مجله پژوهش و توسعه جنگل
جلد ۱ شماره ۳، صفحه ۲۰۸-۱۹۵، (۱۳۹۴)

ارائه پروتکل بهینه برای فروش نهال‌های یک‌ساله صنوبر دلتوئیدس (*Populus deltoides*) با استفاده از مدل‌سازی معادلات آلومتریک

علی‌اصغر واحدی*
دکتری جنگلداری، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۹٤/۰۸/۲۷ تاریخ پذیرش: ۹٤/۱۰/۱۸

چکیده

امروزه کشت گونه‌های مختلف صنوبر مانند گونهٔ دلتوئیدس علاوه بر رفع موانع مرتبط با محدودیت‌های انرژی زیستی و حوضچه‌های کربن، یکی از مهم‌ترین منابع سلولزی و اقتصادی کشور محسوب می‌شود. تحقیق حاضر با مدل‌سازی معادلات آلومتریک زی‌توده نهال گونهٔ مذکور پس از یک‌فصل رویش علاوه بر افزایش دقت پیش‌بینی مقادیر زی‌توده، درصدد ارائه پروتکل مناسب برای انتخاب نهال‌های برتر برای عرضه بهینه فروش است. به همین منظور تعداد ۲۵ قلمه از گونهٔ مورد بررسی با سه تکرار در کرت‌های یک مترمربع با شرایط رویشگاهی و تیمار کاملاً ثابت در نهالستان تلوکلای ساری کاشته شده و یک سال پس از کاشت، نهال‌ها به تعداد مختلف از سه طبقه قطری یقه ۱ – ۰، ۲- ۱/۱، ۳- ۲/۱ سانتی‌متر با ریشه از خاک خارج شده و به مدت ٤۸ ساعت در دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد آون خشک شدند. برای مدل‌سازی از تبدیل لگاریتمی تابع توانی مبتنی بر دو متغیر قطر یقه و ارتفاع کل استفاده شد. نتایج نشان داد مدل‌های مبتنی بر تحلیل خطی چندگانه با توجه به عدم همبستگی خطی (VIF <۱۰) دارای دقت برآوردی قابل ملاحظه نبودند. مدل‌های توانی تبدیلی برحسب قطر یقه مربوط به زی‌توده هوایی و مدل مذکور شامل ترکیب مربع قطر و ارتفاع ($D^2 \times H$) مربوط به زی‌توده زیرزمینی و زی‌توده کل، مدل‌های بهینه برای گزینش نهال‌های برتر برای عرضه بهینه فروش در منطقه مورد پژوهش معرفی شدند. مدل‌های بهینه مذکور در قالب یک سند می‌توانند جایگزین روش فعلی فروش (بر مبنای ارتفاع و قطر یقه نهال‌ها) برای کسب درآمد بیشتر و ترغیب برای افزایش سطح کشت درختان گونهٔ مورد بررسی محسوب شوند.

واژه‌های کلیدی: انرژی زیستی، فروش سالیانه، زراعت چوب، زی‌توده.

* نویسنده مسئول: Email: ali.vahedi60@gmail.com

مقدمه

در عصر حاضر به دلیل اینکه افزایش گاز دی‌اکسید کربن به‌عنوان یکی از مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای منجر به افزایش گرمایش جهانی و در نتیجه سبب تغییرات آب و هوایی زمین شده، از این‌رو کنوانسیون تغییرات آب و هوایی سازمان ملل متحد (UNFCC) تحت پروتکل کیوتو کشورهای امضاکننده و دیگر کشورهای جهان را موظف کرده که میزان انتشار دی‌اکسید کربن را از طریق افزایش کشت درختان چوبی کاهش دهند (Perez *et al.,* 2007). از این‌رو افزایش سطوح زراعت چوب در محیط‌های کشت چوب علاوه بر صرفه اقتصادی می‌تواند راه‌حل سازگار و مفیدی در این زمینه محسوب شود. امروزه افزایش مصرف محصولات چوبی و محدودیت روز افزون منابع سلولزی از یک‌طرف و طولانی بودن دوره برداشت گونه‌های جنگلی از طرف دیگر، روند رو به گسترش تخریب جنگل‌ها و آثار محیط زیستی آن معضلاتی هستند که منجر به کشت گونه‌های درختی با دوره چرخش کوتاه، نرخ رشد سریع، توزیع گسترده، تنوع ژنتیکی قابل توجه، سهولت نسبی هیبریداسیون و به‌ویژه تولید بالای زی‌توده شده است (Parikka, 2004; Deckmyn *et al.,* 2004). در ایران نیز به‌منظور رفع کمبود چوب و فرآورده‌های آن، سازمان جنگل‌ها و مراتع از سال ۱۳۶۰ مبادرت به کشت گسترده صنوبر و سایر گونه‌های تند رشد غیربومی در شمال کشور مانند استان مازندران کرده است (Kia Daliri *et al.,* 2004). معمولاً درختان با قدرت رشد بالا، تولید زی‌توده بالا و مقاومت در برابر بیماری‌ها برای افزایش تولید انتخاب می‌شوند (Guo and Zhang, 2010). مثالی از این درختان با نرخ رشد سریع و تولید حداکثر زی‌توده، گونهٔ صنوبر دلتوئیدس (*Populus deltoides*) است که در سطح وسیعی در شمال کشور کشت می‌شود. یکی از اهداف اقتصادی کوتاه مدت نهالستان‌ها کشت قلمه‌های درختان گونه‌های تند رشد (مانند کلن‌های گونه‌های مختلف صنوبر) برای تولید نهال‌ها و درآمد اقتصادی برای عرضه آن‌ها به اراضی کشت زراعت چوب است. از این‌رو، ارزیابی و قیمت‌گذاری نهال‌های تولید شده برای افزایش درآمد حاصل از فروش به‌صورت اصولی و صحیح، رویکردی اساسی تلقی می‌شود. در واقع، اجرای رویکرد درست برای عرضه بهینه نهال‌های درختان گونه‌های تند رشد نه‌تنها سبب افزایش درآمد مالی می‌شود، بلکه این امر منجر به ترغیب هرچه بیشتر برای افزایش سطح کشت گونه‌های مذکور و توسعه حوضچه‌های کربن و منابع سلولزی به‌عنوان مواد خام کلیه صنایع وابسته می‌شود. در این خصوص، معمولاً انتخاب نهال‌های برتر و مبنای قیمت‌گذاری به روش سنتی و بر اساس قطر یقه و یا ارتفاع کل نهال‌ها صورت می‌گیرد. در داخل کشور روش فعلی فروش نهال‌های کلن‌های مختلف صنوبر نیز مبنی بر مقادیر قطر یقه و بیشتر بر اساس ارزیابی اندازه ارتفاع است. ولی پژوهش‌های متعددی نشان دادند که روش مذکور نمی‌تواند مبنای صحیحی باشد چرا که یافته‌های تحقیقات متعدد نشان داده است که ارزیابی و رتبه‌بندی نهال‌ها بر اساس مقادیر مختلف زی‌توده نتایج درست، مطمئن و قابل توجهی نسبت به روش سنتی در اختیار قرار می‌دهد (Brown *et al.,* 1996; Guo and Zhang, 2010). اندازه‌گیری زی‌توده گیاهی به‌منظور پیش‌بینی میزان تولید، علاوه بر اینکه زمان خیلی زیاد و هزینه‌های طاقت‌فرسایی را می‌طلبد بیشتر در سطوح کوچک صورت می‌گیرد و مستلزم نمونه‌برداری تخریبی است (Ketterings *et al.,* 2001; Fehrmann and Kleinn, 2006). از این‌رو استفاده از معادلات آلومتریک در قالب مدل‌های مختلف و در سطوح

خیلی وسیع به‌منظور برآورد هرچه دقیق‌تر زی‌توده گیاهی می‌تواند بسیار کارآمد واقع شود. در رابطه با برآورد زی‌توده گیاهی در اندازه‌های خرد می‌توان به تحقیق Nowak (1996) و Adl (2007) در رابطه با برآورد زی‌توده برگ درختان اشاره کرد که برای تبیین حداکثر دقت از ترکیب‌های مختلف بیوفیزیکی درختان استفاده کردند. یا می‌توان به پژوهش Singh و همکاران (2011) اشاره کرد که برای مدل‌سازی آلومتریک درختچه *Holoptelea integrifolia* در منطقه ترای هند، به‌منظور برآورد زی‌توده هوایی از قطر یقه به‌عنوان مهم‌ترین متغیر تأثیرگذار استفاده کردند که حداکثر کلاسه قطری در مدل‌سازی، کلاسه ۳ – ۲ سانتی‌متر مدنظر قرار گرفته شد. همچنین می‌توان به پژوهش Geuden و همکاران (2004) در رابطه با مدل‌سازی آلومتریک نهال‌های کاج جنگلی (*Pinus sylvestris* L.) در شمال بلژیک اشاره کرد که در این خصوص نهال‌های با قطر یقه حداقل ۰/۳ سانتی‌متر برای نمونه‌برداری تخریبی و تخمین زی‌توده مبنای مدل‌سازی قرار گرفتند. Joosten و همکاران (2004) نیز برای مدل‌سازی مقدار زی‌توده درختان راش (*Fagus sylvatica* L.) در رویشگاه‌های غرب آلمان از نمونه‌برداری تخریبی نهال‌های راش بر اساس مقادیر مختلف قطر یقه و ارتفاع به‌عنوان متغیر مستقل استفاده کردند. البته در این راستا Vahedi و همکاران (2013) در رابطه با مدل‌سازی آلومتریک زی‌توده تنه راش (*Fagus orientalis* L.) در جنگل‌های هیرکانی گزارش دادند که در مدل‌سازی‌های آلومتریک عوامل بیوفیزیکی نباتات مانند قطر ساقه و ارتفاع به‌عنوان مهم‌ترین عوامل افزایش دقت برآورد زی‌توده محسوب می‌شوند. در رابطه با مدل‌سازی آلومتریک نهال‌های صنوبر در داخل کشور اطلاعات مستندی وجود ندارد ولی می‌توان به پژوهش Parsapour و همکاران (2013) برای برآورد زی‌توده هوایی چهار گونهٔ مختلف درختان صنوبر در استان چهارمحال و بختیاری اشاره کرد که ایشان نیز از قطر برابرسینه و ارتفاع در مدل‌های توانی استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که مدل توانی تک متغیره با استفاده از قطر به‌عنوان مدل بهینه محاسباتی برای برآورد زی‌توده درختان مورد بررسی معرفی می‌شود.

با استناد به اینکه گونهٔ صنوبر دلتوئیدس (*P. deltoides*) یکی از گونه‌های رایج و غیربومی زیر کشت وسیع برای تأمین مصارف سلولزی در کشور است، پژوهش حاضر با ارائه مدل‌سازی آلومتریک زی‌توده نهال گونهٔ مذکور در شرایط تیمار و پرورش کاملاً یکسان رویشگاهی درصدد فراهم کردن ابزاری مناسب برای پیش‌بینی میزان تولید زی‌توده نهال‌های مذکور برای ارزیابی و رتبه‌بندی صحیح به‌منظور انتخاب نهال‌های برتر برای عرضه بهینه برای فروش است؛ بنابراین معیار فروش نهال‌ها بر اساس تخمین درست مقادیر واقعی زی‌توده برای درآمد بیشتر، سبب تشویق هر چه بیشتر برای افزایش سطح کشت زراعت چوب در زمین‌های بلااستفاده برای جلوگیری از هجوم تصرف روستانشینان (به‌منظور فروش اراضی)، تأمین مصارف سلولزی، انرژی زیستی و توسعه حوضچه‌های کربن آلی می‌شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

پژوهش حاضر در نهالستان تلوکلا واقع در استان مازندران صورت پذیرفت که از نظر مختصات جغرافیایی در طول ۵۳ درجه شرقی و عرض ۳۷ دقیقه و ۳۶ درجه شمالی واقع شده، که ارتفاع آن از سطح دریای آزاد ۱۲۰ متر است. نهالستان تلوکلا در مجاورت جاده ساری– سمنان قرار گرفته و در سال

۱۳٦۱ به‌منظور تأمین نهال برای عرصه‌های جنگلکاری شرکت چوب و کاغذ مازندران احداث شد و (Pourasgari, 1996). آمار و اطلاعات هواشناسی که از ایستگاه‌های هواشناسی ریگ چشمه و تجن جمع‌آوری شد، نشان می‌دهد که متوسط حداکثر دما در گرم‌ترین ماه سال (مردادماه)، ۲۷/٤ درجه سانتی‌گراد و متوسط حداقل دما در سردترین ماه سال (بهمن‌ماه) دو درجه سانتی‌گراد است. این منطقه در مجموع با ۸٤۸ میلی‌متر بارندگی سالانه دارای آب و هوایی معتدل و مرطوب است. خاک نهالستان تقریباً یکنواخت بوده و دارای بافت لومی رسی شنی بوده و به‌طورکلی در گروه خاک‌های لومی با بافت متوسط قرار دارد (Pourasgari, 1996).

روش تحقیق

به‌منظور دستیابی به اهداف این تحقیق، کاشت قلمه‌های صنوبر دلتوئیدس (*P. deltoides*) در نهالستان تلوکلا صورت گرفت. برای بررسی میزان تولید زی‌توده گونه مورد نظر، قلمه‌هایی به طول ۲۵ سانتی‌متر و دارای حداقل سه جوانه پایا (Fara *et al.,* 2009; Filat *et al.,* 2010) تهیه شد و در اسفندماه سال ۱۳۹۱، قلمه‌ها با سه تکرار در کرت‌های یک مترمربع کاشته شدند. در هر کرت تعداد ۲۵ قلمه و در مجموع تعداد ۷۵ قلمه در سه کرت کاشته شدند. لازم به ذکر است که کرت‌ها از نظر شرایط خاک، آبیاری و مبارزه با علف‌های هرز از شرایط یکسانی برخوردار بودند و در طول فصل رویش آبیاری کرت‌ها به‌صورت بارانی و سه تا چهار بار در هفته و هر بار به مدت دو ساعت صورت پذیرفت. در پایان فصل رویش در دی‌ماه سال ۱۳۹۲، میزان تولید زی‌توده در هر یک از کرت‌ها مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. برای اندازه‌گیری میزان زی‌توده، در هر کرت با توجه به تعداد و توزیع قطری پایه‌های موجود به ترتیب حداکثر ٤، ۸ و ۱۸ پایه نهال به‌طور تصادفی به ترتیب از سه طبقه قطر یقه (۱ – ۰، ۲– ۱/۱، ۳– ۲/۱ سانتی‌متر) به‌طور کامل و با ریشه از خاک خارج شده و در کیسه‌های پلاستیکی به آزمایشگاه منتقل شدند (Aboal *et al.,* 2005; Singh *et al.,* 2011). سپس ریشه و ساقه نهال‌ها از هم جدا شده و پس از جدا کردن گل و لای از ریشه‌ها و توزین، به مدت ٤۸ ساعت و با دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد در آون خشک شده و ضریب خشکی آن‌ها محاسبه شد (Guo and Zhang, 2010). مقادیر زی‌توده از حاصل‌ضرب مجموع وزن هر بخش (ساقه و ریشه) و ضریب نسبت وزن خشک به وزن‌تر نمونه‌های مرتبط به دست آمد (Navar, 2009; Henry *et al.,* 2010; Guo and Zhang, 2010; Ribeiro *et al.,* 2011).

تجزیه و تحلیل آماری

به‌منظور مدل‌سازی زی‌توده نهال گونهٔ مورد بررسی، دو ویژگی قطر یقه، ارتفاع کل نهال‌های صنوبر برای برازش مدل‌ها مورد استفاده قرار گرفتند. با استناد بر اینکه کاشت و داشت گونهٔ مورد بررسی برای نمونه‌برداری تخریبی مربوط به یک دوره رویشی است از این‌رو متغیر سن در تمامی مدل‌ها ثابت در نظر گرفته شد. با توجه به بررسی‌های وسیع صورت گرفته از ویژگی‌های مذکور (قطر و ارتفاع) با ترکیب‌های مختلف تحت عنوان متغیرهای ترکیب یافته در مدل‌های آلومتریک مختلف استفاده شد (Adl, 2007; Vahedi *et al.,* 2013). مدل‌های آلومتری زی‌توده نهال گونهٔ مورد بررسی بر مبنای حداقل مربعات مورد برازش قرار گرفتند. در این تحقیق به‌منظور مدل‌سازی از مدل‌های توانی به‌عنوان مدل پایه و سپس از مدل لگاریتمی تغییر شکل یافته استفاده شد. در مدل‌های رگرسیونی مدل توانی برازش داده‌ها بر اساس کمیتی که به‌عنوان متغیر مستقل (قطر یقه یا ارتفاع) قرار

می‌گیرد به‌صورت غیرخطی نشان داده می‌شود. درصورتی‌که مدل خطی لگاریتمی تغییر شکل یافته، برازش مشاهدات واقعی را به‌صورت خطی نشان می‌دهد. در این میان نکته حائز اهمیت از اینجا نشأت می‌گیرد که مدل لگاریتمی تغییر شکل یافته ارائه شده، همان مدل تغییر شکل یافته مدل توانی از طریق تبدیل لگاریتم طبیعی است. تبدیل لگاریتمی سبب ایجاد خطای سیستماتیک می‌شود که در نهایت در باز تبدیل با محاسبه عامل تصحیح (CF)، کاهش محاسباتی مذکور برطرف می‌شود (Djomo *et al.,* 2010; Henry *et al.,* 2010; Vahedi *et al.,* 2013). از این‌رو به‌منظور بررسی تغییرات و تبیین کفایت مدل‌های مربوطه عامل تصحیح با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$CF = Exp (SEE^2 / 2) \qquad CF > 1 \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

در این رابطه CF و SEE به ترتیب ضریب تصحیح و اشتباه معیار برآورد رگرسیون است. در هریک از مدل‌های خطی لگاریتمی ارائه شده زی‌توده کل (Y_T) نهال‌های گونهٔ مورد بررسی از مجموع زی‌توده هوایی (Y_S) و زی‌توده زیرزمینی (Y_R) به دست می‌آید (Navar *et al.,* 2004):

$$Y_T\ (g/year) = Exp (\ln Y_S + \ln Y_R) \qquad \text{(رابطه ۲)}$$

در مدل‌های محاسباتی از ترکیب مختلف قطر و ارتفاع برای تبیین افزایش دقت استفاده شد (Nowak, 1996; Adl, 2007;Vahedi *et al.,* 2013). اعتبارسنجی هر یک از مدل‌های معرفی شده بر اساس آزمون t ضرایب به‌دست‌آمده، ضریب تبیین تصحیح یافته (R^2_{adj})، میانگین مربعات باقی‌مانده‌ها و عامل تصحیح (CF) صورت می‌گیرد (Chave *et al.,* 2005; Basuki *et al.,* 2009; Djomo *et al.,* 2010; Ribeiro *et al.,* 2010). البته برای تبیین هرچه بهتر و مدل‌سازی تکمیلی معادلات آلومتری از مدل‌های تجربی نیز استفاده شد. مدل‌های ارائه شده مدل‌های خطی چند متغیره است که برای شناسایی هم خطی چندگانه بین متغیرهای مستقل از آزمون تشخیص هم خطی استفاده شد که بر مبنای حداقل فاکتور تورم واریانس (VIF<10) مدل‌های مربوطه دارای عدم همبستگی معنی‌دار بین متغیرهای مستقل بوده و متعاقباً مورد اعتبار محاسباتی قرار می‌گیرند (Bihamta and Zare-Chahouki, 2011). محاسبات آماری در نرم‌افزار SPSS 17 صورت گرفت.

نتایج

معادلات لگاریتمی خطی حاصل از تبدیل مدل توانی برحسب قطر یقه طبق شاخص‌های محاسباتی و شاخص‌های اعتباری نشان دادند که برآورد زی‌توده هوایی و زی‌توده کل دارای حداکثر دقت تخمینی و بهترین برازش است. نتایج شاخص‌های تبدیل تابع مذکور به مدل لگاریتمی خطی در جدول ۱ نشان داده شده است. علاوه بر آن، نتایج نشان داد که برای برآورد زی‌توده ریشه با استفاده از قطر و یا ارتفاع هیچ اختلافی در دقت محاسباتی و برازش مشاهدات وجود ندارد (R^2_{adj}=۰/٦١٧ ،SEE=۰/٣٦٦). همچنین نتایج حاصل از آزمون t حاکی از آن است که در کلیه مدل‌های ارائه شده در جدول ۱ ضرایب ارائه شده به‌صورت معنی‌داری دارای اعتبار محاسباتی می‌باشند (P<0.01). علاوه بر نتایج مذکور، نرخ زنده‌مانی نهال‌های مورد بررسی با استفاده از تجزیه واریانس یک‌طرفه در پژوهش حاضر نشان داد که متغیر مذکور دارای تغییرات معنی‌داری نبوده و میانگین آن در کل پس از یک سال فصل رویش ۰/۰٦ ± ۹۱/۷ درصد است.

جدول ۱- نتایج تحلیلی شاخص‌های مدل لگاریتمی خطی تک متغیره (قطر، ارتفاع) برای تعیین مدل بهینه زی‌توده کل، زی‌توده هوایی و زیرزمینی نهال صنوبر دلتوئیدس

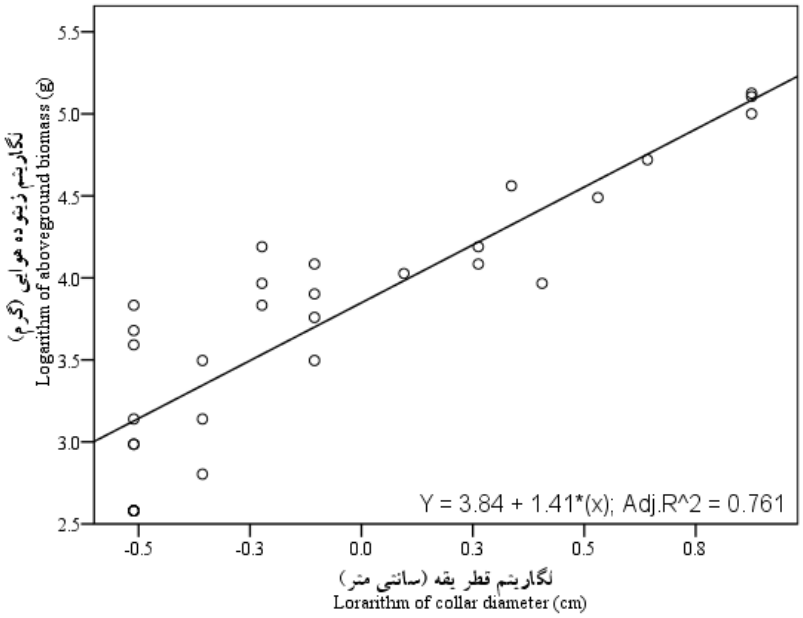
Table 1. The Analysis results of univariate linear log-transformed model (diameter, height) for determining the above- and below- ground biomass and total biomass of *P. deltoides* saplings

مدل‌های آلومتری Allometry models	اجزاء نهال Components of saplins	ضرایب مدل Model coefficient		Adj.R^2	RMS	SEE	CF
		a	b				
$Y_S = Exp(a + b \ln D)$	زی‌توده هوایی Aboveground biomass	3.48	1.41	0.761	0.138	0.371	1.072
$Y_S = Exp(a + b \ln H)$	زی‌توده هوایی Aboveground biomass	3.62	1.42	0.661	0.195	0.442	1.102
$Y_R = Exp(a + b \ln D)$	زی‌توده زیرزمینی Belowground biomass	3.53	0.99	0.617	0.134	0.366	1.069
$Y_R = Exp(a + b \ln H)$	زی‌توده زیرزمینی Belowground biomass	3.37	1.07	0.617	0.134	0.366	1.069
$Y_T = Exp(a + b \ln D)$	زی‌توده کل Total biomass	4.41	1.23	0.741	0.117	0.343	1.061
$Y_T = Exp(a + b \ln H)$	زی‌توده کل Total biomass	4.21	1.27	0.676	0.146	0.382	1.075

D: قطر یقه، H: ارتفاع کل، Adj.R^2: ضریب تبیین تطبیق یافته، RMS: میانگین مربعات باقی‌مانده‌ها، SEE: اشتباه معیار تخمین رگرسیون، CF: ضریب تصحیح، مقادیر a و b در سطح $P < 0.01$ معنی‌دار هستند.

D: Collar diameter, H: Total height, Adj.R^2: Adjusted R-squared, RMS: Root Mean Square, SEE: Standard Error of Estimate, CF: Correction factor, a and b values are significant in $P < 0.01$.

طبق نتایج به‌دست‌آمده در جدول ۱، برای محاسبه زی‌توده هوایی نهال یک‌ساله صنوبر دلتوئیدس، مدل توانی زی‌توده هوایی برحسب قطر یقه دارای بیشترین دقت برآوردی است و به‌منظور تعیین شیب منحنی مدل مربوطه و کاهش ناهمگنی پراکنش داده‌ها، برازش آن به‌صورت لگاریتم خطی نشان داده می‌شود (شکل ۱). در گام بعدی از ترکیب مربع قطر یقه و ارتفاع کل ($D^2 \times H$) به‌عنوان متغیر ترکیبی برای مدل‌سازی استفاده شد. نتایج نشان داد که ورود متغیر ترکیبی مذکور در مدل لگاریتمی خطی زی‌توده هوایی سبب افزایش دقت مدل نمی‌شود (جدول ۲). بر خلاف آن، ورود متغیر ترکیبی مذکور در معادلات تبدیل لگاریتمی زی‌توده ریشه و زی‌توده کل نهال‌های گونهٔ مورد بررسی موجب قطعیت بیشتر برآورد و در نتیجه سبب برازش بهتر نسبت به کلیه مدل‌های ارائه شده می‌شوند (جدول ۲).



شکل ۱- برازش مدل لگاریتمی خطی زی‌توده هوایی نهال دلتوئیدس برحسب گرم با استفاده از لگاریتم قطر یقه

Figure 1. Log-transformed goodness of fit data of aboveground biomass of *P. deltoides* saplings in term of logarithm of collar diameter

جدول ۲- نتایج تحلیلی شاخص‌های مدل لگاریتمی خطی برحسب مربع قطر و ارتفاع کل (متغیر ترکیبی) برای تعیین مدل بهینه زی‌توده کل، زی‌توده هوایی و زیرزمینی نهال صنوبر دلتوئیدس

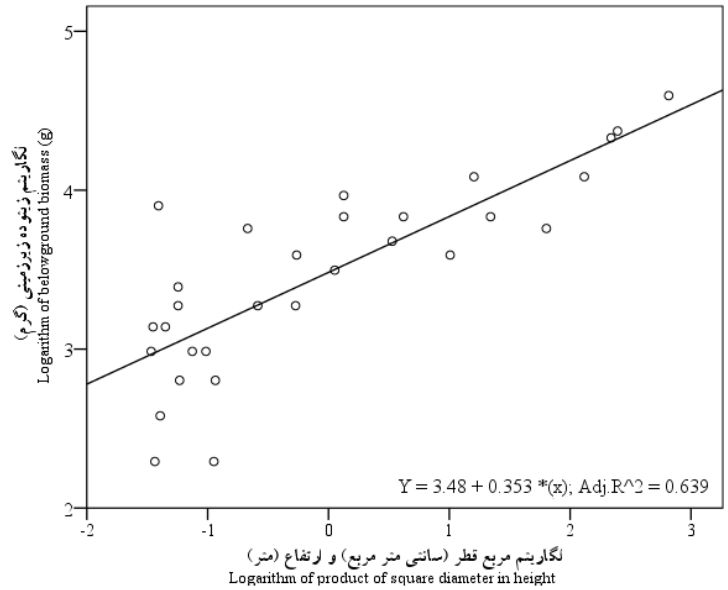
Table 2. The Analysis results of univariate linear log-transformed model including product of diameter square in height for determining the above- and below- ground biomass and total biomass of *P. deltoides* saplings

مدل‌های آلومتری Allometry models	اجزاء نهال Components of saplins	ضرایب مدل Model coefficient		Adj.R^2	RMS	SEE	CF
		a	b				
YS = Exp[a + b ln (D2×H)]	زی‌توده هوایی Aboveground biomass	3.77	0.488	0.754	0.142	0.376	1.073
YR = Exp[a + b ln (D2×H)]	زی‌توده زیرزمینی Belowground biomass	3.48	0.352	0.639	0.126	0.355	1.064
YT = Exp[a + b ln (D2×H)]	زی‌توده کل Total biomass	4.34	0.429	0.744	0.115	0.339	1.058

D: قطر یقه، H: ارتفاع کل، Adj.R^2: ضریب تبیین تطبیق یافته، RMS: میانگین مربعات باقی‌مانده‌ها، SEE: اشتباه معیار تخمین رگرسیون، CF: ضریب تصحیح، مقادیر a و b در سطح $P < 0.01$ معنی‌دار هستند.

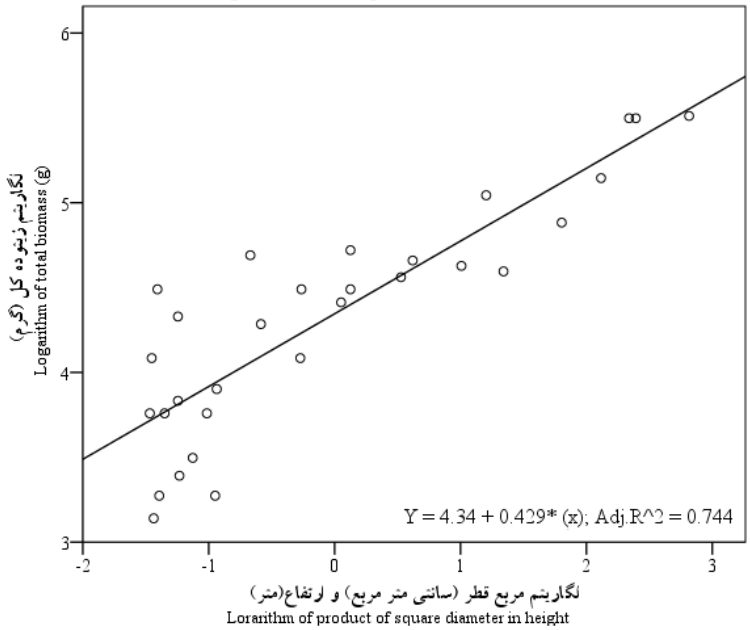
D: Collar diameter, H: Total height, Adj.R^2: Adjusted R-squared, RMS: Root Mean Square, SEE: Standard Error of Estimate, CF: Correction factor, a and b values are significant in $P < 0.01$.

شـکل ۲ و ۳ به ترتیب برازش رگرسیون زی‌توده زیرزمینی (ریشه) و کل زی‌توده (مجموع اوزان خشک ساقه هوایی و ریشه) نهال یک‌ساله گونه مورد بررسی را به‌صـورت لگاریتم خطی نشـان می‌دهند که در بین کلیـه مدل‌های ارائه شـده در جدول‌های فوق، دارای مناسب‌ترین برازش هستند.



شکل ۲- منحنی برازش مدل لگاریتمی خطی زی‌توده زیرزمینی نهال دلتوئیدس برحسب گرم با استفاده از لگاریتم مربع قطر (سانتی‌متر مربع) و ارتفاع کل (متر)

Figure 2. Log-transformed goodness of fit data of belowground biomass of *P. deltoides* saplings in term of logarithm of product of square diameter (cm^2) in height (m)



شکل ۳- منحنی برازش مدل لگاریتمی خطی کل زی‌توده نهال صنوبر دلتوئیدس برحسب گرم با استفاده از لگاریتم مربع قطر (سانتی‌متر مربع) و ارتفاع کل (متر)

Figure 3. Log-transformed goodness of fit data of total biomass of *P. deltoides* saplings in term of logarithm of product of square diameter (cm^2) in height (m)

جدول ۳ نتایج مدل‌سازی آلومتریک را برحسب تحلیل خطی چندگانه نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول مزبور نشان داده شده است کمیت‌های بیوفیزیکی قطر یقه و ارتفاع به‌عنوان متغیرهای مستقل مجزا در جدول ۳ معرفی شده‌اند. نتایج مربوط به شاخص‌های اعتبارسنجی نشان می‌دهد که مدل‌سازی بر مبنای تحلیل خطی چندگانه تأثیر قابل ملاحظه‌ای برای افزایش دقت برآوردی زی‌توده اندام‌های مختلف گونهٔ مورد بررسی ندارد (جدول ۳).

جدول ۳- نتایج تحلیلی شاخص‌های مدل لگاریتمی خطی چندگانه برحسب قطر و ارتفاع کل برای تعیین مدل بهینه زی‌توده کل، زی‌توده هوایی و زیرزمینی نهال صنوبر دلتوئیدس

Table 3. The Analysis results of multiple linear log-transformed model including diameter and height for determining the above- and below- ground biomass and total biomass of *P. deltoides* saplings

مدل‌های آلومتری Allometry models	اجزاء نهال Components of saplins	ضرایب مدل Model coefficient			$Adj.R^2$	RMS	SEE	CF	VIF
		a	b	c					
YS = Exp [a + bln D + c ln H]	زی‌توده هوایی Aboveground biomass	3.83	1.31	0.109	0.752	0.143	0.377	1.07	6.91
YR = Exp [a + bln D + c ln H]	زی‌توده زیرزمینی Belowground biomass	3.45	0.516	0.561	0.631	0.130	0.359	1.06	6.91
YT = Exp [a + bln D + c ln H]	زی‌توده کل Total biomass	4.36	0.966	0.308	0.736	0.119	0.344	1.06	6.91

D: قطر یقه، H: ارتفاع کل، $Adj.R^2$: ضریب تبیین تطبیق یافته، RMS: میانگین مربعات باقی‌مانده‌ها، SEE: اشتباه معیار تخمین رگرسیون، CF: ضریب تصحیح، VIF: فاکتور تورم واریانس، مقادیر a و b در سطح $P < 0.01$ معنی‌دار هستند.

D: Collar diameter, H: Total height, $Adj.R^2$: Adjusted R-squared, RMS: Root Mean Square, SEE: Standard Error of Estimate, CF: Correction factor, VIF: Variance Inflation Factor, a and b values are significant in $P < 0.01$.

بحث

ارزیابی کلیه ویژگی‌های زی‌توده (هوایی و زیرزمینی) نهال‌های صنوبر یکی از مهم‌ترین شاخص‌های مدنظر به‌منظور انتخاب نهال برتر برای کشت و تولید هستند (Guo and Zhang, 2010; Ceulemans and Deraedt, 1999). از این‌رو در پژوهش حاضر به‌منظور مدل‌سازی آلومتریک مقادیر تولیدی زی‌توده هوایی و زیرزمینی و در نهایت کل زی‌توده نهال صنوبر گونهٔ مورد بررسی، به‌طور گام به گام از دو کمیت قطر یقه و ارتفاع به‌صورت تک متغیره و ترکیبی و در قالب مدل‌های خطی چند گانه استفاده شد. همان‌طور که نتایج تحقیق حاضر نشان داد قطر یقه یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در رابطه با دقت برآوردی مقادیر تولیدی زی‌توده هوایی، زیرزمینی و مجموع آن‌ها (زی‌توده کل) و برازش مشاهدات است. البته این امر به این دلیل است که قطر یقه دارای بالاترین همبستگی با مقادیر زی‌توده نهال صنوبر گونهٔ مورد بررسی است. در این راستا بسیاری از مطالعات مربوط به مدل‌سازی آلومتری نیز به این نتیجه رسیدند که قطر یکی از مهم‌ترین و با ارزش‌ترین متغیر پیش‌بینی مقادیر وزنی و تولیدی زی‌توده در قالب مدل‌های آلومتری است چرا که همبستگی زیادی با وزن خشک نباتات دارد و اندازه‌گیری آن نسبت به دیگر

متغیرهای مستقل آسان‌تر است (Segura and Kanninen, 2005; Ribeiro *et al.*, 2011). با توجه به اینکه هدف از تبیین معادلات مختلف آلومتریک و تبیین برازش مشاهدات، ارائه آزمون و خطای برآوردی مقادیر وزنی زی‌توده و در نتیجه میزان تولید در قالب مختلف فرم‌ها و مراحل مختلف رویش گیاهی است، بنابراین در مدل‌سازی تحقیق حاضر علاوه بر قطر از دیگر متغیر قابل اندازه‌گیری یعنی ارتفاع نیز استفاده شد. نتایج نشان داد که استفاده از متغیر ارتفاع به ازای یک سال رویش می‌تواند متغیر محاسباتی مناسب برای نمایش برازش و دقت تخمین زی‌توده هوایی، زیرزمینی و زی‌توده کل باشد. اگرچه باید مد نظر داشت که دقت برآوردی آن نسبت به قطر کمتر است. با توجه به نتایج مشهود در جدول ۱ نکته جالب‌توجه در این است که در مدل‌های آلومتری مربوط به زی‌توده زیرزمینی که مبتنی بر قطر و ارتفاع بودند هیچ تفاوتی در دقت تخمین و برازش مشاهدات وجود نداشت. از این‌رو با توجه به اینکه شرایط تیمار، ویژگی‌های متغیر رویشگاهی و اکولوژیکی مربوط به نهال‌های مدنظر یکسان بوده، می‌توان نتیجه گرفت که تفاوت معنی‌دار و قابل توجهی بین همبستگی قطر، ارتفاع و مقادیر تولیدی زی‌توده زیرزمینی وجود ندارد. در گام بعدی از ترکیب مربع قطر یقه و ارتفاع کل ($D^2\times H$) به‌عنوان متغیر ترکیبی برای مدل‌سازی استفاده شد. نتایج نشان داد که ورود متغیر ترکیبی مذکور در مدل لگاریتمی خطی زی‌توده هوایی سبب افزایش دقت مدل نمی‌شود (جدول ۲). برخلاف آن، ورود متغیر ترکیبی مذکور در معادلات تبدیل لگاریتمی زی‌توده ریشه و زی‌توده کل نهال‌های گونهٔ مورد بررسی موجب قطعیت بیشتر برآورد و در نتیجه سبب برازش بهتر نسبت به کلیه مدل‌های ارائه شده می‌شوند (جدول ۲). استفاده از متغیر ترکیبی به‌صورت توأم سبب افزایش دقت مدل می‌شود و این حالت زمانی اتفاق می‌افتد که بین متغیرهای ترکیبی و زی‌توده حداکثر همبستگی وجود داشته باشد. در رابطه با استفاده از متغیر ترکیبی در مدل لگاریتمی زی‌توده هوایی، نتایج تحقیق حاضر نشان داد که دقت برآوردی آن کمتر از دقت برآوردی مدل مبتنی بر قطر یقه است که از این‌رو می‌توان دریافت که بین زی‌توده هوایی نهال‌های مورد بررسی و ارتفاع آن‌ها همبستگی ناچیزی نسبت به قطر یقه وجود دارد. درصورتی‌که دقت برآوردی مدل لگاریتمی حاوی متغیر ترکیبی ($D^2\times H$) مربوط به مقادیر وزنی زی‌توده زیرزمینی و زی‌توده کل دقت بیشتر و برازش بهتری نسبت به سایر مدل‌ها دارا هستند (جدول ۲). با توجه به این موضوع، به‌راحتی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در رابطه با برآورد مقادیر وزنی و تولیدی زی‌توده هوایی به ازای یک سال دوره رویش، فقط قطر یقه مهم‌ترین و برترین متغیر تعیین برازش مشاهدات است (شکل ۱). درصورتی‌که در رابطه با تولید سالیانه و مقادیر وزنی زی‌توده زیرزمینی، ورود ترکیب مربع قطر و ارتفاع سبب افزایش دقت مدل می‌شود. به همین دلیل است که ارزیابی و رتبه‌بندی نهال‌ها چه در رابطه با اندام‌های هوایی و یا زیرزمینی به روش سنتی و بر اساس قطر و یا ارتفاع نمی‌تواند مبنای صحیحی باشد که از این‌رو پژوهش‌های زیادی مبتنی بر این عقیده هستند که ارزیابی و رتبه‌بندی نهال‌ها بر اساس مقادیر مختلف زی‌توده نتایج درست و قابل توجهی در اختیار قرار می‌دهد (Brown *et al.*, 1996; Coyle *et al.*, 2006; Guo and Zhang, 2010). از این‌رو، با ارائه مدل‌های آلومتریک به‌منظور تخمین هر چه صحیح‌تر زی‌توده کل یا زی‌توده هر یک از بخش‌های نهال‌های مورد بررسی می‌توان ارزیابی صحیحی برای انتخاب نهال‌های برتر و قابل عرضه برای فروش هر چه بیشتر داشت که این امر منجر به افزایش درآمدزایی می‌شود. نکته قابل توجه در این است که مدل مربوط به مقادیر

وزن خشک کل (زی‌توده کل) نهال گونهٔ مورد بررسی اگرچه با ورود متغیر ترکیبی مذکور دقت بیشتر و برازش به نسبت بهتری از خود نشان داده است ولی این افزایش دارای دقت بسیار ناچیز است به‌طوری‌که ضریب تبیین تصحیح یافته از ۰/۷٤۱ فقط به ۰/۷٤٤ افزایش یافته و میانگین مربعات باقی‌مانده‌ها نیز فقط از ۰/۱۱۷ به ۰/۱۱۵ کاهش پیدا کرده است. این امر نشان می‌دهد که اگرچه کل زی‌توده از مجموع زی‌توده هوایی و زیرزمینی به دست می‌آید (Navar *et al.,* 2004) ولی سهم زی‌توده زیرزمینی در مقدار وزنی کل بسیار ناچیز بوده و مقادیر وزنی زی‌توده هوایی بیشتر تعیین کننده وزن خشک کل است و همین امر سبب شده است که با افزایش ارتفاع در ترکیب با مربع قطر تفاوت قابل ملاحظه‌ای در برازش مشاهدات مربوط به زی‌توده کل حاصل نشود. به همین دلیل است که در مطالعات مربوط به تخمین زی‌توده زیرزمینی گیاهان، برای سهولت اندازه‌گیری معمولاً ۲۰- ۱۵ درصد از مقدار زی‌توده هوایی را در قالب مقدار زی‌توده زیرزمینی در نظر می‌گیرند (MacDicken, 1997). محققین در بررسی‌های متعددی به این نتیجه رسیده‌اند که در مدل‌های آلومتریک مربوط به وزن خشک زی‌توده کل، ورود ارتفاع اگرچه تا حدی موجب بهبود مدل‌ها می‌شود ولی تأثیر آن بسیار ناچیز بوده و معنی‌دار نیست (Ketterings *et al.,* 2001; Chave *et al.,* 2005; Ribeiro *et al.,* 2011). در پژوهش حاضر حداکثر کلاسه قطری ۳- ۲/۱ سانتی‌متر در نظر گرفته شد که متعاقباً در کلاسه‌های قطری مورد بررسی به دلیل شرایط مشترک رویشگاهی، رقابتی و اکولوژیکی روند تغییرات ارتفاع نمی‌تواند تأثیر بارزی بر مقادیر زی‌توده نهال‌های مورد بررسی داشته باشد. البته باید متذکر شد که در مدل‌سازی آلومتری تحقیق حاضر از ترکیب‌های مختلف قطر و ارتفاع (مانند D/H، H/D، $D\times H^2$، $D^2\times H^2$ و غیره) مبنی بر مطالعات زی‌توده خرد اجزاء نباتات (Nowak, 1996; Adl, 2007) و زی‌توده کلان (Vahedi *et al.,* 2013) استفاده شد که در تمامی موارد فقط ترکیب مربع قطر و ارتفاع در نتایج مربوط به مدل‌سازی دارای حداکثر همبستگی با زی‌توده و حداکثر دقت برآوردی بودند. از این‌رو از ارائه مدل‌های مربوط به سایر ترکیب‌های صورت گرفته صرف‌نظر شد. در گام نهایی مدل‌سازی با توجه به شاخص‌های اعتبارسنجی و انتخاب مدل‌های بهینه مانند میانگین مربعات باقی‌مانده‌ها، اشتباه معیار رگرسیون، ضریب تبیین تصحیح یافته و فاکتور تورم واریانس، مدل‌های خطی چند گانه نشان داده شده در جدول ۳ نتایج قابل قبولی را نشان دادند و در مقایسه با مدل‌های بهینه و منتخب در جدول‌های ۱ و ۲ دقت بیشتری نداشتند. این امر حاکی از آن است که ارتفاع نهال‌های مورد بررسی به‌عنوان یک متغیر مستقل ثانوی در مدل‌های چندبعدی به دلیل همبستگی کمتر (نسبت به قطر) با مقادیر وزنی زی‌توده نمی‌تواند تأثیرگذاری بارزی را در مقادیر دقت برآوردی داشته باشد. با توجه به اینکه یکی از مهم‌ترین اهداف راهبردی اراضی تولیدی نهال‌های گونه‌های مختلف صنوبر در برخی از ایستگاه‌های تحقیقاتی کشور و نهالستان‌ها تولید نهال با حداکثر رشد قطری و ارتفاعی برای فروش سالیانه است، شناسایی نهال‌های با توانایی تولید زی‌توده مناسب، می‌تواند در کاهش دوره بهره‌برداری و افزایش منافع اقتصادی حاصل از آن و کاهش فشار به جنگل‌های طبیعی نقش قابل‌توجهی داشته باشد. با توجه به اینکه در عرصه‌های کشت تولید نهال، ارزیابی برای انتخاب نهال‌های برتر فقط بر اساس قطر و ارتفاع صورت می‌گیرد از این‌رو ارائه مدل‌های آلومتریک در تحقیق حاضر می‌تواند ابزار مناسب برای برآورد زی‌توده نهال‌های تولید شده باشد تا از این‌رو به‌جای قطر و ارتفاع مبنای انتخاب نهال‌ها بر اساس زی‌توده (وزن خشک) برای فروش بیشتر

امکان‌پذیر شود. ارائه مدل‌های آلومتری مربوطه علاوه بر اینکه موجب عدم نمونه‌برداری تخریبی (به‌عنوان یک روش نامعقول) می‌شود بلکه از نظر زمان و هزینه نیز بسیار منطقی و قابل اجرا محسوب می‌شود. از طرفی یکی از مزایای ارائه این مدل‌ها این است که مدل‌های مربوطه برای هر سال از تولید نهال‌ها برای فروش و برای گونهٔ مذکور قابلیت کاربرد وسیع در منطقه مورد پژوهش دارد. معمولاً در حین فروش به‌طور تجربی فروشندگان بر مبنای ارتفاع نهال، آن را قیمت‌گذاری و خریداری می‌کنند، درصورتی‌که همان‌طور که در نتایج حاصل از مدل‌سازی نشان داده شد ارتفاع همبستگی کمتری با مقدار وزن خشک نهال دارد؛ بنابراین با ترکیب‌های عنوان‌شده و مدل‌های پایه ارائه‌شده می‌توان مدل‌های مذکور را در قالب یک سند یا پروانه تنظیم و تدوین کرد تا در شرایط فروش از آن به‌عنوان یک راهکار درست استفاده کرد. از این‌رو، در یک توصیف کلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که با توجه به اینکه نهال-های دارای قطر و ارتفاع مشابه از نظر مقدار زی‌توده با یکدیگر متفاوت‌اند، با ارائه مدل‌های آلومتریک بهینه با حداکثر دقت برآورد می‌توان علاوه بر مدیریت تولید بهتر نهال‌ها در سال‌های آتی برای افزایش درآمد حاصل از فروش نیز از مدل‌های مزبور استفاده کرد.

References

- Aboal, R.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-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants,* 200(3):264–274.
- Adl, R., 2007. Estimation of leaf biomass and leaf area index of two major species in Yasuj forests, *Iranian Journal of Forest and Poplar Research,* 4(30):417-426. (In Persian)
- 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(8):1684–1694.
- Bihamta, M.R. & M.A. Chahouki, 2011. Principle of Statistic for the Natural Resources Science, 3rd Edition. University of Tehran Press, Tehran, 300 p. (In Persian).
- Brown, K.R., F.D. Beall & G.D. Hogan, 1996. Establishment-year height growth in hybrid poplars; relations with longer-term growth, *New Forests,* 12(2):175–186.
- Chave, J., C. Andalo, S. Brown, M.A. Cairns, J.Q. Chambers, D. Eamus, H. Folster, F. Fromard, N. Higuchi, T. Kira, J.P. Lescure, B.W. Nelson, H. Ogawa, H. Puig, B. Riera & T. Yamakura, 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests, *Oecologia,* 145(1):87–99.
- Ceulemans, R. & W. Deraedt, 1999. Production physiology and growth potential of poplars under short-rotation forestry culture, *Forest Ecology and Management,* 121(1):9–23.
- Coyle, D.R., M.D. Coleman, J.A. Durant & L.A. Newman, 2006. Survival and growth of 31 populus clones in South Carolina, *Biomass and Bioenergy,* 30(8):750–758.
- Deckmyn, G., I. Laureysens, J. Garcia, B. Muys & R. Ceulemans, 2004. Poplar growth and yield in short rotation coppice: model simulations using the process model SECRETS, *Biomass and Bioenergy,* 26(3):221–227.
- 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(10):1873–1885.
- Joosten, R., J. Schumacher, C. Wirth & A. Schulte, 2004. Evaluating tree carbon predic-
-tions for beech (*Fagus sylvatica* L) in western Germany, *Forest Ecology and Management*, 189(1):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(1):199-209.
- Kia Daliri, S., M. Tabari, F. Sarmadian & S.F. Ziabari Ziaee, 2004. Effect of soil type on some quantitative and qualitative characteristics of *Populus X. euramericana* (Dode) gunier, *Pajouhesh and Sazandegi,* 17(1): 45-50. (In Persian)
- MacDicken, K.G., 1997. A Guide to monitoring carbon storage in forestry and ag-

-ro forestry projects, Forest Carbon Monitoring Program. Winrock International Institute Press Inc, USA, 87 p.
- Navar, J., E. Mendez, A. Najera, J. Graciano, V. Dale & B. Parresol, 2004. Biomass equations for shrub species of Tamaulipan thornscrub of North-eastern Mexico, *Journal of Arid Environments,* 59(4):657- 674.
- Navar, J., 2009. Allometric equations for tree species and carbon stocks for forests of north western Mexico, *Forest Ecology and Management,* 257(2): 427–434.
- Nowak, D.J., 1996. Estimating Leaf Area and Leaf Biomass of Open Grown Deciduous Urban Trees, *Forest Science,* 42(4): 504-507.
- Parikka, M., 2004. Global biomass fuel resources, *Biomass and bioenergy*, 27(6):613-620.
- Parsapour, M.K., H. Sohrabi, A. Solati & Y. Iranmanesh, 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. (In Persian)
- Perez, C., C. Roncoli, C. Neely & J.L. Steiner, 2007. Can carbon sequestration markets benefit low-income producers in semi-arid Africa? Potentials and challenges, *Agricultural Systems,* 94(1): 2-12.
- Pourasgari, A., 1996. *Determine the best seed plant density of Maple and oak species.* M.Sc. thesis. Dissertation, Gorgan University of Agricultural sciences and Natural Resources. Gorgan, Iran, 183 p. (In Persian)
- 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(3):491–499.
- Segura, M. & M. Kanninen, 2005. Allometric models for tree volume and total aboveground biomass in a tropical humid forest in Costa Rica, *Biotropica,* 37(1):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(11):1945–1949.
- Vahedi, A.A., A. Mataji, S. Babayi, J. Eshaghirad & M. Hojati, 2013. Modeling the bole mass of Beech (*Fagus orientalis* Lipsky) through Allometric equations within hyrcanian forests, *Iranian Journal of forest,* 5(3):309- 322. (In Persian)

Providing optimal protocol for sale of one-year-old poplar saplings (*Populus deltoides*) through modeling allometric equations

A.A. Vahedi*

Ph.D. of Forestry, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, I.R. Iran.

Received: 18.11.2015 Accepted: 08.12.2015

Abstract

Today, poplar plantation is considered an important forestry practice for preservation of carbon pools and a major source for bioenergy and cellulose. Providing different allometric equations, this research presents a model that may improve the biomass estimation of *P. deltoides* in Talookola Nursery in Sari. A number of 25 cuttings with 25 cm length were planted in 2011 within 1*1 m plots with identical site condition in three-replication experiment. Saplings numbered 4, 12 and 18 were randomly selected in three diameter classes (0-1, 1.1-2, 2.1-3 cm), respectively. The weight/wet weight ratios were measured after roots and stems were oven-dried at 85 ºC for 48 hours. Collar diameter and sapling height were chosen as variables for modeling allometric equations. The results showed that the logarithmic model related to above-ground biomass including collar diameter (D) and logarithmic models including product of diameter square and height ($DBH^2 \times H$) associated with below- and total ground biomass had the highest accuracy with the best goodness of fit data. Moreover, multivariate empirical models which did not have multicollinearity (VIF < 10) were presented, as such. However, they were not well fitted compared to aforementioned optimal models. The presented models can be considered as the applicable tools for estimation of annual biomass production and carbon sequestration of the studied species.

Keywords: Bio-energy, Annual sale, Wood culture, Biomass.

* Corresponding author: Email: ali.vahedi60@gmail.com