۷	-	-	۶/۴۱	۰/۹۹	۱۱۰/۰۷	۰/۰۷	۱/۰۰۳
۲۶	۰/۱۲	۱/۷۷	۰/۸۲	۳/۸	۶/۵۳	۰/۹۹	۱۱۰/۶۷	۰/۰۷	-
۲۷	-۲/۱۸	۰/۸۸	۱/۰۱	-	۶/۲۲	۰/۹۹	۱۰۶/۹۴	۰/۰۷	-
۲۸	-۲/۱۳	۱/۷۷	۰/۸۲	-	۶/۸۳	۰/۹۹	۱۱۰/۸۱	۰/۰۷	-
۲۹	-۱۶۳/۹	۹/۴۹	۷/۶۲	۰/۹۹	۱۶/۱۸	۰/۹۵	۱۳۵/۳۶	۰/۳۳	-
مستقل از گونه‌ها (ترکیب سه گونه)									
۲۵	-۳/۳۲	۰/۹۸	-	-	۱۵/۷۶	۰/۹۵	۳۶۰/۰۹	۰/۱۸	۱/۰۲۸
۲۶	۰/۰۶	۱/۸۳	۰/۹۳	۳/۸۱	۱۵/۳۴	۰/۹۵	۳۵۹/۴۴	۰/۱۸	-
۲۷	-۲/۷۴	۰/۹۲	۱/۰۰۱	-	۱۵/۱۱	۰/۹۵	۳۵۵/۴۴	۰/۱۸	-
۲۸	-۲/۷۶	۱/۸۲	۰/۹۳	-	۱۵/۳۳	۰/۹۵	۳۵۹/۴۲	۰/۱۸	-
۲۹	-۱۴۳/۶	۹/۰۱	۴/۹۳	۰/۹۹	۲۰/۸۴	۰/۹۱	۳۸۳/۳۶	۰/۳۸	-

درصد مجذور میانگین مربعات خطا با ۷/۶۹ درصد و بیشترین ضریب تبیین با ۰/۹۹ است. بهترین معادله برای کاج بادامی، معادله ۱۴ (براساس قطر برابر سینه و ارتفاع کل درختان به عنوان متغیر مستقل) است که دارای کمترین درصد مجذور میانگین مربعات خطا با ۴/۰۶ درصد و بیشترین ضریب تبیین با ۰/۹۹ است؛ درحالی که بهترین معادله برای زربین، معادله ۲۷

انتخاب بهترین معادلات آلومتریک برای پیش بینی زی توده تنه کاج بروسیا، کاج بادامی، زربین و مستقل از گونه‌ها (ترکیب سه گونه)
شکل ۳ نشان می‌دهد که بهترین معادله برای پیش بینی زی توده تنه کاج بروسیا، معادله ۲۶ (براساس قطر برابر سینه، ارتفاع درختان و چگالی چوب به عنوان متغیر مستقل) است که دارای کمترین

گونه‌ها، معادله ۲۷ (براساس قطر برابرسینه، ارتفاع درختان و چگالی چوب به‌عنوان متغیر مستقل) دارای کمترین درصد مجذور میانگین مربعات خطا با ۱۵/۱۱ درصد و بیشترین ضریب تبیین با ۰/۹۵ است.

(براساس قطر برابرسینه، ارتفاع درختان و چگالی چوب به‌عنوان متغیر مستقل) است که دارای کمترین درصد مجذور میانگین مربعات خطا با ۶/۲۲ درصد و بیشترین ضریب تبیین با ۰/۹۹ است. برای مستقل از



شکل ۳- زی توده تنه مشاهده شده در برابر زی توده برآورد شده با استفاده از بهترین معادلات برای کاج بروسیا، کاج بادامی، زربین و مستقل از گونه‌ها (ترکیب سه گونه)

بیشترین سهم زی توده کل بود و همبستگی قوی ۹۵ درصد ($p\text{-value} > 0.05$) با زی توده تنه هر سه گونه داشت. چگالی چوب متغیری مهم و بخشی اساسی از معادلات آلومتریک برای برآورد زی توده درختان است و تأثیر زیادی در کاهش خطاها و بهبود کارایی این معادلات دارد (Chave et al., 2014; Mugasha et al., 2016). بنابراین، مطابق با یافته‌های (Chave et al., 2005; Stas et al., 2017)، نتایج این تحقیق نشان داد که با اضافه کردن ارتفاع و چگالی چوب به قطر برابرسینه در معادلات آلومتریک زی توده تنه برای کاج بروسیا، دقت برآورد زی توده تنه بهبود می‌یابد. مطابق با نتایج (Cutini et al., 2013).

بحث

زی توده جنگل علاوه بر اینکه تأثیری اساسی در حفظ زیست‌بوم جنگل دارد، منبع مهم انرژی در چرخه کربن جهانی است (Chen et al., 2017). اطلاعات پژوهش حاضر در جنگل‌های کاشته شده با استفاده از روش مستقیم با سه گونه مختلف جمع‌آوری شد. در این تحقیق، پنج گروه از معادلات آلومتریک برای کاج بروسیا، کاج بادامی و زربین و تعداد زیادی از معادلات آلومتریک برآورد داده شد. مطابق با تحقیقات انجام گرفته مانند (al et., 2014) و (De-Miguel et al., 2018)، زی توده تنه (قطر بیشتر از ۷/۵ سانتی‌متر) برای سه گونه دارای

تنه کاج بروسیا، کاج بادامی، زربین و مستقل از گونه‌ها انتخاب شدند که دلیل احتمالی آن، استفاده از این معادله‌ها در دامنه قطری و ارتفاعی یکسان (کمتر از ۵۰ سانتی‌متر) در هر دو تحقیق است، اما نوع توده متفاوت است.

با توجه به نقش زی توده تنه درختان در مدیریت پایدار جنگل، ذخیره‌سازی دی‌اکسید کربن و کاهش روند گرم شدن کره زمین و با توجه به اینکه تاکنون تحقیقات کمی در زمینه تهیه معادلات آلومتریک برای برآورد زی توده تنه درختان کاج بروسیا، بادامی و زربین انجام گرفته، این تحقیق از اهمیت زیادی برخوردار است. براساس نتایج این پژوهش، توصیه می‌شود که در نبود متغیرهای ارتفاع و چگالی چوب، قطر برابرسینه مهم‌ترین متغیر موجود است و به راحتی اندازه‌گیری می‌شود و همبستگی زیادی نیز با زی توده دارد، اما در دسترس بودن ارتفاع و چگالی چوب، دقت معادلات آلومتریک زی توده تنه را بهبود می‌بخشد. انتخاب مناسب‌ترین معادلات آلومتریک برای کاهش عدم اطمینان در برآورد زی توده تنه ضروری است. از معادلات آلومتریک حاصل می‌توان برای برآورد زی توده درختان بروسیا، بادامی و زربین با این گونه‌ها در شرایط آب‌وهوایی و خاک مشابه در مقیاس منطقه‌ای استفاده کرد. معادلات آلومتریک حاصل برای توده‌های طبیعی زربین در شرایط آب‌وهوایی مشابه نیز کاربرد دارد.

نتایج این تحقیق نشان داد که برای کاج بادامی، با افزودن ارتفاع و چگالی چوب به قطر برابرسینه در معادلات آلومتریک زی توده تنه، مقدار نسبی درصد مجذور میانگین مربعات خطا و ضریب تبیین بهبود نیافته است (Röhling et al., 2019). نتایج برای زربین و مستقل از گونه‌ها نشان داد که در صورت موجود بودن فقط داده قطر برابرسینه، معادله آلومتریک ۵ دارای بیشترین ضریب تبیین با ۰/۹۸ و ۰/۹۲ بود که با تحقیق (Basuki et al., 2009) با دامنه قطری و ارتفاعی یکسان (کمتر از ۵۰ سانتی‌متر) و تعداد نمونه‌های یکسان است؛ اما نوع توده متفاوت است. اگر فقط داده ارتفاع درختان موجود باشد، معادله آلومتریک ۷ دارای بیشترین ضریب تبیین با ۰/۸۱ و ۰/۴۰ است که با تحقیق (Lupi et al., 2016) در توده جنگلکاری انجام گرفته است. اگر متغیر قطر برابرسینه، ارتفاع و چگالی چوب در دسترس باشد، معادله ۲۷ دارای بیشترین ضریب تبیین یعنی ۰/۹۹ و ۰/۹۵ است. مطابق با یافته‌های (Bi et al. (2015) و Huy et al. (2016)، نتایج این تحقیق نشان داد که با اضافه کردن ارتفاع و چگالی چوب به قطر برابرسینه در معادلات آلومتریک زی توده تنه، مقدار نسبی درصد مجذور میانگین مربعات خطا و ضریب تبیین بهبود یافته است. نتایج این تحقیق نشان داد که معادله ۲۶ (Kebede & Soromessa) و معادله ۱۴ (Lupi) و همکاران و معادله ۲۷ (Ngomanda) و همکاران، مناسب‌ترین معادله‌ها برای برآورد زی توده

References

- Alexandre, T., Adamou, I., & Tchobsala, M.L. (2019). Allometric equations for predicting biomass of *Daniellia oliveri* (Rolfe) Hutch. & Dalz. stands in the Sudano-Guinea Savannas of Ngaoundere, Cameroon. *Ecology and Evolutionary Biology*, 4(2), 15-22.
- Ali, H., Mohammadi, J., & Shataee, SH. (2020). Determination of form factor for three species (*Pinus brutia*, *Pinus pinea* and *Cupressus sempervirens*) in the Arabdagh reforests, Golestan province. *J. of Wood & Forest Science and Technology*, 27(1), 31-44.
- Andrade, H. J., Segura, M. A., Feria, M. & Suárez, W. (2018). Above-ground biomass models for coffee bushes (*Coffea arabica* L.) in Líbano, Tolima, Colombia. *Agroforestry Systems*, 92(3), 775-784.

- Balbinot, R., Trautenmüller, J.W., & Caron, B.O., Breunig, F. M., Lambrecht, F. R. & Júnior, S. C. (2017). Trunk biomass estimation by different methods in a Subtropical forest. *Floresta*, 47(4), 553-560.
- Basuki, T.M., Van Laake, P.E., Skidmore, A.K. & 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.
- Bi, H., Murphy, S., Volkova, L., Weston, C., Fairman, T., Li, Y., & Caccamo, G. (2015). Additive biomass equations based on complete weighing of sample trees for open eucalypt forest species in south-eastern Australia. *Forest Ecology and Management*, 349, 106-121.
- Bronisz, K., Strub, M., Cieszewski, C., Bijak, S., Bronisz, A., Tomusiak, R., & Zasada, M. (2016). Empirical equations for estimating aboveground biomass of *Betula pendula* growing on former farmland in central Poland. *Silva Fennica*, 50(4), 1-17.
- Canga, E., Aranda, I.D., Khouri, E.A., & Obregon, A.C. (2013). Above-ground biomass equations for *Pinus radiata* D. Don in Asturias. *Forest systems*, 22(3), 408-415.
- Carnus, J.M., Parrotta, J., Brockerhoff, E., Arbez, M., Jactel, H., Kremer, A., & Walters, B. (2006). Planted forests and biodiversity. *Journal of Forestry*, 104(2), 65-77.
- Charkazi, A., Amiri, M., Ravanbakhsh, H., & Moghadasi, D. (2016). Examination of Quantitative and Qualitative Characteristics of *Cupressus Sempervirens* Var. *Horizontalis* and *Pinus Brutia* in Plantation Forests in the Ramian, Golestan Province. *J. of Wood & Forest Science and Technology*, 23(4), 1-21.
- Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M.A., Chambers, J.Q., Eamus, D., & Yamakura, T. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145(1), 87-99.
- Chave, J., Réjou-Méchain, M., Búrquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M.S., Delitti, W.B., & Vieilledent, G. (2014). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global change biology*, 20(10), 3177-3190.
- Chen, D., Huang, X., Zhang, S., & Sun, X. (2017). Biomass modeling of larch (*Larix* spp.) plantations in China based on the mixed model, dummy variable model, and Bayesian hierarchical model. *Forests*, 8(8), 268.
- Correia, A.C., Faias, S.P., Ruiz-Peinado, R., Chianucci, F., Cutini, A., Fontes, L., & Tomé, M. (2018). Generalized biomass equations for Stone pine (*Pinus pinea* L.) across the Mediterranean basin. *Forest Ecology and Management*, 429, 425-436.
- Cutini, A., Chianucci, F., & Manetti, M.C. (2013). Allometric relationships for volume and biomass for stone pine (*Pinus pinea* L.) in Italian coastal stands. *Iforest-Biogeosciences and Forestry*, 6(6), 331.
- De-Miguel, S., Pukkala, T., Assaf, N., & Shater, Z. (2014). Intra-specific differences in allometric equations for aboveground biomass of eastern Mediterranean *Pinus brutia*. *Annals of Forest Science*, 71, 101-112.
- Djomo, A.N., Ibrahima, A., Saborowski, J., & 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.
- Dong, L., Zhang, L., & Li, F. (2016). Developing two additive biomass equations for three coniferous plantation species in Northeast China. *Forests*, 7(7), 136.
- Ebuy, J., Lokombe, J.P., Ponette, Q., Sonwa, D., & Picard, N. (2011). Allometric equation for predicting aboveground biomass of three tree species. *Journal of Tropical Forest Science*, 125-132.
- FAO, (2010). Global forest resource assessment. Rome.

- Feyisa, K., Beyene, S., Megersa, B., Said, M.Y., & Angassa, A. (2018). Allometric equations for predicting above-ground biomass of selected woody species to estimate carbon in East African rangelands. *Agroforestry Systems*, 92(3), 599-621.
- FRWO, (2019). Forests, Range and Watershed Organization.
- Ghandehari, V., Payamnoor, V., & Amiri, M. (2012). Improvement of germination characteristics in *Pinus brutia*, *P. eldarica* and *P. pinea* by soaking seeds in water. *J. of Conservation and Utilization of Natural Resources*, 1(1), 35-50.
- Hallaj, M.H.S. & Rostaghi, A.A. (2011). Study on growth performance of Turkish pine (case study: Arabdag afforestation plan, Golestan Province). *Iranian Journal of Forest*, 3(3), 201-212.
- He, H., Zhang, C., Zhao, X., Fousseni, F., Wang, J., Dai, H., & Zuo, Q. (2018). Allometric biomass equations for 12 tree species in coniferous and broadleaved mixed forests, Northeastern China. *PLoS one*, 13(1), 1-16.
- Henry, M., Besnard, A., Asante, W.A., Eshun, J., Adu-Bredu, S., Valentini, R., & Saint-André, L. (2010). Wood density, phytomass variations within and among trees, and allometric equations in a tropical rainforest of Africa. *Forest Ecology and Management*, 260(8), 1375-1388.
- Henry, M., Picard, N., Trotta, C., Manlay, R., Valentini, R., Bernoux, M., & Saint-André, L. (2011). Estimating tree biomass of sub-Saharan African forests: a review of available allometric equations. *Silva Fennica*, 45(3), 477-569.
- Huy, B., Poudel, K.P., Kralicek, K., Hung, N.D., Khoa, P.V., Phuong, V.T., & Temesgen, H. (2016). Allometric equations for estimating tree aboveground biomass in tropical dipterocarp forests of Vietnam. *Forests*, 7(8), 180.
- IPCC, (2014). Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Green-house Gas Inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Switzerland. Climate change.
- Istrefi, E., Toromani, E., Collaku, N., & Thaci, B. (2019). Allometric biomass equations for young trees of four broadleaved species in Albania. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 49.
- Johansson, T. (2007). Biomass production and allometric above-and below-ground relations for young birch stands planted at four spacings on abandoned farmland. *Forestry*, 80(1), 41-52.
- Kebede, B., & Soromessa, T. (2018). Allometric equations for aboveground biomass estimation of *Olea europaea* L. subsp. *cuspidata* in Mana Angetu Forest. *Ecosystem Health and Sustainability*, 4(1), 1-12.
- Krejza, J., Světlík, J., & Bednář, P. (2017). Allometric relationship and biomass expansion factors (BEFs) for above-and below-ground biomass prediction and stem volume estimation for ash (*Fraxinus excelsior* L.) and oak (*Quercus robur* L.). *Trees*, 31(4), 1303-1316.
- Lü, X.T., Yin, J.X., Jepsen, M.R., & Tang, J.W. (2010). Ecosystem carbon storage and partitioning in a tropical seasonal forest in Southwestern China. *Forest Ecology and Management*, 260(10), 1798-1803.
- Lupi, C., Larocque, G., DesRochers, A., Labrecque, M., Mosseler, A., Major, J., & Ferland-Raymond, B. (2016). Evaluating sampling designs and deriving biomass equations for young plantations of poplar and willow clones. *Biomass and Bioenergy*, 83, 196-205.
- Magalhães, T.M., Cossa, V.N., Guedes, B.S. & Fanheiro, A.S.M. (2020). Species-specific biomass allometric models and expansion factors for indigenous and planted forests of the Mozambique highlands. *Journal of Forestry Research*, 1-19.
- Mate, R., Johansson, T., & Siteo, A. (2014). Biomass equations for tropical forest tree species in Mozambique. *Forests*, 5(3), 535-556.

- Mensah, S., Veldtman, R., Du Toit, B., Glèlè Kakai, R., & Seifert, T. (2016). Aboveground biomass and carbon in a South African mistbelt forest and the relationships with tree species diversity and forest structures. *Forests*, 7(4), 79.
- Moore, J.R. (2010). Allometric equations to predict the total above-ground biomass of radiata pine trees. *Annals of Forest Science*, 67(8), 806.
- Mugasha, W.A., Eid, T., Bollandasås, O.M., Malimbwi, R.E., Chamshama, S.A.O., Zahabu, E., & 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.
- Mugasha, W.A., Mwakalukwa, E.E., Luoga, E., Malimbwi, R.E., Zahabu, E., Silayo, D.S., & Kashindye, A. (2016). Allometric models for estimating tree volume and aboveground biomass in lowland forests of Tanzania. *International Journal of Forestry Research*. 1-13.
- Ngomanda, A., Obiang, N.L.E., Lebamba, J., Mavouroulou, Q.M., Gomat, H., Mankou, G.S., & Picard, N. (2014). Site-specific versus pantropical allometric equations: Which option to estimate the biomass of a moist central African forest?. *Forest Ecology and Management*, 312, 1-9.
- Otukei, J.R., & Emanuel, M. (2015). Estimation and mapping of above ground biomass and carbon of Bwindi impenetrable National Park using ALOS PALSAR data. *South African Journal of Geomatics*, 4(1), 1-13.
- Röhling, S., Demant, B., Dunger, K., Neubauer, M., Oehmichen, K., Riedel, T., & Stümer, W. (2019). Equations for estimating belowground biomass of Silver Birch, Oak and Scots Pine in Germany. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 12(2), 166.
- Sabeti, H. (2002). Forest trees and shrubs of Iran. *Issued Yazd*, 806p.
- Sharifi, A., Amini, J., & Pourshakouri, F. (2016). Development of an allometric model to estimate above-ground biomass of forests using MLPNN algorithm, case study: Hyrcanian forests of Iran. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 14(2), 125-137.
- Shater, Z., de-Miguel, S., Kraid, B., Pukkala, T., & Palahi, M. (2011). A growth and yield model for even-aged *Pinus brutia*. Ten. Stands in Syria. *Annals of Forest Science*. 68, 149-157.
- Shi, L., & Liu, S. (2017). Methods of estimating forest biomass: A review. *Biomass Volume Estimation and Valorization for Energy*, 10, 65-73.
- Sohrabi, H., & 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.
- Sivakumar, M.V., Lal, R., Selvaraju, R., & Hamdan, I. (2013). Climate change and food security in West Asia and North Africa. *Springer Netherlands*. 1-423.
- Socha, J., & Kulej, M. (2007). Variation of the tree form factor and taper in European larch of Polish provenances tested under conditions of the Beskid Sądecki mountain range (southern Poland). *Journal of forest science*, 53(12), 538-547.
- Soofizadeh, N., Hosseini, S.M., & Tabari, M. (2010). Effect of seed sowing date, irrigation and weed control on some quantitative and qualitative characteristics of *Pinus brutia* seedlings in nursery. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 18 (1), 77-89.
- Stas, S.M., Rutishauser, E., Chave, J., Anten, N.P., & 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.
- Teobaldelli, M., Somogyi, Z., Migliavacca, M., & Usoltsev, V.A. (2009). Generalized functions of biomass expansion factors for conifers and broadleaved by stand age, growing stock and site index. *Forest Ecology and Management*, 257(3), 1004-1013.

- 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.
- Vahedi, A. A., Metaji, A., Babaei-Kafaei, S., Eshaghi-Rad, J. & Hojjati, M. (2013). Modeling the bole mass of beech (*Fagus Orientalis* L.) through allometric equations within Hyrcanian forests. *Iranian Journal of Forest*, 5(3), 309-322.
- Vashum, K.T., & Jayakumar, S. (2012). Methods to estimate above-ground biomass and carbon stock in natural forests-A review. *Journal of Ecosystem & Ecography*, 4, 1-7.
- Vieilledent, G., Vaudry, R., Andriamanohisoa, S.F., Rakotonarivo, O.S., Randrianasolo, H.Z., Razafindrabe, H.N., & Rasamoelina, M. (2012). A universal approach to estimate biomass and carbon stock in tropical forests using generic allometric models. *Ecological Applications*, 22(2), 572-583.
- Xayalath, S., Hirota, I., Tomita, S., & Nakagawa, M. (2019). Allometric equations for estimating the aboveground biomass of bamboos in northern Laos. *Journal of Forest Research*, 24(2), 115-119.
- Xue, Y., Yang, Z., Wang, X., Lin, Z., Li, D. & Su, S. (2016). Tree biomass allocation and its model Additivity for *Casuarina equisetifolia* in a tropical forest of Hainan Island, China. *PloS one*, 11(3), 1-20.
- Youkhana, A.H., Ogoshi, R.M., Kiniry, J.R., Meki, M.N., Nakahata, M.H., & Crow, S.E. (2017). Allometric models for predicting aboveground biomass and carbon stock of tropical perennial C4 grasses in Hawaii. *Frontiers in plant science*, 8, 650.
- Yuen, J.Q., Fung, T., & Ziegler, A.D. (2016). Review of allometric equations for major land covers in SE Asia: Uncertainty and implications for above-and below-ground carbon estimates. *Forest Ecology and Management*, 360, 323-340.
- Zewdie, M., Olsson, M., & 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.
- Zianis, D., Muukkonen, P., Mäkipää, R., & Mencuccini, M. (2005). Biomass and stem volume equations for tree species in Europe. *Silva Fennica Monographs* 4, 4(2), 5-63.



Research Article

Determination of allometric equations for estimating stem biomass of three species of *Pinus brutia* Ten., *Pinus pinea* L. and *Cupressus sempervirens* L. in the Arabdagh reforests, Golestan province

H. Ali^{1*}, j. Mohammadi², and Sh.Shataee. Joybary³

¹ Ph.D. Student, Dept. of Forestry, Faculty of Forest Science, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resource, Gorgan, I. R. Iran

² Assistant Prof., Dept. of Forestry, Faculty of Forest Science, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resource, Gorgan, I. R. Iran

³ Prof., Dept. of Forestry, Faculty of Forest Science, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resource, Gorgan, I. R. Iran

(Received: 12 April 2021; Accepted: 27 May 2021)

Abstract

Accurate measurements of above-ground biomass and selection of the most appropriate allometric equations are major challenges in evaluating tree biomass. Therefore, the development of allometric equations for each species is essential for accurate above-ground-biomass estimation. This study aimed to estimate the stem biomass of three conifers *Pinus brutia*, *Pinus pinea*, and *Cupressus sempervirens* in Arabdagh reforest using the allometric equations. In order to model the stem biomass, three main characteristics of diameter at breast height (DBH), height (H) and wood density (ρ), were used separately and in combination to fit the equations. The results of this study showed that if the DBH alone was available for the *Pinus brutia*, the obtained equation had the highest coefficient of determination (R^2) (0.90). By adding H and ρ into DBH in stem allometric equation, the R^2 increased by 9% and RMSE % decreased by 12.63%. For *Pinus pinea*, the results showed that if the DBH was available the obtained equation had the highest R^2 (0.99). By adding H and ρ into DBH in stem allometric equation, the R^2 and RMSE % values did not improve. The results of *Cupressus sempervirens*, showed that if the DBH was available the obtained equation had the highest R^2 (0.98) and the lowest RMSE% (9.81%). By adding H and ρ into DBH in stem allometric equations, the R^2 increased by 1% and RMSE% decreased by 3.59%. The results can be used to estimate the above-ground biomass with these species in similar climate and soil conditions at a local scale.

Keywords: Allometric equations, Stem biomass, Diameter at breast height, Height, Wood density.